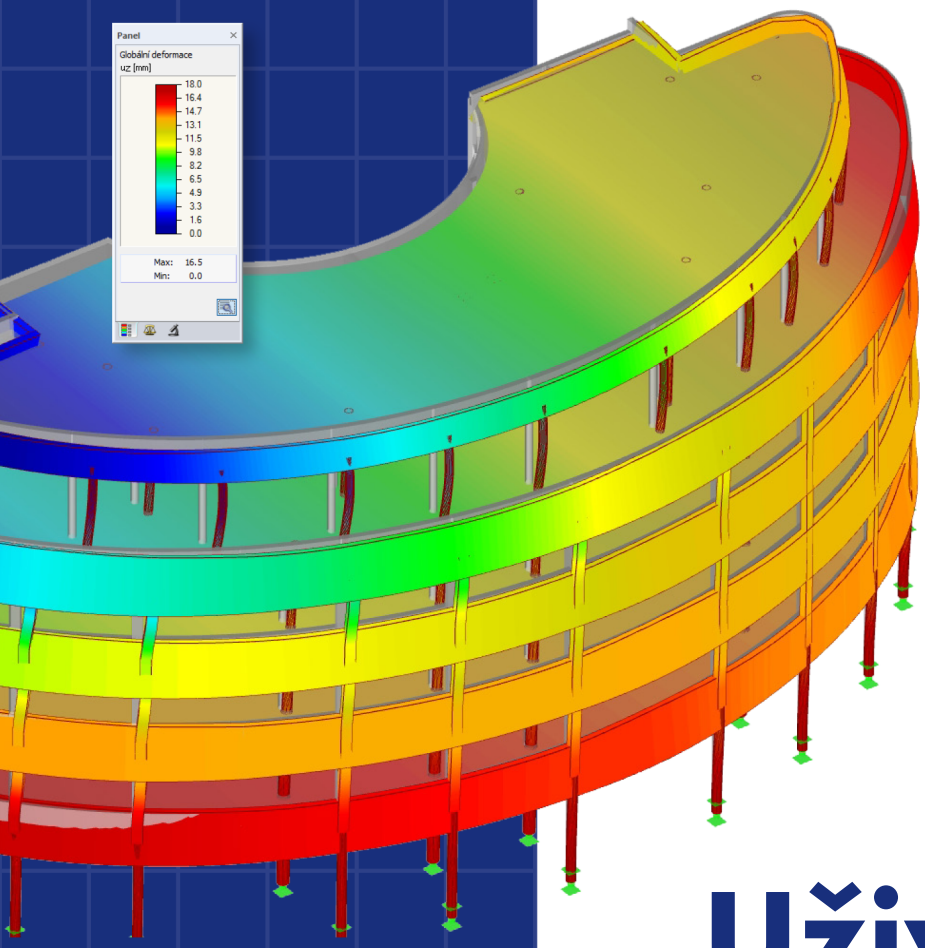
RFEM 5

Prostorové modely
počítané metodou
konečných prvků



Uživatelský manuál

Verze

Březen 2020

Dlubal

Dlubal Software

Stručný přehled

1	Úvod	7
2	Instalace	10
3	Uživatelské prostředí	13
4	Údaje o modelu konstrukce	38
5	Zatěžovací stavy a kombinace	200
6	Zatížení	242
7	Výpočet	291
8	Výsledky	327
9	Vyhodnocení výsledků	398
10	Výstup	436
11	Funkce programu	478
12	Správa souborů	614
A	Literatura	651

Dlubal Software GmbH
Am Zellweg 2
93464 Tiefenbach
Germany

Telefon: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com

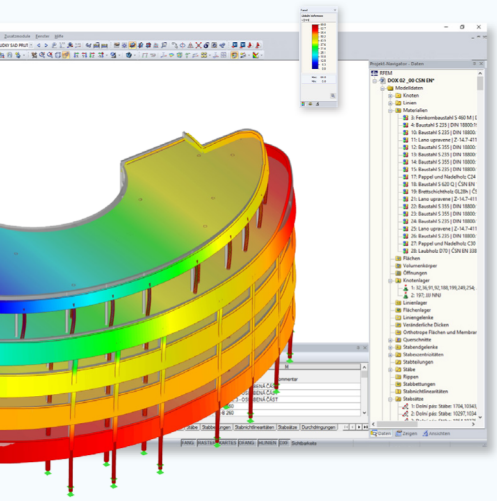
Dlubal Software s.r.o.
Anglická 28
120 00 Praha
Česká republika

Telefon: +420 227 203 203
Fax: +420 227 203 204
E-mail: info@dlubal.cz

Všechna práva včetně práv k překladu vyhrazena. Bez výslovného souhlasu společnosti Dlubal Software s.r.o. není povoleno tento popis programu ani jeho jednotlivé části jakýmkoli způsobem dále šířit.

Poznámka k příručce

K cíli vede mnoho cest. Tato zásada platí i pro práci s RFEMem, kde si uživatel si může vybrat z několika rovnocenných postupů: k dispozici má interaktivní grafiku, tabulky a navigátor. Pro přehlednost se v příručce řídíme pořadím a strukturou tabulek s údaji o modelu, o zatíženích a výsledcích. V kapitolách jsou vysvětleny jednotlivé tabulky sloupec po sloupci. Popis obecných funkcí systému Windows je vynechán ve prospěch praktických informací.



Tip

V textu uvádíme popisované ikony (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [OK]. Tlačítka jsou zároveň zobrazena na levém okraji. Pojmy, které se vyskytují v dialozích, tabulkách a jednotlivých nabídkách, jsou pak v textu pro jasnost a přehlednost vyznačeny *kurzivou*. Na našich webových stránkách se Vám také nabízí vyhledávač, pomocí kterého můžete najít řešení mezi příspěvky k programu RFEM v sekci Databáze znalostí a FAQ.

Aktuálnost

Vysoké nároky na kvalitu jsou zajišťovány průběžným dalším vývojem programových verzí. Mezi tímto popisem programu a softwarovou verzí, kterou máte k dispozici, se tak mohou vyskytovat odchylky. Prosíme Vás proto o pochopení a upozorňujeme, že ze zobrazení a popisů nemohou vyplývat žádné nároky. Snažíme se o to, aby dokumentace odpovídala aktuálnímu stavu našeho softwaru.

Obsah

1 Úvod 7

1.1 Novinky v programu RFEM 5 7
1.2 Kapacita programu 8
1.3 Profil firmy 8
1.4 Poznámka k příručce 9

2 Instalace 10

2.1 Požadavky na výpočetní systém 10
2.2 Postup instalace 10
2.2.1 Instalace z USB disku 11
2.2.2 Instalace ze sítě 12
2.2.3 Instalace updatů a dalších modulů 12
2.2.4 Paralelní instalace různých verzí programu RFEM 12

3 Uživatelské prostředí 13

3.1 Přehled 13
3.2 Používané pojmy 14
3.3 Specifické pojmy RFEMu 16
3.4 Uživatelské prostředí RFEMu 18
3.4.1 Hlavní nabídka 18
3.4.2 Panely nástrojů 18
3.4.3 Navigátor projektu 21
3.4.4 Tabulky 24
3.4.5 Stavový řádek 26
3.4.6 Řídicí panel 27
3.4.7 Standardní tlačítka 31
3.4.8 Klávesové zkratky 32
3.4.9 Funkce myši 34
3.4.10 Správce konfigurací 35

4 Údaje o modelu konstrukce 38

4.1 Uzly 43
4.2 Linie 48
4.3 Materiály 60
4.4 Plochy 80
4.5 Tělesa 91
4.6 Otvory 99
4.7 Uzlové podpory 101
4.8 Liniové podpory 109
4.9 Plošné podpory 113
4.10 Liniové klouby 119
4.11 Proměnné tloušťky 121
4.12 Ortotropní plochy a membrány 123
4.13 Průřezy 128
4.14 Klouby na koncích prutu 141
4.15 Excentricity prutu 149
4.16 Dělení prutu 151
4.17 Pruty 152
4.18 Žebra 167
4.19 Podloží prutu 170
4.20 Nelinearity prutu 173
4.21 Sady prutů 175
4.22 Průniky 177
4.23 Zahuštění sítě prvků 181
4.24 Uzlová uvolnění 186
4.25 Typy liniových uvolnění 188
4.26 Liniová uvolnění 190
4.27 Typy plošného uvolnění 192
4.28 Plošná uvolnění 193
4.29 Spojení dvou prutů 195
4.30 Spoje 197
4.31 Uzlové vazby 197

5 Zatěžovací stavy a kombinace 200

5.1 Zatěžovací stavy 200
5.2 Účinky 204
5.3 Kombinační pravidla 208
5.4 Kombinace účinků 220
5.5 Kombinace zatížení 224
5.5.1 Kombinace zadané uživatelem 225
5.5.2 Vygenerované kombinace 230
5.6 Kombinace výsledků 232
5.6.1 Kombinace zadané uživatelem 233
5.6.2 Vygenerované kombinace 238
5.7 Schéma kombinací 240

6 Zatížení 242

6.1 Zatížení na uzel 245
6.2 Zatížení na prut 249
6.3 Zatížení na linii 256
6.4 Zatížení na plochu 260
6.5 Zatížení na těleso 266
6.6 Volná osamělá zatížení 268
6.7 Volná zatížení na linii 270
6.8 Volná obdélníková zatížení 272
6.9 Volná kruhová zatížení 274
6.10 Volná polygonová zatížení 276
6.11 Volná proměnná zatížení 279
6.12 Vynucené deformace podepřených uzlů 281
6.13 Vynucené posuny podepřených linií 282
6.14 Imperfekce 284
6.15 Vygenerovaná zatížení 288

7 Výpočet 291

7.1 Kontrola vstupních dat 291
7.1.1 Kontrola správnosti 291
7.1.2 Kontrola modelu 292
7.1.3 Regenerace modelu 295
7.1.4 Smazání nepoužívaných zatížení 295
7.2 Síť konečných prvků 296
7.2.1 Základy konečných prvků v RFEMu 296
7.2.2 Síť konečných prvků 298
7.2.2.1 Nastavení sítě KP 299
7.2.2.2 Kritéria kvality sítě KP 301
7.2.2.3 Adaptivní zahuštění sítě 303

7.2.3 Zahuštění sítě KP 304
7.2.4 Generování sítě KP 304
7.3 Parametry výpočtu 305
7.3.1 Zatěžovací stavy a kombinace zatížení 307
7.3.1.1 Parametry výpočtu 307
7.3.1.2 Upravit tuhosti 311
7.3.1.3 Další možnosti 312
7.3.1.4 Deaktivovat 313
7.3.2 Kombinace výsledků 314
7.3.3 Globální parametry výpočtu 316
7.3.4 Výpočtový diagram 323
7.4 Spuštění výpočtu 323

8 Výsledky 327

8.1 Uzly — podporové síly 328
8.2 Uzly - deformace 332
8.3 Linie — podporové síly 333
8.4 Pruty - lokální deformace 336
8.5 Pruty - globální deformace 339
8.6 Pruty — vnitřní síly 340
8.7 Pruty — kontaktní síly 343
8.8 Pruty - přetvoření 345
8.9 Pruty - parametry pro vzpěr 347
8.10 Štíhlosti prutů 348
8.11 Sady prutů — vnitřní síly 349
8.12 Průřezy — vnitřní síly 350
8.13 Plochy - lokální deformace 351
8.14 Plochy - globální deformace 354
8.15 Plochy - základní vnitřní síly 356
8.16 Plochy — hlavní vnitřní síly 359
8.17 Plochy — návrhové vnitřní síly 362
8.18 Plochy — základní napětí 367
8.19 Plochy — hlavní napětí 369
8.20 Plochy — další napětí 371
8.21 Plochy — kontaktní napětí 373
8.22 Plochy - srovnávací napětí - von Mises 375
8.23 Plochy - srovnávací napětí - Tresca 377
8.24 Plochy - srovnávací napětí - Rankine 379
8.25 Plochy - srovnávací napětí - Bach 380
8.26 Plochy - základní přetvoření 381
8.27 Plochy - hlavní přetvoření 383
8.28 Plochy - maximální přetvoření 385
8.29 Plochy - přetvoření - von Mises 386
8.30 Plochy - přetvoření - Tresca 387
8.31 Plochy - přetvoření - Rankine 388
8.32 Plochy - přetvoření - Bach 389
8.33 Tělesa - deformace 390
8.34 Tělesa - napětí 391
8.35 Tělesa - přetvoření 394
8.36 Tělesa - tlak plynu 396

9 Vyhodnocení výsledků 398

9.1 Existující výsledky 398
9.2 Výběr výsledků 399
9.3 Zobrazení výsledků 400
9.3.1 Výsledky na prutech 400
9.3.2 Výsledky na plochách a tělesech 401
9.4 Zobrazení hodnot 404
9.4.1 Výsledné hodnoty 404
9.4.2 Nastavení 406
9.4.3 Uživatelsky definované výsledné hodnoty 407
9.4.4 Informace o objektu 409
9.5 Průběhy výsledků 410
9.6 Řezy 413
9.6.1 Řez plochou 414
9.6.2 Řez tělesem 416
9.7 Vyhlazení výsledků 417
9.7.1 Pracovní okno 417
9.7.2 Průběhy výsledků 421
9.7.3 Oblast průměrování 422
9.8 Zobrazení výsledků ve více oknech 424
9.9 Filtrování výsledků 424
9.9.1 Pohledy 425
9.9.1.1 Navigátor Pohledy 425
9.9.1.2 Viditelnosti - tlačítka a nabídka 429
9.9.2 Ořezávací rovina 431
9.9.3 Funkce pro filtrování 432
9.10 Animace deformací 434

10 Výstup 436

10.1 Výstupní protokol 436
10.1.1 Vytvoření nebo otevření výstupního protokolu 436
10.1.2 Práce s výstupním protokolem 438
10.1.3 Zadání obsahu protokolu 440
10.1.3.1 Výběr údajů o modelu 442
10.1.3.2 Výběr zatěžovacích stavů a kombinací 443
10.1.3.3 Výběr údajů o zatížení 445
10.1.3.4 Výběr výsledků 446
10.1.3.5 Výběr dat z přídavných modulů 447
10.1.4 Úprava záhlaví a zápatí protokolu 448
10.1.5 Vložení obrázku z RFEMu 452
10.1.6 Vložení jiných zobrazení a textů 454
10.1.7 Předloha protokolu 456
10.1.8 Úpravy uspořádání protokolu 458
10.1.9 Vytvoření titulní stránky 458
10.1.10 Tisk protokolu 460
10.1.11 Export protokolu 460
10.1.12 Nastavení jazyka 462
10.2 Přímý výtisk grafiky 464
10.2.1 Obecné nastavení 465
10.2.2 Možnosti 468
10.2.3 Stupnice barev 470
10.2.4 Faktory 471
10.2.5 Okraje obrázku a roztažení/zmenšení 472
10.2.6 Hromadný tisk 472
10.2.7 Pokyny pro tisk na plotrech 475

11 Funkce programu 478

11.1 Obecné funkce 478

11.1.1	Nastavení jazyka	478
11.1.2	Nastavení zobrazení	479
11.1.3	Jednotky a desetinná místa	482
11.1.4	Komentáře	484
11.1.5	Měření	486
11.1.6	Hledání	487
11.1.7	Bod a úhel pohledu	488
11.1.8	Výpočet těžiště	488
11.1.9	Renderování	489
11.1.10	Osvětlení	492
11.2	Výběr	492
11.2.1	Grafický výběr objektů	493
11.2.2	Výběr objektů podle kritérií	496
11.3	Pracovní okno	497
11.3.1	Pracovní roviny	497
11.3.2	Rastr	500
11.3.3	Uchopení objektu	501
11.3.4	Souřadné systémy	507
11.3.5	Kóty	509
11.3.6	Komentáře	511
11.3.7	Vodicí linie	513
11.3.8	Liniový rastr	517
11.3.9	Vizuální objekty	519
11.3.10	Hladiny na pozadí	520
11.3.11	Okraje obrázku a roztažení/zmenšení	524
11.4	Úpravy objektů	524
11.4.1	Posun a kopie	525
11.4.2	Rotace	528
11.4.3	Zrcadlení	529
11.4.4	Průmět	530
11.4.5	Zvětšení	531
11.4.6	Zkosení	533
11.4.7	Dělení linií a prutů	534
11.4.8	Spojení linií a prutů	536
11.4.9	Sloučení spojených linií a prutů	538
11.4.10	Prodloužení linií a prutů	538
11.4.11	Napojení prutů	539
11.4.12	Vložení uzlu	540
11.4.13	Vložení prutu	541
11.4.14	Grafické přiřazení vlastností prutu	541
11.4.15	Zaoblení rohu	542
11.4.16	Rozdělení plochy	543
11.4.17	Sestrojení tečny ke kružnicím	544
11.4.18	Úprava číslování	544
11.5	Funkce v tabulkách	546
11.5.1	Editační funkce	546
11.5.2	Výběrové operace	548
11.5.3	Funkce pro zobrazení	551
11.5.4	Nastavení tabulek	553
11.5.5	Funkce pro filtrování	554
11.5.6	Import a export tabulek	556
11.6	Parametrické zadávání	558
11.6.1	Koncept	558
11.6.2	Seznam parametrů	559
11.6.3	Editor vzorců	562
11.6.4	Vzorce v tabulkách a dialozích	565
11.7	Generátory modelu	566
11.7.1	Kopírování a tažení objektů	566
11.7.1.1	Vytvoření linií a prutů pomocí ekvidistanty	566
11.7.1.2	Tažení linií a prutů	567
11.7.1.3	Tažení z plochy	569
11.7.1.4	Generování tělesa	570
11.7.1.5	Generování ploch z prutů	573
11.7.2	Generátory modelu	575
11.7.2.1	Pruty	576
11.7.2.2	Plochy	590
11.8	Generátory zatížení	592
11.8.1	Obecně	592
11.8.2	Zatížení na pruty/linie z plošného zatížení	596
11.8.2.1	Zatížení na pruty z plošného zatížení prostřednictvím roviny	596
11.8.2.2	Zatížení na pruty z plošného zatížení prostřednictvím buněk	600
11.8.2.3	Generování zatížení z plošného zatížení na otvory	601
11.8.3	Jiná zatížení	601
11.8.3.1	Generování zatížení z volného zatížení na linii	602
11.8.3.2	Generování zatížení ze zatížení pláštěm průřezu	603
11.8.3.3	Zatížení z pohybu	604
11.8.4	Zatížení sněhem	604
11.8.4.1	Plochá /pultová střecha	605
11.8.4.2	Sedlová střecha	606
11.8.5	Zatížení větrem	607
11.8.5.1	Svislé stěny	607
11.8.5.2	Plochá střecha	609
11.8.5.3	Pultová střecha	610
11.8.5.4	Sedlová/korýtková střecha	611
11.8.5.5	Svislé stěny se střechou	613

12	**Správa souborů**	**614**
12.1	Správce projektů	614
12.1.1	Práce s projekty	616
12.1.2	Práce s modely	619
12.1.3	Zálohování dat	622
12.1.4	Nastavení	623
12.1.4.1	Zobrazení	623
12.1.4.2	Koš	625
12.1.4.3	Složky	626
12.2	Vytvoření nového modelu	627
12.2.1	Obecné	628
12.2.2	Možnosti	633
12.2.3	Historie	634
12.3	Správa v síti	634
12.4	Katalog bloků	635
12.4.1	Vytvoření bloku	637
12.4.2	Import bloku	638
12.4.3	Smazání bloku	640
12.5	Rozhraní	641
12.5.1	Přímá výměna dat	641
12.5.2	Formáty datové výměny	642
12.5.3	RF-LINK pro import formátů *.step, *.iges, *.sat	649

13 Literatura 651

1 Úvod

1.1 Novinky v programu RFEM 5

RFEM, program pro výpočty desek, stěn, skořepin, těles i prutových konstrukcí metodou konečných prvků (KP), pomáhá uživateli dostát požadavkům moderního inženýrského stavitelství. V modulárně strukturované softwarové architektuře představuje tento program základ, protože se zde počítají vnitřní síly, deformace i podporové reakce obecných plošných konstrukcí případně i s prutovými a objemovými prvky.

Nová verze programu RFEM 5 nabízí řadu užitečných doplňkových funkcí pro ještě pohodlnější práci. Na tomto místě bychom Vám zákazníkům rádi poděkovali za cenné podněty z praxe.

RFEM 5 přináší následující podstatná zlepšení:

- Uživatelské prostředí ve francouzštině, v italštině, polštině, portugalštině, ruštině a ve španělštině
- Přímé zadání různých typů otvorů
- Excentricity prutu na základě rozměrů profilu
- Pracovní diagramy a rozšířená kritéria u nelineárních uzlových podpor a kloubů
- Ortotropní vlastnosti v případě membránových ploch, zobecnělých čtyřúhelníků a dále také těles
- Možnost zadání hybridních dřevěných průřezů
- Filtrování v databázi průřezů a materiálů s možností zobrazit pouze oblíbené položky
- Modelování těles vytažením ploch vzhledem k určité rovině nebo bodu, a to i s náběhy
- Booleovské operace u průniků těles
- Zadání prutu na již existujícím prutu
- Import souborů z programu Bentley ISM, Ansys Apdl a Scia Engineer
- Import 3D objektů
- Grafické přiřazení vlastností prutu
- Barevné symboly v tabulkách pro průřezy, plochy, tělesa, typy ploch a typy prutů
- Výběr pomocí elipsy, mezikruží nebo průsečnice
- Pracovní roviny definované třemi body nebo osami linií, prutů či ploch
- Barevné rozlišení jednotlivých typů ploch, tuhostí, typů prutů a těles
- Zadání počátečního naklonění a prohnutí v absolutních hodnotách
- Zadání velikosti a tíhy ploch ve vstupní tabulce
- Automatické vytváření kombinací zatížení a kombinací výsledků podle zvolené normy
- Postupné zahušťování sítě konečných prvků na okrajích ploch
- Teorie III. řádu podle Newtona-Raphsona, Picarda nebo jako dynamická relaxace
- Zobrazení rozdělení zatížení, poměrných přetvoření a také parametrů a štíhlostí prutů
- Oblasti vyhlazení pro vyhodnocení singularit
- Uživatelské nastavení osvětlení
- Vyhodnocení výsledků pomocí ořezávací roviny
- Navigátor *Pohledy* s uživatelsky zadanými či generovanými výřezy a zornými úhly

- Správce konfigurace zobrazení, panelů nástrojů, hlaviček apod.
- Hromadný tisk grafických zobrazení
- Export výstupního protokolu do PDF

Přejeme Vám mnoho zábavy a úspěchů při práci s naším programem RFEM 5.

Vaše společnost Dlubal Software

1.2 Kapacita programu

Následující omezení představují horní hranici v datové struktuře programu RFEM. Je třeba vzít v úvahu, že hranice pro efektivní práci sRFEMem je podstatně nižší a závisí v neposlední řadě na výkonnosti používaného hardwaru.

Údaje o modelu konstrukce

99 999 objektů v každé kategorii (uzly, linie, plochy, průřezy atd.)

Údaje o zatížení

99 999 objektů u každého typu zatížení v jednom zatěžovacím stavu

Zatěžovací stavy a kombinace

Zatěžovací stavy (lineární výpočet)	9 999
Kombinace zatížení (nelineární výpočet)	9 999
Kombinace výsledků	9 999

Tabulka 1.1 Omezení programu RFEM

1.3 Profil firmy

Společnost Dlubal Software se zabývá vývojem uživatelsky přívětivých a výkonných programů pro statické i dynamické výpočty a dimenzování stavebních konstrukcí. Společnost byla založena v Německu roku 1987. V roce 1990 přesídlila do Tiefenbachu ve východním Bavorsku a založila pobočku v Praze. V roce 2010 byla otevřena pobočka v Lipsku. V letech 2014 a 2015 byly založeny pobočky v Polsku, ve Francii, v Itálii a v USA, v roce 2018 vznikla pobočka v Brně. Další kancelář byla otevřena v roce 2020 v Mnichově.

Naše práce nás baví, což je na vyvíjeném softwaru dobře znát. Programy se snažíme neustále obohacovat o nové nápady. Při práci se řídíme naším firemním krédem, které stručně zní „přívětivost pro uživatele“. Náš přístup k práci je spolu s vysokou odborností základem rostoucího úspěchu firmy Dlubal Software.

Software je snadno zvládnutelný a je koncipován tak, že i uživatel, který má pouze základní počítačové znalosti a dovednosti, je schopen ve velmi krátké době s našimi programy samostatně pracovat. Dnes se tak společnost může pochlubit více než7800 spokojenými uživateli po celém světě, mezi něž patříprojektové a stavební firmypůsobící vrůzných odvětvích a také řada odborných vysokých škol a univerzit. O zajištění kontinuálního zlepšování a vývoje programů Dlubal se stará 280 zaměstnanců a externích spolupracovníků. V případě otázek a problémů, pro které nenajdete žádné řešení v našich FAQ, Vám jsou k dispozici pracovníci naší kvalifikované hotline podpory. Ti Vám

rychle a ochotně pomohou.

Vynikající poměr ceny a kvality softwaru ve spojení se službami, které firma Dlubal Software poskytuje, činí z našich programů nepostradatelný nástroj pro každého, kdo působí v oblasti statiky, dynamiky a dimenzování staveb.

1.4 Poznámka k příručce

Mnoho cest vede k cíli — tato zásada platí i pro práci s RFEMem. Uživatel si může vybrat zněkolika rovnocenných postupů: k dispozici má interaktivní grafiku, tabulky a navigátor. Pro přehlednost se v příručce řídíme pořadím a strukturou tabulek s údaji o modelu, o zatíženích a výsledcích. V následujících kapitolách popisujeme jednotlivé tabulky sloupec za sloupcem. Přednost je dána prakticky orientovanému návodu před obecným popisem funkcí systému Windows.

Pokud s naším programem dosud nemáte žádné zkušenosti, bude pro Vás užitečné zkusit si sami krok za krokem zadat do programu příklad pro nové uživatele RFEMu. Dokument ve formátu PDF najdete v sekci Stahování a informace na našich webových stránkách. Tak se jistě nejrychleji seznámíte s hlavními funkcemi RFEMu. Pokročilejším uživatelům nabízíme k procvičení složitější příklad, který si lze rovněž stáhnout na našich webových stránkách.

V příručce uvádíme popisované **ikony** (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [OK]. Tlačítka jsou zároveň zobrazena na levém okraji. **Názvy** dialogů, tabulek a jednotlivých nabídek jsou pak v textu vyznačeny *kurzivou*, aby bylo snadné vyhledat je v programu.

V příručce ve formátu PDF je pomocí kláves [Ctrl]+[F] možné fulltextové vyhledávání. Pokud nenajdete požadované informace, můžete funkci vyhledávání použít také v naší Databázi znalostí, kde můžete najít požadované řešení v odborných článcích. Naše sekce Často kladené otázky (FAQ) Vám také nabízí velké množství rad.

2 Instalace

2.1 Požadavky na výpočetní systém

Předpokladem pro použití RFEMu je tato konfigurace:

- Operační systém Windows 7/8.1/10 64-bit
- X86 procesor 2 GHz
- 2 GB RAM
- USB rozhraní pro instalaci (pokud k instalaci nevyužijeme link pro stažení)
- 20 GB volného místa na pevném disku, z toho asi 4 GB pro instalaci
- Grafická karta sakcelerací OpenGL a s rozlišením 1024 x 768 pixelů (nedoporučujeme integrované grafické karty a karty se sdílenou pamětí)

RFEM neběží pod Windows 95/98/Me/NT/2000/XP/Vista, pod Linuxem, Mac OS ani serverovými operačními systémy.

S výjimkou operačního systému Vám úmyslně nechceme doporučovat žádné konkrétní produkty, protože RFEM běží v zásadě na všech systémech, které splňují uvedené požadavky. Kdo chce však RFEM používat intenzivně a efektivně, pak samozřejmě platí „čím více, tím lépe“.

Při výpočtu složitějších konstrukcí se zpracovávají značná množství dat. Pokud kapacita vnitřní paměti není dostatečná, ukládají se data na pevný disk. To značně zpomaluje výpočet. Rozšíření vnitřní paměti počítače zkrátí dobu výpočtu většinou spolehlivěji než rychlejší procesor.

Vzhledem k tomu, že výpočetní jádro RFEMu podporuje více procesorových jader, lze využít možností 64bitových operačních systémů. To znamená, že pokud má počítač dostatek paměti RAM, lze uplatnit i v případě rozsáhlých konstrukcí rychlejší přímou metodu řešení rovnic.

Pro výpočet velmi rozsáhlých konstrukcí doporučujeme následující konfiguraci:

- 4jádrový procesor
- 8 GB RAM

2.2 Postup instalace

Programový komplet **RFEM** je k dispozici buď jako instalační soubor ke stažení nebo se dodává na USB disku. Tento soubor obsahuje nejen hlavní program RFEM, nýbrž i všechny přídavné moduly, které patří do skupiny RFEM, např. **RF-CONCRETE**, **RF-STEEL**, **RF-STABILITY** atd.

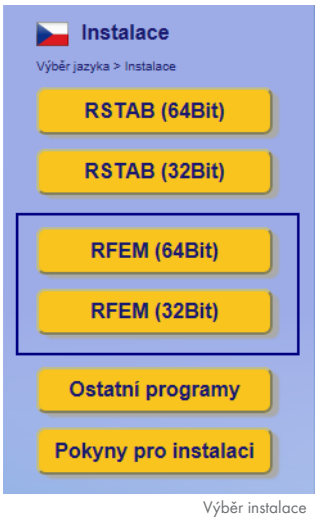
Před zahájením instalace programu ukončete všechny aplikace běžící na Vašem počítači.

Pro instalaci je nutné přihlásit se jako administrátor, resp. mít administrátorská práva. Pro běžnou práci s RFEMem již plně postačují uživatelská práva. Přesný návod lze najít v příslušném dokumentu a ve videosouboru na našich webových stránkách.

2.2.1 Instalace z USB disku

- USB disk připojte k USB rozhraní svého počítače.
- Instalační program se automaticky spustí. Pokud se instalační program sám nespustí, pak je pravděpodobně deaktivována funkce *autorun*. V takovém případě spustíme soubor **setup.exe** v prohlížeči pod jednotkou USB.
- V úvodním dialogu vybereme jazyk.

Obrázek 2.1 Výběr jazyka



Výběr instalace

- V následujícím dialogu stanovíme program **RFEM**.
- Dále se řídíme pokyny průvodce *Installation Wizard*.

Hardlock připojte na USB rozhraní počítače až po skončení instalace. Ovladač hardlocku se pak automaticky nainstaluje.

USB disk obsahuje také pokyny k instalaci ve formátu PDF.

RFEM jako plná nebo zkušební verze

Pokud instalace proběhla úspěšně, je třeba při prvním spuštění programu stanovit, zda chcete používat plnou verzi nebo 90denní zkušební verzi RFEMu.

K neomezenému běhu programu v plné verzi je zapotřebí příslušný hardwarový klíč (hardlock) a autorizační soubor **Author.ini**. Hardlock je zařízení, které se umisťuje na USB rozhraní počítače; v autorizačním souboru jsou zakódovány informace o zpřístupněných programech a přídavných modulech vždy pro konkrétní hardlock. Soubor *Author.ini* Vám zpravidla zasíláme emailem. K autorizačnímu souboru máte také přístup na svém účtu u společnosti Dlubal Sofware. Soubor *Author.ini* uložte na svém počítači, na USB disk nebo na síti.

Autorizační soubor je zapotřebí pro **každou** pracovní stanici. Autorizační soubor lze libovolně kopírovat. Pokud však bude jeho obsah jakkoli změněn, nebude možné ho již k autorizaci použít.

Plnou verzi RFEMu lze provozovat také se *softwarovou licencí* bez hardwarového klíče.

2.2.2 Instalace ze sítě

Také v případě síťových licencí je třeba program nejdříve podle výše uvedeného návodu nainstalovat na pracovní stanice. K ověření platnosti licencí se používají síťové hardlocky. Podrobný návod k instalaci síťového hardwarového klíče najdete na našich webových stránkách.

2.2.3 Instalace updatů a dalších modulů

Na USB flash disku se nachází kompletní programový balík se všemi přídavnými moduly. Při zakoupení dalšího přídavného modulu neobdržíte vždy nutně nový USB disk, každopádně Vám však dodáme nový autorizační soubor *Author.ini*. Autorizaci lze aktualizovat také z hlavní nabídky RFEMu **Nápověda** ⟶ **Autorizace** ⟶ **Načíst autorizační soubor** bez nutnosti spuštění nové instalace.

Při instalaci updatu na verzi v rámci určité řady (např. **5.02**.xxxx) se odstraní staré programové soubory a nahradí novými. Data z Vašich projektů zůstanou samozřejmě zachována. Při updatu na verzi z následující řady (např. **5.03**.xxxx) se nová verze nainstaluje souběžně (viz níže).

Pokud pracujete s uživatelsky definovanými tiskovými hlavičkami, doporučujeme je před instalací updatu zálohovat. Hlavičky se ukládají do souboru **DlubalProtocolConfigNew.cfg** v kmenovém adresáři *C:\ProgramData\Dlubal\Global\General Data*. Ačkoli by tento soubor neměl být při instalaci přepsán, vytvořte pro všechny případy před instalací záložní soubor.

Podobně byste měli před instalací updatu zálohovat Vaše vzorové protokoly. Ukládají se do souboru **RfemProtocolConfig.cfg** v kmenovém adresáři *C:\ProgramData\Dlubal\RFEM 5.xx\General Data*.

Projekty nacházející se ve správci projektů se spravují v ASCII souboru **PRO.DLP** obvykle v adresáři *C:\ProgramData\Dlubal\Global\Project Manager* (viz obr. 12.21). Pokud si přejete kompletně deinstalovat RFEM před novou instalací, pak by měl být i tento soubor předem zálohován.

2.2.4 Paralelní instalace různých verzí programu RFEM

Aplikace RFEM 4 a jednotlivé řady verzí RFEMu 5 lze paralelně provozovat na jednom počítači, protože programové soubory se nacházejí v různých adresářích. Standardní adresáře programu jsou v případě 64bitového operačního systému:

RFEM 4: *C:\Program Files (x86)\Dlubal\RFEM 4*
RFEM 5.01: *C:\Program Files\Dlubal\RFEM 5.01*
RFEM 5.02: *C:\Program Files\Dlubal\RFEM 5.02*
-
RFEM 5.03: *C:\Program Files\Dlubal\RFEM 5.03 atd.*

Všechny modely vytvořené v programu RFEM 4 lze otevřít a dále upravovat v RFEMu 5. Modely z RFEMu 4 se při ukládání v RFEMu 5 nepřepíšou, protože pro soubory těchto dvou generací programu se používají odlišné koncovky: RFEM 4 ukládá soubory úloh ve formátu *.**rf4**, zatímco RFEM 5 ve formátu *.**rf5**.

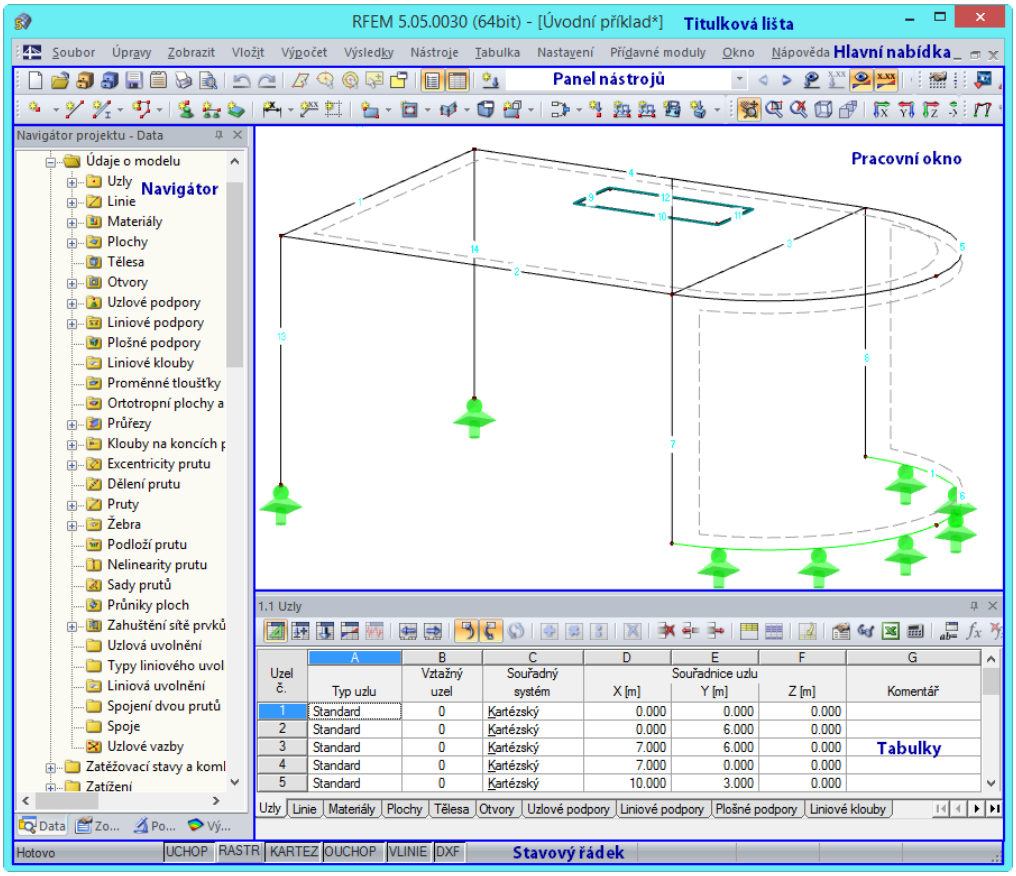
Soubory modelů z programu RFEM 5 jsou s určitým omezením také zpětně kompatibilní. Pokud otevřeme model v některé předchozí verzi programu, zobrazí se např. upozornění, že můžou nastat problémy s kompatibilitou v případě prutů s nesymetrickými průřezy.

3 Uživatelské prostředí

3.1 Přehled

Pokud po spuštění programu RFEM otevřete některý z dodaných příkladů DEMO, zobrazí se Vám obrazovka v podobě znázorněné na obr. 3.1. Uživatelské prostředí odpovídá konvencím OS Windows.

Na následujícím obrázku jsou vyznačeny hlavní části uživatelského prostředí.

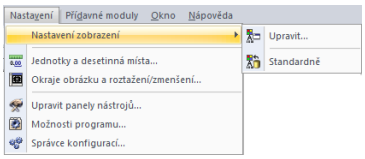
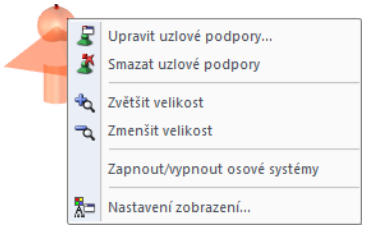
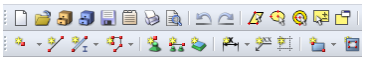
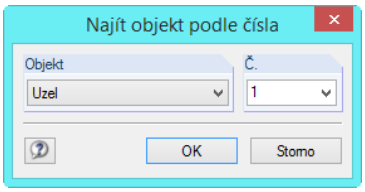
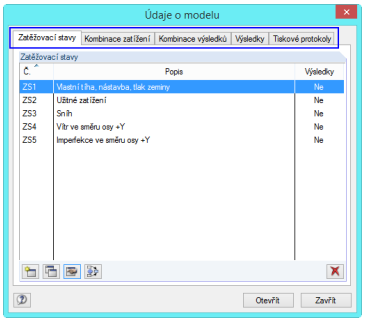


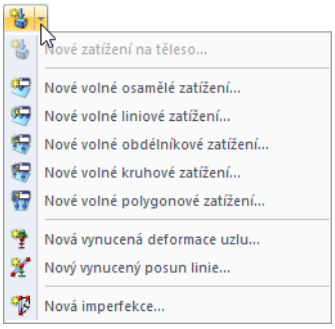
Obrázek 3.1 Uživatelské prostředí RFEMu

3.2 Používané pojmy

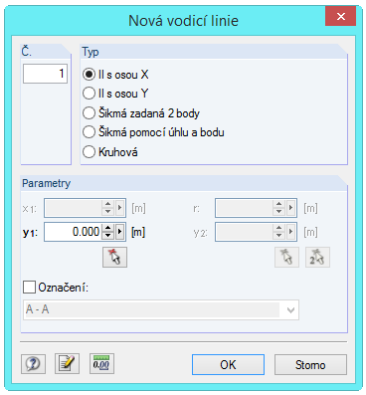
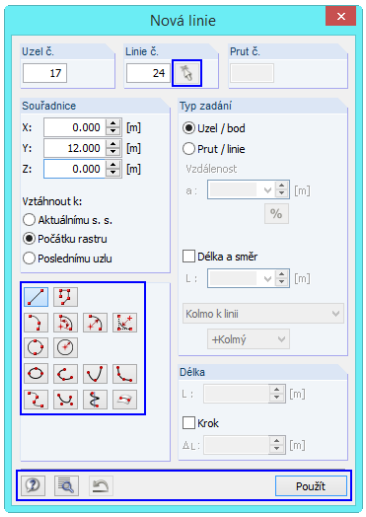
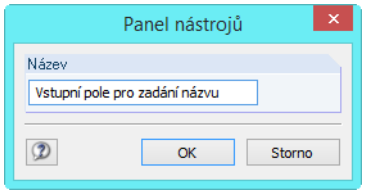
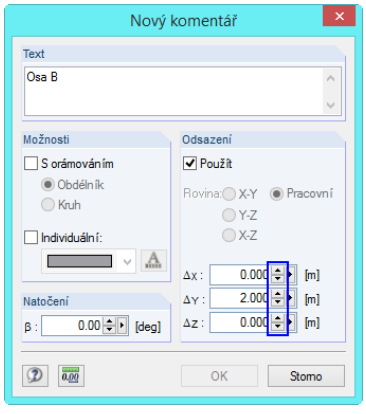
Pro jednotlivé prvky uživatelského prostředí se vyskytují nejrůznější pojmy. V této příručce jsme se rozhodli používat české termíny, pokud existují. Některé pojmy označujeme souhrnným termínem, jestliže nevykazují mezi sebou rozdíly podstatné pro obsluhu programu RFEM.

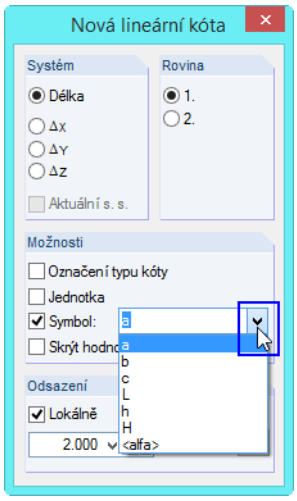
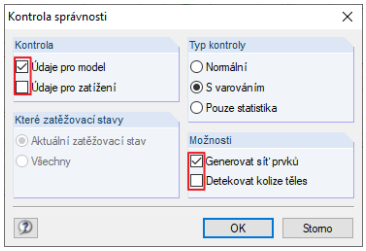
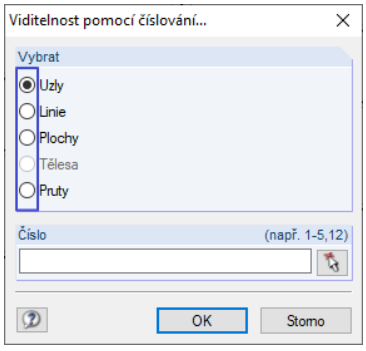
V následující tabulce jsou stručně objasněny nejpoužívanější pojmy.

Pojem	Obrázek	Synonymum	Vysvětlení
Hlavní nabídka		Pulldown menu	Příkazy a funkce, které se nacházejí pod hlavní lištou okna RFEMu.
Místní nabídka		Popup menu	Nabídka, která se otevře kliknutím na určitý objekt **pravým tlačítkem** myši. Obsahuje důležité příkazy a funkce k danému objektu.
Panel nástrojů		Nástrojová lišta, toolbar	Sada tlačítek pod hlavní nabídkou.
Dialog			Okno k zadání údajů, které se otevře v hlavním okně.
Záložka		Karta	Velké dialogy jsou rozčleněny do několika záložek. Kliknutím na záložku se zpřístupní jednotlivé „karty“.



Rozbalovací tlačítko v panelu nástrojů

Sekce		Skupina	Prvky v dialogu, které spolu obsahově souvisí.
Tlačítko		Ikona	Kliknutím na tlačítko se spustí určitá činnost, např. se otevře nový dialog nebo provede změna. V panelu nástrojů jsou k dispozici také *takzvaná rozbalovací tlačítka*: po kliknutí na se otevře seznam s podobnými funkcemi. V panelu nástrojů se přitom zobrazí naposledy vybrané tlačítko.
Vstupní pole		Textové pole, vstupní řádek	Pole, v němž lze zadat text nebo číselné hodnoty.
Číselník		Spinner	Dvě malá tlačítka vedle vstupního pole, která umožňují postupně zvyšovat nebo snižovat číselnou hodnotu v poli.

Seznam		Listbox, combobox, roletka	Výběr možností pro vstupní pole. V některých případech může uživatel doplnit i vlastní údaje.
Zaškrtávací políčko		Checkbox, kontrolní políčko	Volba ano/ne zaškrtnutím nebo odškrtnutím políčka.
Přepínač		Radio Button	Volba mezi alternativami, z nichž je možné vybrat vždy jen jednu možnost.

Tabulka 3.1 Pojmy z uživatelského prostředí

3.3 Specifické pojmy RFEMu

Vtéto kapitole uvádíme některé specifické pojmy používané v programu RFEM. Podrobně je popisujeme v následujících kapitolách.

Pojem	Vysvětlení
Uzel	V trojrozměrném modelu je uzel definován souřadnicemi (X;Y;Z). Na základě uzlů je popsána geometrie modelu konstrukce.
Linie	Linie je spojnicí dvou uzlů. Kromě lineárního spojení lze zadat i linie vyššího řádu jako např. oblouky nebo křivky.

Prut	Prut je vlastností linie. Prutu se přiřadí tuhost tak, že se definuje materiál a průřezové charakteristiky. Prut se považuje za 1D prvek.
Sada prutů	Pruty mohou být spojeny do sad prutů. RFEM rozlišuje dva typy sad prutů, tzv. **sledy prutů**, v nichž pruty jeden na druhý průběžně navazují, a tzv. **skupiny prutů**, kdy lze k jednomu uzlu připojit více než dva pruty.
Plocha	Plocha je ohraničena liniemi. Ploše se přiřadí tuhost tak, že se definuje materiál a tloušťka. Plocha se považuje za 2D prvek.
Těleso	Těleso je vymezeno hraničními plochami (nejčastěji typu *Nulová*). Tělesu se přiřadí tuhost tak, že se definuje jeho materiál. Těleso se pro výpočet považuje za 3D prvek.
Uzlová podpora	Odebírá uzlu stupně volnosti a/nebo definuje uzlové nelinearity.
Liniová podpora	Odebírá všem uzlům sítě KP ležícím na linii stupně volnosti.
Plošná podpora	Odebírá všem uzlům sítě KP kležícím na ploše stupně volnosti.
Zatížení na uzel	Uzel je zatížen silou nebo momentem.
Zatížení na linii	Linii lze zatížit konstantním, lineárně proměnným nebo osamělým zatížením. Zatížení působí jako síla nebo moment.
Zatížení na prut	Na prut může působit spojité zatížení nebo osamělé břemeno. Průběh zatížení může být konstantní, lineárně proměnný nebo parabolický. Prut lze zatížit silami, momenty nebo také teplotou, protažením, podélným posunem, zakřivením či předpětím.
Zatížení na plochu	Na plochu může působit konstantní nebo lineárně proměnné zatížení. Plochu lze zatížit silami a dále také teplotou nebo vynucenými deformacemi.
Zatížení na těleso	Těleso může být zatíženo teplotou nebo vynucenými deformacemi.
Zatěžovací stav *ZS*	Všechna zatížení v důsledku téhož účinku se uloží v jednom zatěžovacím stavu, např. ‚vlastní tíha' nebo ‚vítr'. Zatížení by se měla zadávat jako charakteristická zatížení (čili bez součinitele). Dílčí součinitele spolehlivosti se berou v úvahu až při výpočtu kombinací zatížení nebo kombinací výsledků. Zatěžovací stav se zpravidla počítá podle teorie I. řádu.
Kombinace zatížení *KZ*	Kombinace zatížení je superpozicí zatěžovacích stavů - skládá **zatížení** z několika zatěžovacích stavů. Kombinace zatížení se zpravidla počítá podle teorie II. nebo III. řádu.

Kombinace výsledků *KV*	Kombinace výsledků slouží také ke skládání ZS. Na rozdíl od KZ se tu však nekombinují zatížení, nýbrž **výsledky** příslušných zatěžovacích stavů. Pomocí *NEBO* kombinace lze z různých zatěžovacích stavů, kombinací zatížení nebo kombinací výsledků určit i extrémní vnitřní síly a deformace. Princip aditivní superpozice však neplatí pro skládání výsledků získaných nelineárním výpočtem.

Tabulka 3.2 RFEM - specifické pojmy

3.4 Uživatelské prostředí RFEMu

V této kapitole popisujeme jednotlivé obslužné prvky RFEMu (viz obr. 3.1). Program vychází ze všeobecných standardů pro aplikace v operačním systému Windows.

3.4.1 Hlavní nabídka

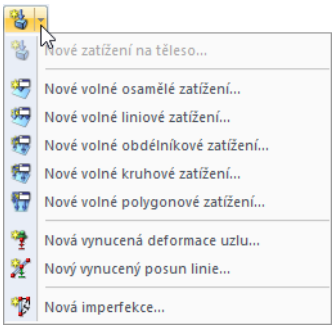
Pod hlavní lištou v okně RFEMu se nachází hlavní nabídka. Nabízí nám přístup ke všem funkcím programu RFEM. Je uspořádána do logických bloků.

Hlavní nabídku lze otevřít kliknutím myší nebo z klávesnice kombinací tlačítek [Alt] a podtrženého písmene v názvu hlavní nabídky. Hlavní nabídka se následně rozbalí a nabídne nám jednotlivé funkce. Každá funkce v nabídce má rovněž jedno písmeno podtržené. Konkrétní položku lze vybrat i v tomto případě přímo kliknutím myší nebo stisknutím podtrženého písmene na klávesnici. Požadovanou funkci lze také navolit pomocí kláves [↑] a [↓] a poté spustit klávesou [↵].

Pokud rozbalíme jednu z nabídek, můžeme dále mezi nabídkami nebo jejich položkami přepínat pomocí kláves [←] a [→].

Vedle některých položek v nabídce je navíc uvedena kombinace kláves. Tyto takzvané *Hot Keys* vycházejí z velké části ze standardů Windows. Kombinace kláves [Ctrl]+[S] tak například slouží k ukládání dat.

3.4.2 Panely nástrojů



Rozbalovací tlačítko v panelu nástrojů

Pod hlavní nabídkou se nacházejí panely nástrojů s rozsáhlou řadou tlačítek. Pouhým kliknutím myší na tlačítka (*ikony*) lze přímo spustit nejdůležitější příkazy. Pokud na chvíli zůstaneme stát kurzorem myši na některém tlačítku, zobrazí se nám stručná informace o jeho funkci (*bublinová nápověda*, *tooltip*).

Některá tlačítka obsahují - podobně jako nabídka - další podpoložky: tato takzvaná *rozbalovací tlačítka* nabízejí tematicky spjaté funkce. Otevřou se po kliknutí na vedle symbolu tlačítka. V panelu nástrojů se přitom zobrazí naposledy vybrané tlačítko.

Panely nástrojů lze snadno přemisťovat. Stačí je v přední části „uchopit“ myší a přetáhnout na požadované místo.

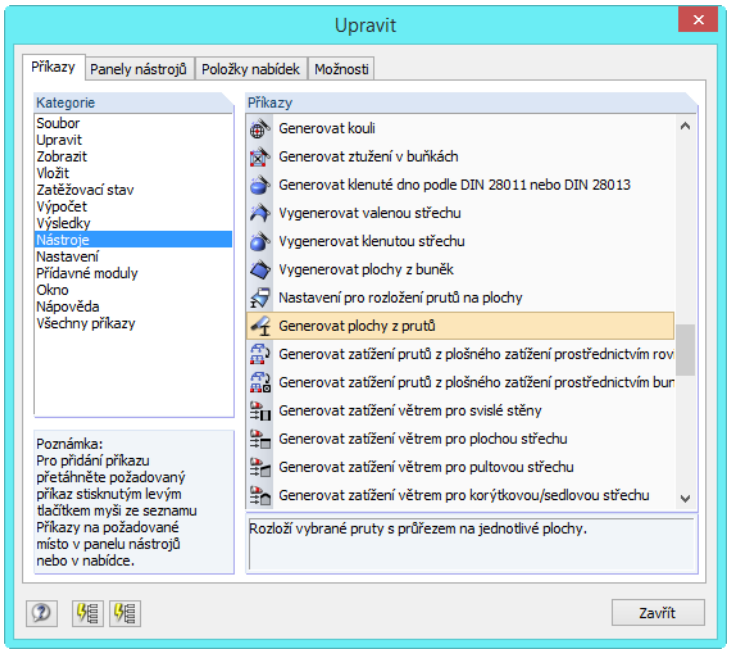
Obrázek 3.2 Ukotvený panel nástrojů *Zobrazit*

Pokud panel nástrojů přeneseme na pracovní plochu, změní se v „plovoucí“ panel nástrojů nad grafickým oknem.

Obrázek 3.3 Plovoucí panel nástrojů *Zobrazit*

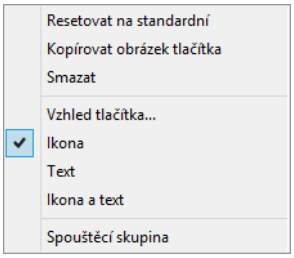
Plovoucí panel nástrojů lze znovu ukotvit na okraj okna tak, že ho na dané místo přesuneme myší nebo dvakrát klikneme na jeho název.

Příkazem **Zobrazit → Upravit panely nástrojů...** v hlavní nabídce vyvoláme dialog, který umožňuje měnit uspořádání a obsah panelů nástrojů tak, jak je obvyklé ve Windows.



Obrázek 3.4 Dialog *Upravit*, záložka *Příkazy*

Všechny příkazy z programu RFEM jsou zde seřazeny do *kategorií*. Pokud v seznamu kategorií označíme některou položku, zobrazí se vpravo tlačítka všech zahrnutých *příkazů*. Jestliže klikneme na některé tlačítko, zobrazí se ve spodní části dialogu informace o jeho funkci. Každé tlačítko lze uchopit a přetáhnout na libovolné místo v panelu nástrojů. Přidaná tlačítka doporučujeme zařadit do nového panelu nástrojů (viz obr. 3.6), protože u ostatních panelů nástrojů se při updatu může obnovit výchozí standardní nastavení.

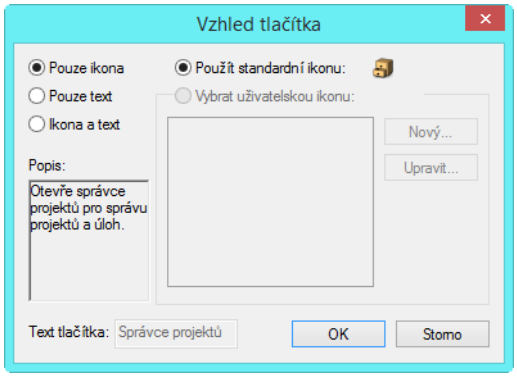


Místní nabídka tlačítka, resp. položky v hlavní nabídce

Chceme-li tlačítko z panelu nástrojů odstranit, je třeba otevřít dialog *Upravit*. Tlačítko pak můžeme myší přetáhnout z panelu nástrojů na pracovní plochu. Máme ovšem také možnost použít příkaz *Smazat* v místní nabídce tlačítka.

Příkazy můžeme přetáhnout nejen do panelu nástrojů, ale také do hlavních nabídek. Tímto způsobem může uživatel vytvářet nabídky podle svých požadavků. Stejně jako v případě panelu nástrojů může uživatel položky v hlavní nabídce mazat nebo upravovat.

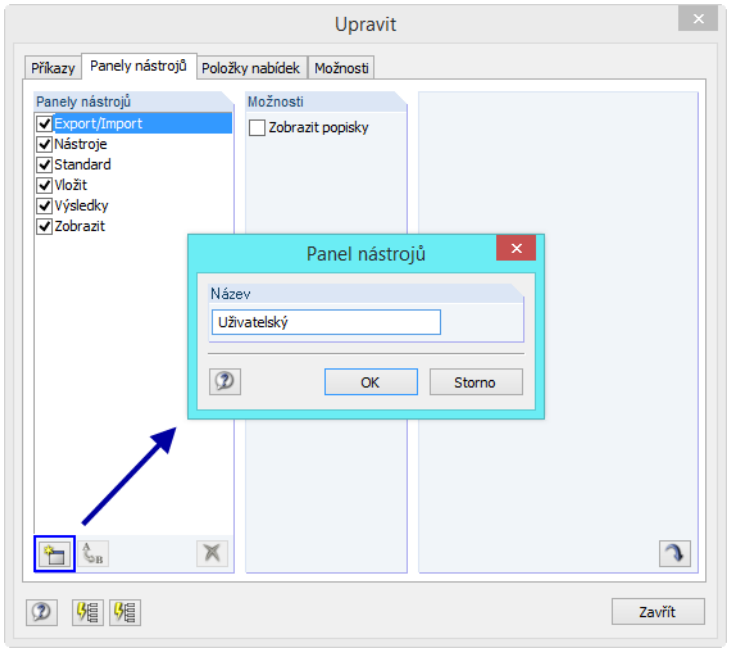
Volba *Vzhled tlačítka...* v místní nabídce slouží k otevření následujícího dialogu:



Obrázek 3.5 Dialog *Vzhled tlačítka*

V něm lze upravit text tlačítka, resp. položky v hlavní nabídce. Dále lze standardní ikonu nahradit uživatelsky ikonou.

Záložka *Panely nástrojů* obsahuje seznam všech aktuálních panelů nástrojů. Zde můžeme panely nástrojů deaktivovat nebo také vytvořit [Nový uživatelsky zadaný panel nástrojů...].



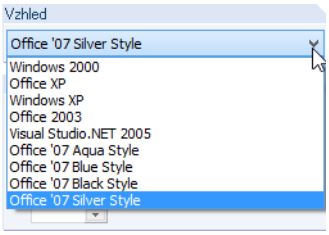
Obrázek 3.6 Založení nového panelu nástrojů

V dialogu *Panel nástrojů* zadáme název nového panelu nástrojů. Po kliknutí na [OK] se zobrazí nový, plovoucí panel nástrojů. Můžeme ho přemístit na požadované místo a přiřadit mu tlačítka v záložce *Příkazy* (viz obr. 3.4).

Kliknutím na tlačítko [Zrušit všechny uživatelsky zadané panely nástrojů] lze obnovit základní nastavení. Pokud seznam obsahuje panel nástrojů vytvořený uživatelem, bude odstraněn. Standardní přednastavené panely nástrojů v programu RFEM nemohou být odstraněny, pouze deaktivovány.

V záložce *Položky nabídek* může uživatel sám vytvářet hlavní nabídky příkazů. Postup je stejný jako při vytváření nových panelů nástrojů (viz obr. 3.6).

Poslední záložka *Možnosti* slouží k nastavení vzhledu uživatelského prostředí RFEMu. Vybírat můžeme z následujících možností:



Obrázek 3.7 Seznam možných vzhledů uživatelského prostředí RFEMu

Nastavení se po provedení změny ihned aktualizuje.

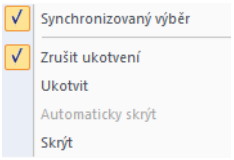
3.4.3 Navigátor projektu

Na levé straně pracovního okna se zobrazuje navigátor po vzoru průzkumníka ve Windows. Tento *navigátor projektu* můžeme zapnout či naopak vypnout tak, že vybereme v hlavní nabídce funkci **Zobrazit → Navigátor** nebo klikneme na příslušné tlačítko.

Obrázek 3.8 Tlačítko *Zapnout/vypnout navigátor* v panelu nástrojů *Standard*

Navigátor obsahuje údaje všech otevřených úloh přehledně uspořádané ve stromové struktuře. Kliknutím na [+] rozbalíme jednotlivé větve stromu, naopak kliknutím na [-] je opět zabalíme. Totéž lze provést i dvojím kliknutím na název větve v navigátoru.

S navigátorem lze pracovat jako s panelem nástrojů. Můžeme ho například myší „uchopit“ na horním okraji a přesunout ho na pracovní plochu. Dvojím kliknutím na titulkovou lištu navigátoru nebo jeho uchopením na okraji a přesunutím zpátky ho lze opět ukotvit na okraji okna. Během posunu navigátoru se nám zobrazí vlevo znázorněná tlačítka, která umožňují ukotvit navigátor na jednom ze čtyř okrajů: navigátor přesuneme na požadované tlačítko a uvolníme tlačítko myši, jakmile se kurzor nachází nad daným tlačítkem.



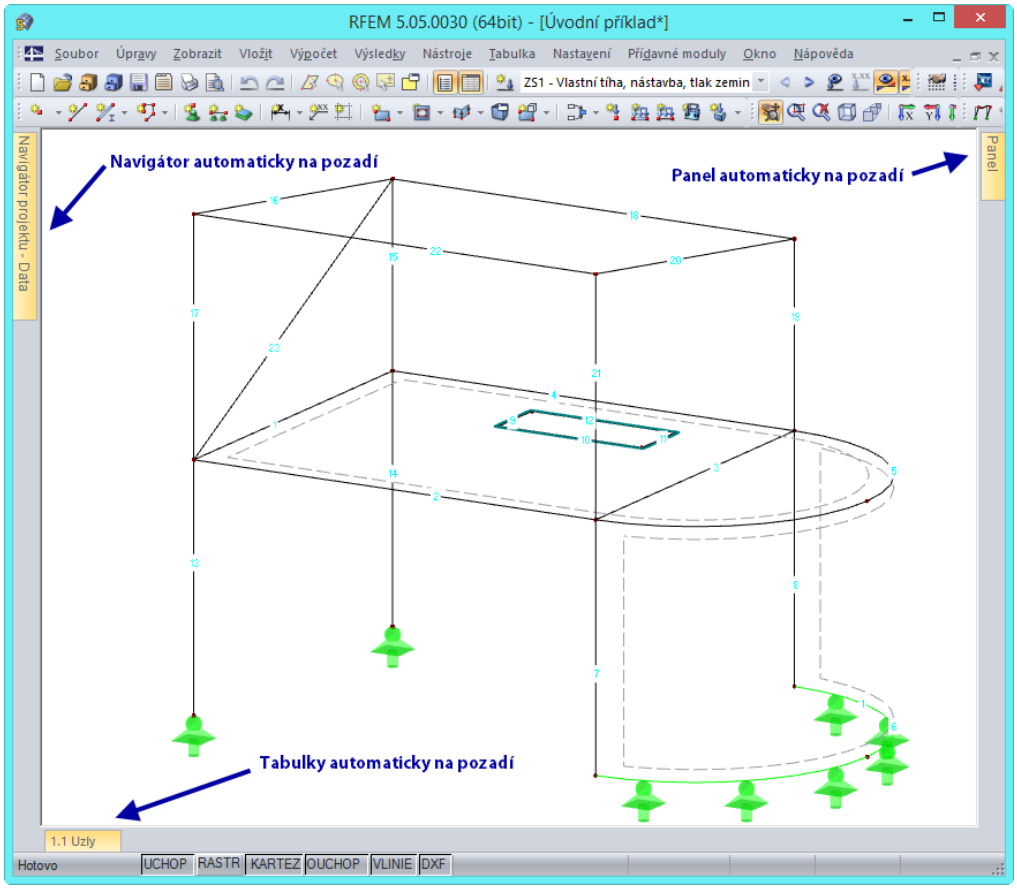
Místní nabídka navigátoru

Pokud navigátor nechceme na okraji ukotvit, lze zvolit odpovídající příkaz v místní nabídce navigátoru.

Jestliže jsme aktivovali *synchronizovaný výběr*, pak se objekt označený v navigátoru barevně zvýrazní v obrázku konstrukce.

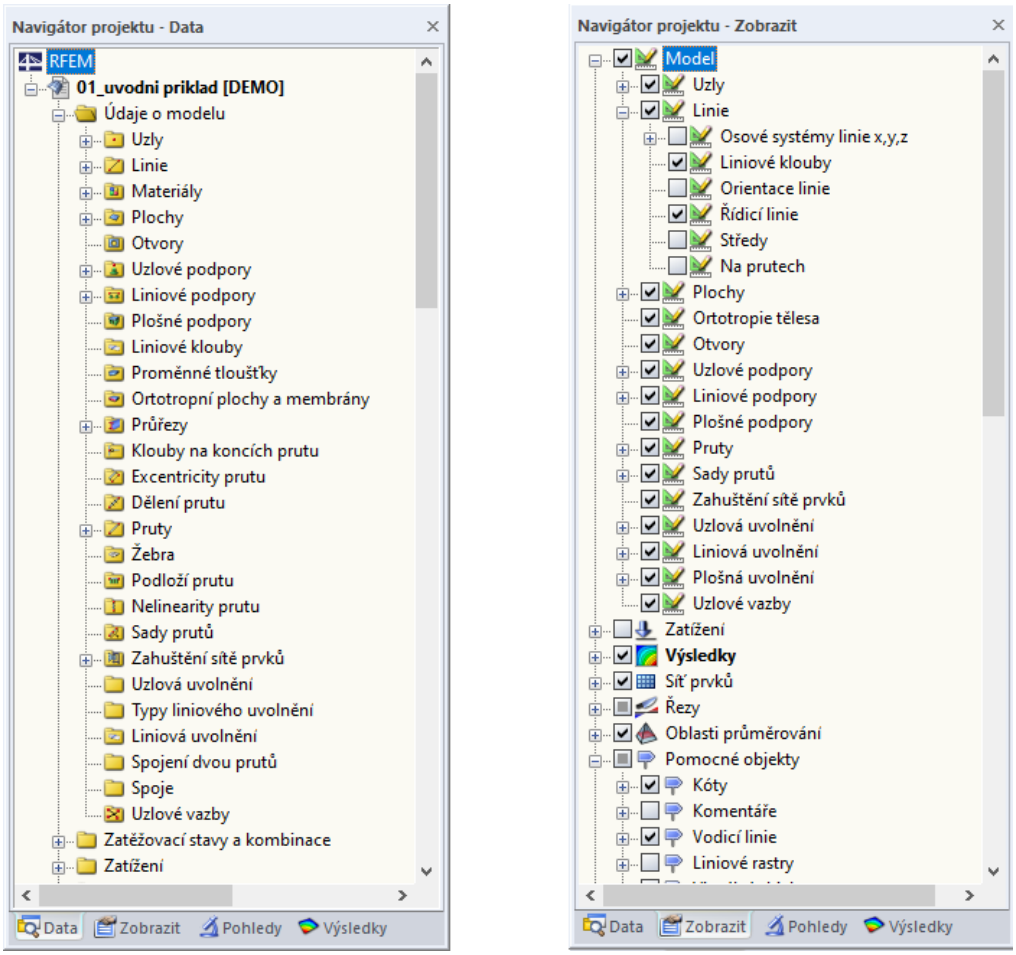
Volba v místní nabídce navigátoru *Automaticky skrýt* slouží k minimalizování navigátoru, pokud s ním právě nepracujeme: jestliže kliknutím myší aktivujeme pracovní okno, zasune se navigátor do úzkého panelu na okraji (viz obr. 3.9). Tuto funkci můžeme v případě ukotveného navigátoru aktivovat i pomocí tlačítka se symbolem špendlíku v pravém horním rohu navigátoru (viz obr. 3.10).

Pokud pak myš umístíme nad políčko *Navigátor projektu* v ukotveném panelu, navigátor se opět zobrazí v plné velikosti.



Obrázek 3.9 Navigátor, tabulky a panel automaticky na pozadí

Na spodním okraji navigátoru se nacházejí tři (resp. po výpočtu čtyři) záložky. Lze jimi přepínat mezi navigátorem *Data*, *Zobrazit*, *Pohledy* a *Výsledky*.



Obrázek 3.10 Záložky *Data* a *Zobrazit* v navigátoru projektu

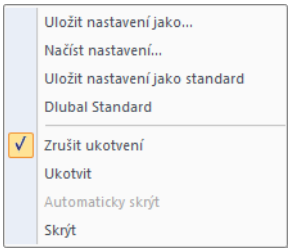
Navigátor *Data*

Tento navigátor obsahuje údaje o modelu konstrukce a o zatíženích a také výsledky výpočtu. Dvojím kliknutím na podpoložku („list“ stromu) vyvoláme dialog, v němž lze vybranou položku upravovat. Jedním kliknutím pravým tlačítkem myši na položku otevřeme její místní nabídku s užitečnými funkcemi.

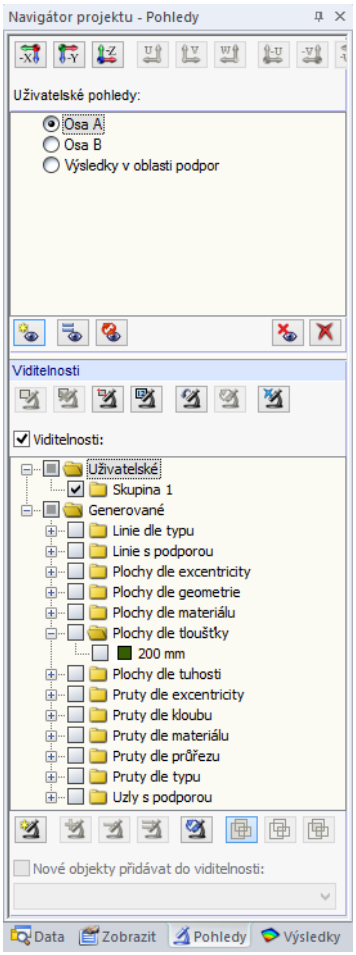
Chybně definované objekty se zobrazí červeně, nepoužívané objekty modře.

Navigátor *Zobrazit*

V navigátoru *Zobrazit* lze nastavit grafické zobrazení v pracovním okně. Pokud některá položka v navigátoru bude mít zaškrtávací políčko prázdné, příslušný prvek se v grafickém okně neobjeví.



Vlevo znázorněná místní nabídka tohoto navigátoru umožňuje ukládat a načítat uživatelsky definovaná nastavení a používat je jako standard pro nově vytvářené modely.



Obrázek 3.11 Záložky *Pohledy* a *Výsledky* v navigátoru projektu

Navigátor *Pohledy*

Tento navigátor obsahuje pohledy na model zadané uživatelem a dále automaticky vytvářené i uživatelsky definované viditelnosti objektů (výřez, skupiny). Tlačítka, která tu máme k dispozici, slouží uživateli k vytváření pohledů, k nastavení viditelností, zařazování objektů do uživatelsky zadávaných viditelností atd.

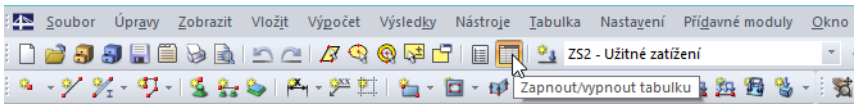
K práci s pohledy a viditelnostmi se podrobně vrátíme v kapitole 9.9.1.

Navigátor *Výsledky*

V tomto navigátoru se nastavuje grafické zobrazení výsledků. Jeho obsah závisí na tom, zda zobrazujeme výsledky z programu RFEM nebo některého přídavného modulu.

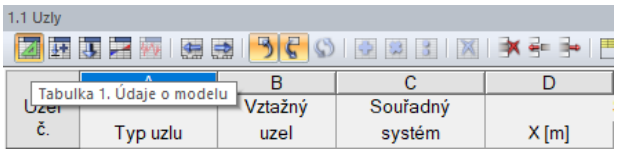
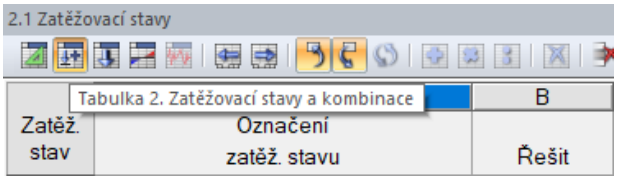
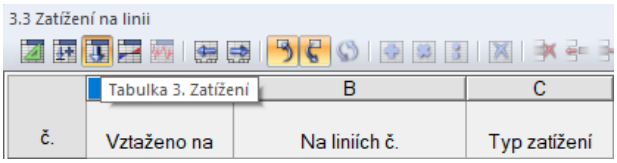
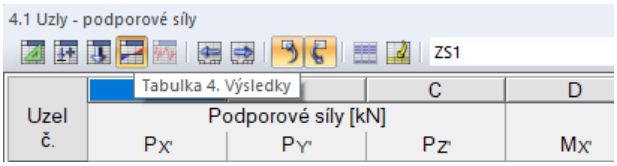
3.4.4 Tabulky

V dolní části okna RFEMu se nacházejí tabulky. Zapnout, resp. vypnout je lze z hlavní nabídky **Tabulka → Zobrazit** nebo pomocí příslušného tlačítka.



Obrázek 3.12 Tlačítko *Zapnout/vypnout tabulku* v panelu nástrojů *Standard*

Program nám nabízí čtyři skupiny tabulek. Mezi těmito skupinami tabulek lze přepínat pomocí čtyř prvních tlačítek na panelu nástrojů v okně tabulek nebo z hlavní nabídky **Tabulka → Jdi na**.

 Hlavní nabídka *Tabulka → Jdi na → Údaje o modelu*	Tabulky pro zadání údajů o modelu
 Hlavní nabídka *Tabulka → Jdi na → Zatěžovací stavy a kombinace*	Tabulky pro zadání údajů o zatěžovacích stavech a kombinacích
 Hlavní nabídka *Tabulka → Jdi na → Zatížení*	Tabulky pro zadání údajů o zatížení
 Hlavní nabídka *Tabulka → Jdi na → Výsledky*	Tabulky výsledků

Tabulka 3.3 Tlačítka pro otevření jednotlivých skupin tabulek

Do tabulek lze zadat veškeré údaje o modelu konstrukce a o zatížení v číselné podobě. K velmi efektivnímu zadání dat v tabulkách slouží celá řada účelných funkcí, které podrobněji popisujeme v kapitole 11.5.

Postupné vyplnění tabulky po tabulce nám dává jistotu, že budou zadána všechna data. Tabulky odrážejí vnitřní datovou strukturu programu RFEM. Také popis vstupů a výstupů RFEMu v této příručce kapitoly 4, 5, 6 a 8 vychází ze struktury tabulek.

S tabulkami můžeme hýbat stejně jako s panely nástrojů. „Uchopíme“ je myší na jejich horním okraji a přetáhneme na pracovní plochu. Dvojím kliknutím na titulkovou lištu tabulky nebo jejím uchopením a přesunutím na okraj okna, příp. na některé ztlačítek znázorněných vlevo lze tabulky opět ukotvit.

Volba v místní nabídce ukotvených tabulek *Automaticky skrýt* slouží k minimalizování tabulek, pokud s nimi právě nepracujeme a aktivujeme pracovní okno (viz obr. 3.9). Tuto funkci můžeme vybrat i pomocí tlačítka se symbolem špendlíku v pravém horním rohu titulkové lišty tabulky. Pokud pak myš umístíme nad ukotvenou lištu, tabulky se opět zobrazí v původní velikosti.

Jestliže v tabulce označíme myší některý řádek, pak se příslušný objekt zvýrazní barevně v grafickém zobrazení. A naopak - pokud vybereme některý objekt v grafickém okně, nalistuje se odpovídající řádek v tabulce a vyznačí se odlišnou barvou. Tuto takzvanou „synchronizaci výběru“ lze nastavit z hlavní nabídky **Tabulka → Nastavení** nebo pomocí vlevo znázorněných tlačítek (viz kapitola

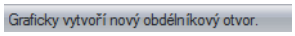
11.5.4).

3.4.5 Stavový řádek

Zcela dole v okně RFEMu vidíme stavový řádek. Zapnout, resp. vypnout ho lze příkazem z hlavní nabídky **Zobrazit → Stavový řádek**.

Stavový řádek je rozdělen do tří částí.

Levá část

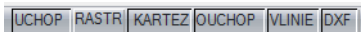


Obrázek 3.13 Levá část stavového řádku

Text, který se zobrazuje v levé části stavového řádku, se mění v závislosti na právě aktivované programové funkci. Pokud je kurzor myši umístěn v grafickém okně, zobrazí se v této části stavového řádku informace o objektu, na němž se kurzor myši právě nachází.

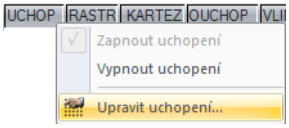
Hlavně zpočátku je užitečné tuto část obrazovky sledovat. Dovíme se tak bližší informace o jednotlivých tlačítkách z panelů nástrojů nebo o dialozích.

Střední část



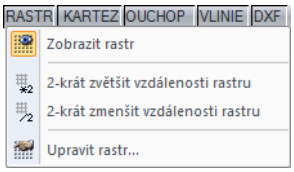
Obrázek 3.14 Střední část stavového řádku

Tato část stavového řádku funguje podobně jako panel nástrojů. Lze v ní ovlivnit nastavení pracovní roviny a grafické zobrazení v pracovním okně.



ÚCHOP

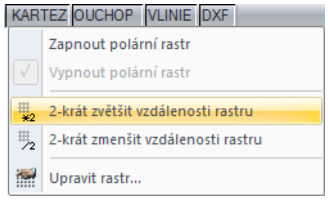
Toto tlačítko slouží k vypnutí, resp. zapnutí uchopovací funkce rastru. Z místní nabídky tohoto tlačítka lze vyvolat dialog k přesnému nastavení rastru (podrobněji v kapitole 11.3.2).



RASTR

Pomocí tohoto tlačítka lze zapínat, resp. vypínat rastr. Příkazem *Upravit rastr...* v místní nabídce tohoto tlačítka lze také vyvolat dialog, který vidíme na obr. 11.34 .

Z místní nabídky můžeme dále zvětšovat nebo zmenšovat vzdálenost bodů rastru.



KARTEZ / POLÁR / ORTO

Toto tlačítko slouží k přepínání mezi kartézským a polárním rastrem a režimem ORTO, který umožní vynášet linie nebo pruty v ortogonálním (pravoúhlém) režimu. Z místní nabídky lze opět vyvolat dialog znázorněný na obr. 11.34 nebo zmenšit či zvětšit vzdálenost bodů rastru.

OÚCHOP

Tímto tlačítkem lze vypnout, resp. zapnout uchopování objektů. Bližší informace o této funkci najdeme v kapitole 11.3.3 .

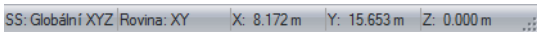
VLINIE

Kliknutím na toto tlačítko vypneme nebo zapneme vodicí linie. Vodicí linie jsou popsány v kapitole 11.3.7.

DXF

Tímto tlačítkem se ovládá zobrazování hladin na pozadí (viz kapitola 11.3.10).

Pravá část



Obrázek 3.15 Pravá část stavového řádku

V pravé části stavového řádku se zobrazí informace ke grafickému oknu:

- Režim viditelnosti (je-li aktivní)
- Souřadný systém *SS*
- Pracovní rovina
- Aktuální souřadnice kurzoru myši

3.4.6 Řídicí panel

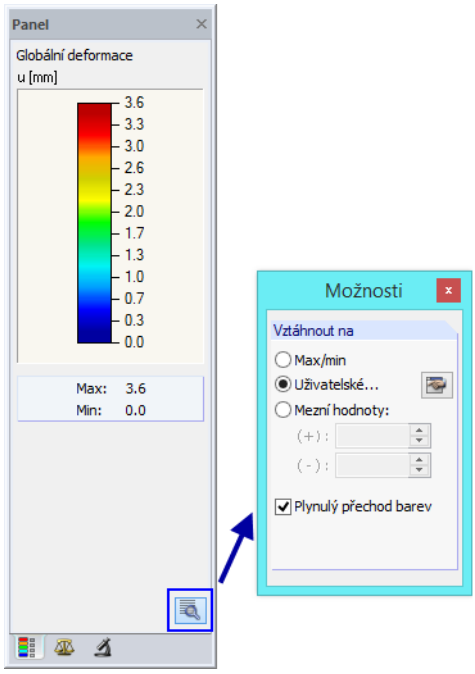
Jakmile graficky zobrazíme vnitřní síly nebo deformace, objeví se v pracovním okně takzvaný **řídicí panel**. Lze v něm nastavit různé parametry pro jejich zobrazení. Panel lze zapnout, resp. vypnout z hlavní nabídky **Zobrazit** ⟶ **Řídicí panel** nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

S řídicím panelem lze pracovat jako s panelem nástrojů. Můžeme ho „uchopit“ myší na horním okraji a přetáhnout na pracovní plochu. Dvojím kliknutím na titulkovou lištu panelu nebo jejím uchopením a přesunutím na okraj okna, příp. na některé ztlačítek znázorněných vlevo lze panel opět ukotvit.

Volba v místní nabídce ukotveného panelu *Automaticky skrýt* slouží k minimalizování panelu, pokud s ním právě nepracujeme a aktivujeme pracovní okno (viz obr. 3.9). Tuto funkci můžeme vybrat i pomocí tlačítka se symbolem špendlíku v pravém horním rohu titulkové lišty panelu. Pokud pak myš umístíme nad ukotvenou lištu, panel se opět zobrazí v původní velikosti.

Řídicí panel se skládá ze záložek *Stupnice barev*, *Faktory*, *Filtr* a příp. *Tloušťky*.

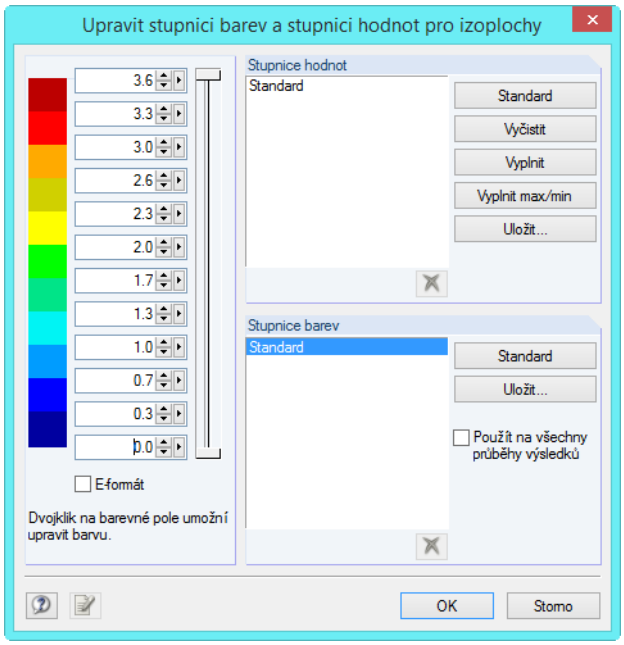
Stupnice barev



Obrázek 3.16 Řídicí panel, záložka *Stupnice barev* s aktivním dialogem *Možnosti*

Pokud jsme zvolili vícebarevné zobrazení výsledků, pak se v této záložce zobrazí stupnice barev, v níž jsou hodnoty zařazeny do určitých barevných pásem. Standardní stupnice hodnot má 11 stupňů, do nichž je ve stejných intervalech rozdělen celý rozsah mezi extrémními hodnotami.

Stupnici barev lze upravovat. Stačí na některou barvu dvakrát kliknout nebo lze stisknout tlačítko [Možnosti...] v panelu a pak v dialogu *Možnosti* (obr. 3.16) vybrat přepínač *Uživatelské...* Klikneme-li na tlačítko [Upravit stupnice barev a hodnot...], zobrazí se následující dialog:



Obrázek 3.17 Dialog *Upravit stupnici barev a stupnici hodnot pro izoplochy*

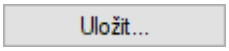
Pomocí dvou jezdců nacházejících se vpravo vedle hodnot lze z obou stran upravovat počet stupňů barev.

Barvy lze měnit tak, že dvakrát klikneme na příslušné barevné políčko.

Hodnoty lze ve stupnici upravovat ručně. Je však třeba důsledně dodržovat vzestupné nebo sestupné pořadí. Tlačítka v sekci *Stupnice hodnot* podporují přiřazení hodnot. Mají následující význam:

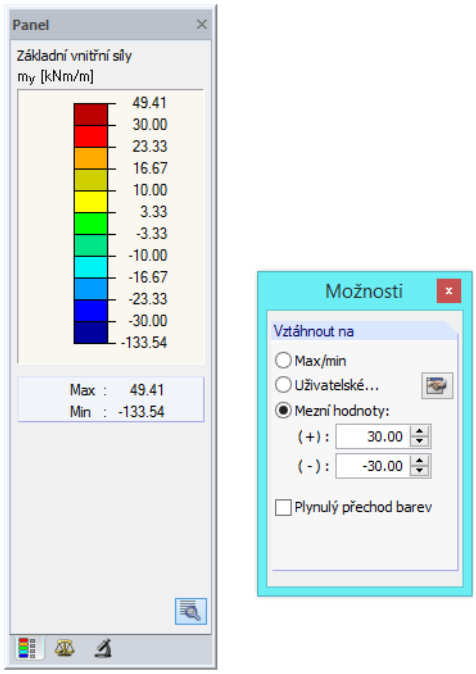
Tlačítko	**Funkce**
Standard	Standardně se nastaví 11 oblastí barev.
Vyčistit	Všechny hodnoty ve vstupních polích se smažou.
Vyplnit	V závislosti na počtu oblastí barev bude provedena interpolace hodnot ve stejných intervalech mezi maximem a minimem.
Vyplnit max/ min	V redukované stupnici hodnot se mezihodnoty vypočítají vzhledem k absolutním, popř. ručně zadaným extrémním hodnotám.
Uložit	Uloží se aktuální nastavení stupnice hodnot. Toto nastavení lze použít i v jiném modelu.

Tabulka 3.4 Tlačítka v sekci *Stupnice hodnot*



Pomocí zaškrtávacího políčka *Použít na všechny průběhy výsledků* lze určit, zda se aktuální stupnice barev má použít pro zobrazení výsledků všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení i kombinací výsledků. Stupnice hodnot tím dotčena nebude, protože globální přiřazení hodnot pro deformace, síly, momenty a napětí je problematické. Upravenou stupnici barev je třeba nejdříve uložit jako uživatelsky definovanou stupnici pomocí tlačítka [Uložit...].

Pokud je tlačítko [Možnosti...] aktivováno jako na obr. 3.16, pak se nám v dialogu *Možnosti* nabídnou další možnosti nastavení.

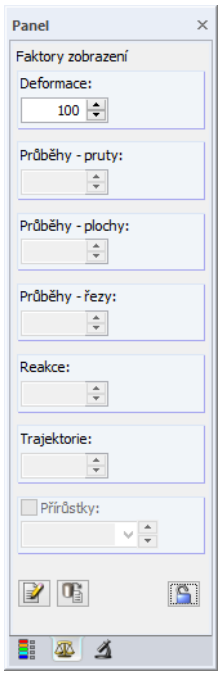


Obrázek 3.18 dialog *Možnosti*, volba *Mezní hodnoty +/-*

Volba *Mezní hodnoty* slouží k přesnému vyhodnocení v rámci definovaného intervalu. Hodnoty překročující maximální nebo podkročující minimální hodnotu se zobrazí stejnou barvou. Na obr. 3.18 jsou například jemně odstupňovány momenty m_y v rozsahu ±30 kNm/m. Hodnoty mimo daný rozsah se zobrazí červeně, resp. modře.

Pokud v dialogu *Možnosti* zaškrtneme políčko *Plynulý přechod barev*, zmizí vyznačené hranice mezi jednotlivými oblastmi. Volba plynulého přechodu barev je nezávislá na tom, zda jsou výsledné hodnoty vztaženy k max/min hodnotám, uživatelským nebo mezním hodnotám.

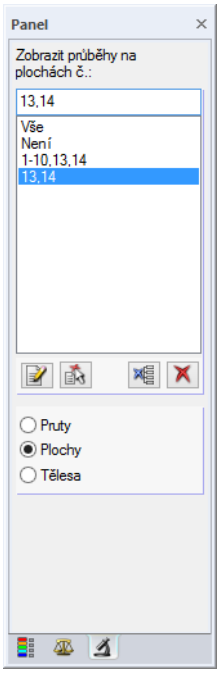
Faktory



Obrázek 3.19 Řídicí panel, záložka *Faktory*

Ve druhé záložce se nastavují faktory zvětšení pro grafické zobrazení. Nachází se tu políčka pro zadání faktorů zobrazení *deformací*, *průběhů na prutech* a *plochách*, *řezů*, *reakcí* a *trajektorií*, která jsou přístupná v závislosti na aktuálním grafickém zobrazení.

Filtr



Obrázek 3.20 Řídicí panel, záložka *Filtr*

Záložka *Stupnice barev* umožňuje filtrovat výsledné hodnoty obecně. Oproti tomu v záložce *Filtr* lze nastavit zobrazení výsledků pro určité pruty, plochy či tělesa.

Kategorii objektů, v níž se bude filtrovat, nastavíme pomocí přepínače v dolní části panelu. Ve vstupním poli *Zobrazit průběhy na* lze zadat čísla relevantních prutů, ploch nebo těles. Po kliknutí na tlačítko [Použít] se filtrovací funkce v grafickém okně spustí.

Čísla objektů lze rovněž převzít z grafiky: označíme nejdříve v grafickém okně pruty, plochy, příp. tělesa (vícenásobný výběr se stisknutou klávesou [Ctrl] nebo výběr oknem) a poté klikneme na tlačítko [Načíst z výběru].

Nastavení filtrů v panelu má vliv také na objekty ve výstupních tabulkách: pokud například v panelu omezíme zobrazení výsledků na dva pruty, bude také tabulka 4.6 *Pruty - vnitřní síly* obsahovat pouze výsledky těchto dvou prutů.

3.4.7 Standardní tlačítka

Určitá tlačítka se objevují v mnoha dialozích. Pokud na chvíli zastavíme kurzorem myši na některém tlačítku, zobrazí se nám krátká informace o jeho funkci.

V následujícím přehledu uvádíme stručný popis standardních tlačítek a případně odkaz na příslušnou kapitolu.

Tlačítko	Název	Funkce
	Nový	Otevření dialogu k zadání nového objektu
	Upravit	Otevření dialogu k úpravám objektu
	Smazat	Odstranění objektu nebo položky

	Vybrat	Možnost graficky vybrat objekt
	Převzít	Převzetí z aktuálního výběru
	Databáze	Otevření databáze uložených hodnot
	Nápověda	Vyvolání nápovědy
	Použít	Provedení změn bez ukončení dialogu
	Nastavit	Otevření dialogu pro detailní nastavení
	Komentáře	Přístup k předpřipraveným komentářům → kapitola 11.1.4
	Jednotky a desetinná místa	Nastavení jednotek a desetinných míst → kapitola 11.1.3
	Standard	Obnovení standardního nastavení dialogu
	Nastavit jako standard	Uložení aktuálního nastavení jako standardu
	Písmo	Možnost nastavení typu a velikosti písma
	Barvy	Možnost nastavení barev
	Info	Zobrazení informací k objektu
	Převzít výběr	Převzetí vybraných položek do jiného seznamu
	Převzít vše	Převzetí všech položek do jiného seznamu
	Uložit	Uložení dat zadaných uživatelem
	Načíst výběr	Import uložených dat
	Výběr	Možnost vybrat některé, popř. všechny objekty
	Zrušit výběr	Smazat, popř. zrušit výběr všech položek

Tabulka 3.5 Standardní tlačítka

3.4.8 Klávesové zkratky

V grafickém uživatelském prostředí i v tabulkách lze často používané funkce rychle vyvolat z klávesnice:

[F1]	Nápověda
[F2]	Následující tabulka
[F3]	Předchozí tabulka
[F4]	Kontrola správnosti v aktuální tabulce
[F5]	Kontrola správnosti všech tabulek
[F7]	Výběr v tabulkách
[F8]	Zkopírování buňky výše, resp. zobrazení úplného modelu konstrukce na celé obrazovce
[F9]	Kalkulačka
[F10]	Hlavní nabídka
[F12]	Uložení modelu konstrukce pod novým názvem
[Alt]	Hlavní nabídka
[Ctrl]+[2]	Zkopírování řádku v tabulce do následujícího řádku
[Ctrl]+[A]	Opakovat (*Redo*)
[Ctrl]+[C]	Kopírování do schránky
[Ctrl]+[E]	Export dat
[Ctrl]+[F]	Hledání v tabulce
[Ctrl]+[G]	Generování v tabulce
[Ctrl]+[H]	Náhrada v tabulce
[Ctrl]+[I]	Vložení řádku do tabulky, resp. import dat
[Ctrl]+[L]	Skok v tabulce na řádek se zadaným číslem
[Ctrl]+[N]	Vytvoření nového modelu
[Ctrl]+[O]	Otevření uloženého modelu
[Ctrl]+[P]	Tisk grafického zobrazení

[Ctrl]+[R]	Smazání řádků v tabulce
[Ctrl]+[S]	Uložení dat
[Ctrl]+[U]	Zrušení výběru v tabulce
[Ctrl]+[V]	Vložení dat ze schránky
[Ctrl]+[X]	Vyjmutí z tabulky
[Ctrl]+[Y]	Smazání obsahu aktuálního řádku v tabulce
[Ctrl]+[Z]	Zpět (*Undo*)
[+] [-] *NumPad*	Zvětšení, zmenšení v grafickém okně

Tabulka 3.6 Klávesové zkratky

Klávesou [Enter] vyvoláme naposledy použitou funkci - pokud není aktivní žádný dialog. Usnadní se tak např. opětovné zadání konstrukčních prvků a zatížení v pracovním okně.

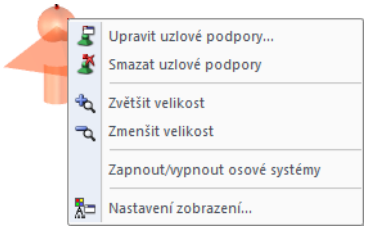
3.4.9 Funkce myši

Používání myši odpovídá běžným standardům OS Windows. Jednoduchým kliknutím **levým** tlačítkem myši vybereme objekt k dalšímu zpracování, dvojím kliknutím otevřeme dialog pro úpravu objektu. Tyto funkce lze použít jak v případě objektů v grafickém okně tak v případě položek v navigátoru *Data*.

Konstrukční prvky a zatížení lze v pracovním okně posouvat pomocí funkce Drag & Drop, příp. kopírovat se stisknutou klávesou [Ctrl]. Funkci Drag & Drop můžeme zapnout, resp. vypnout v obecné místní nabídce (viz obr. 11.53).

Klikneme-li na objekt **pravým** tlačítkem myši, vyvoláme jeho místní nabídku. Místní nabídka obsahuje příkazy a funkce, které lze u daného objektu použít.

Místní nabídky jsou k dispozici v grafickém okně, v tabulkách i v navigátoru.



Obrázek 3.21 *Uzlové podpory* - místní nabídka v grafickém okně

Velmi užitečným pomocníkem při práci v grafickém okně je **rolovací kolečko** myši. Rolováním (otáčením kolečka myši) lze aktuální zobrazení zvětšovat, resp. zmenšovat. Středem oblasti zoomu je vždy poloha kurzoru myši.

Pomocí stisknutého rolovacího kolečka myši lze model přímo přesouvat (tzn. bez předchozí aktivace tlačítka [Zapnout posun, zoom [Shift], natočení [Ctrl], resp. [Alt]]). Pokud přitom zároveň stiskneme klávesu [Ctrl], můžeme model konstrukce natáčet. Modelem lze otáčet také rolovacím kolečkem při současném stisknutí pravého tlačítka myši. Symboly, které se zobrazí na kurzoru myši, znázorňují vždy

právě zvolenou funkci.

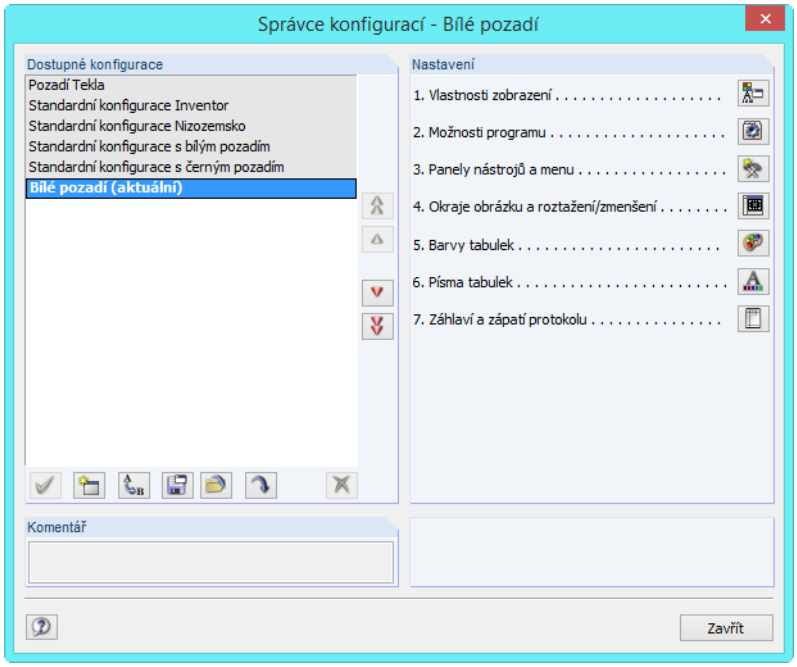
Pokud chceme náhled na konstrukci pootočit okolo určitého uzlu, je třeba daný uzel nejdříve vybrat. Při současném stisknutí klávesy [Alt] a rolovacího kolečka pak můžeme model konstrukce natočit okolo zvoleného uzlu.

V RFEMu lze také použít 3D myš pro práci v grafickém prostředí.

V této souvislosti je dobré zmínit se o další praktické funkci, pomocí níž lze vybrané objekty rychle zobrazit ve zvětšeném náhledu: objekt vybereme v grafickém okně a následně použijeme některé z tlačítek v panelu nástrojů *Zobrazit*, které vidíme na levém okraji. Zároveň stiskneme klávesu [Shift] [⇧]. V grafickém okně se okamžitě zobrazí zvětšený výřez objektu ve zvoleném směru zobrazení.

3.4.10 Správce konfigurací

Nastavit veškeré vlastnosti zobrazení, typy písma, panely nástrojů, hlavičky atd. umožňuje takzvaný správce konfigurací. Tuto funkci spustíme z hlavní nabídky **Nastavení → Správce konfigurací...** nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



Obrázek 3.22 Dialog *Správce konfigurací*

Dostupné konfigurace

V této sekci se zobrazí seznam všech konfigurací, které se vytvořily při instalaci nebo které definoval uživatel. Nastavení, které se v programu právě používá, je zvýrazněno tučně a uvedeno jako *aktuální*.

Přednastavena je *standardní* konfigurace; nelze ji smazat.

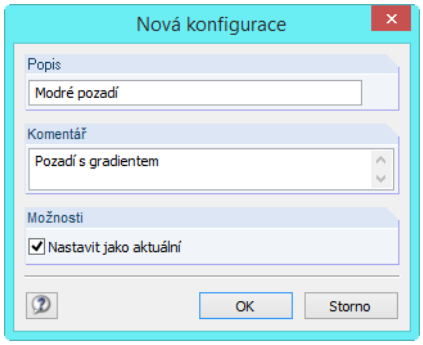
Tlačítka v této sekci mají následující funkce:

Tlačítko	Funkce
	Nastavení výše vybrané konfigurace jako *aktuální*

	Vytvoření nové konfigurace z aktuálního nastavení (→ obr. 3.23)
	Přejmenování vybrané konfigurace
	Export vybrané konfigurace do souboru
	Načtení konfigurace ze souboru
	Obnovení standardních hodnot
	Smazání vybrané konfigurace (není možné v případě *standardní* nebo *aktuální* konfigurace)

Tabulka 3.7 Tlačítka v sekci *Dostupné konfigurace*

Pomocí tlačítka [Vytvořit novou konfiguraci...] lze aktuální nastavení uložit jako novou konfiguraci. Otevře se dialog, v němž je třeba zadat *popis* nové konfigurace. Lze tu uvést i *komentář*, díky němuž bude snazší vybírat z většího počtu uživatelsky definovaných konfigurací.



Obrázek 3.23 Dialog *Nová konfigurace*

Nastavení

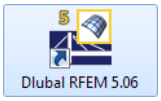
Tlačítka v sekci *Nastavení* slouží k otevření jednotlivých dialogů s možností nastavení různých parametrů. Uvádíme je v následující tabulce:

Tlačítko	Popis	Funkce
	Vlastnosti zobrazení	Otevření dialogu *Nastavení zobrazení* → kapitola 11.1.2
	Možnosti programu	Otevření dialogu *Možnosti programu*, který se skládá z několika částí → kapitola 7.3.3 → kapitola 9.10 → kapitola 11.1.1 → kapitola 11.1.4
	Panely nástrojů a nabídky	Otevření dialogu *Upravit* → kapitola 3.4.2

	Okraje obrázku a roztažení/zmenšení	Otevření dialogu *Okraje obrázku a roztažení/zmenšení* → kapitola 11.3.11
	Barvy tabulek	Otevření dialogu *Barvy* pro nastavení barev v tabulkách → kapitola 11.5.4
	Písma tabulek	Otevření dialogu *Písmo* pro nastavení písma v tabulkách → kapitola 11.5.4
	Záhlaví a zápatí protokolu	Otevření dialogu *Záhlaví a zápatí protokolu* → kapitola 10.1.4

Tabulka 3.8 Funkce tlačítek v sekci *Nastavení*

4 Údaje o modelu konstrukce



Spuštění programu RFEM

Program spustíme z nabídky Start OS Windows nebo kliknutím na ikonu Dlubal na pracovní ploše.

Zadávat údaje o modelu konstrukce lze až po vytvoření úlohy, popř. jejím otevření (viz kapitola 12.2).

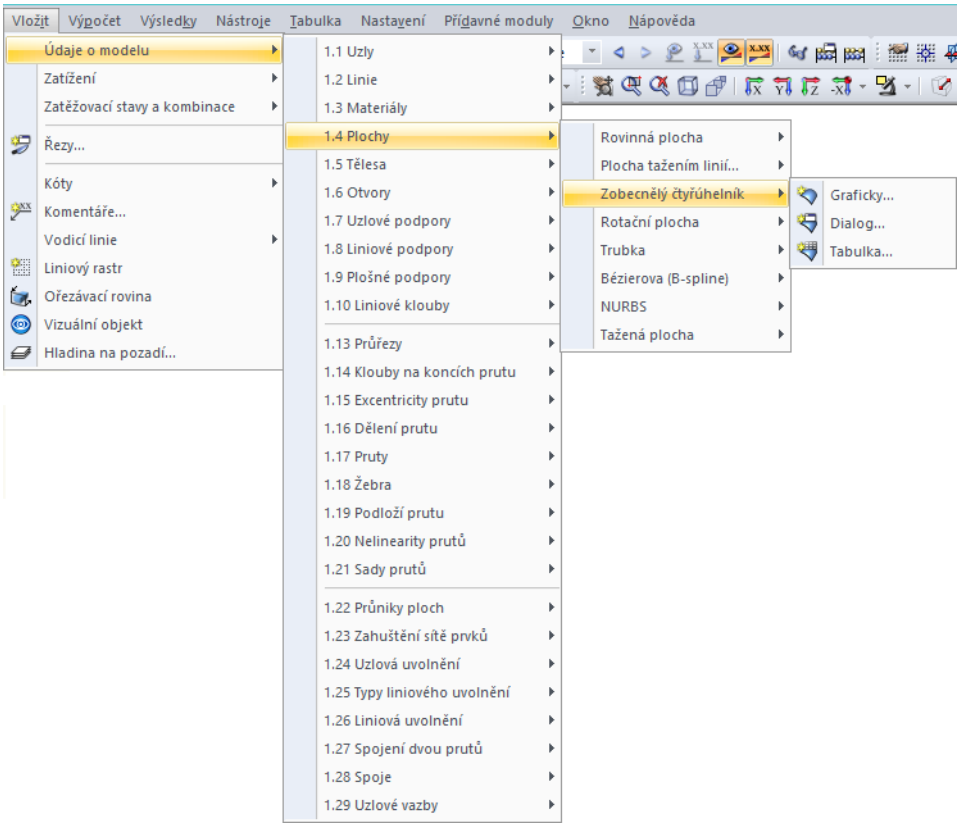
RFEM nabízí uživateli několik možností, jak údaje do programu zadat. Uživatel může definovat objekty v **dialogu**, v **tabulce** nebo často také přímo v **grafickém okně**. Grafika a tabulky jsou interaktivní, tzn. vstupy a změny provedené v grafickém prostředí se ihned projeví v tabulkách a naopak.

Pokud se chystáte podniknout první kroky v programu RFEM, je užitečné podívat se na úvodní příklad , který najdete mezi soubory ke stažení.

Otevření vstupního dialogu

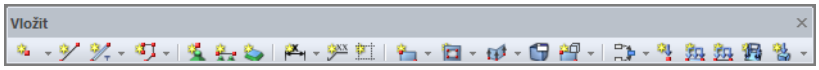
Vstupní dialogy a grafické zadání lze vyvolat různými způsoby.

Hlavní nabídka *Vložit*



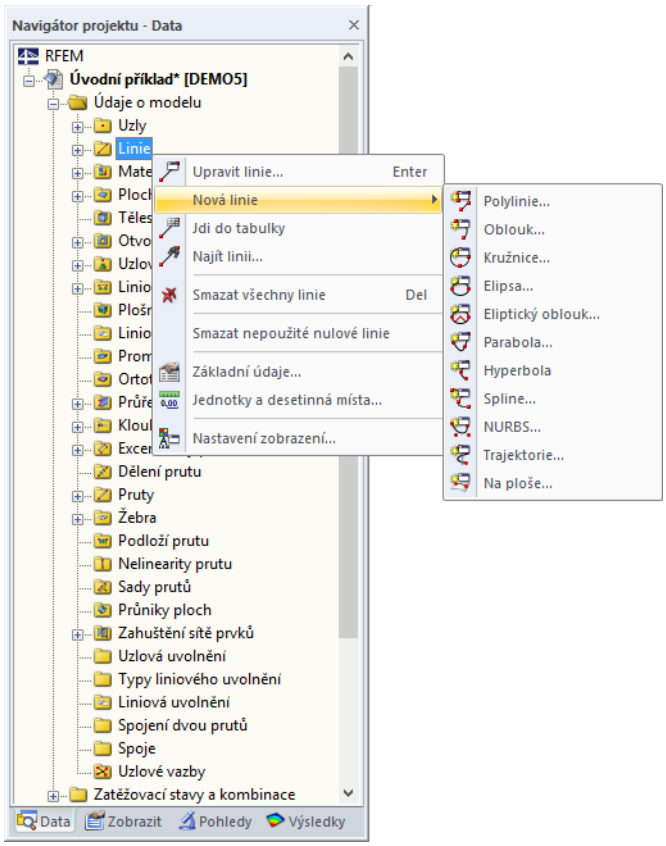
Obrázek 4.1 Hlavní nabídka *Vložit* → *Údaje o modelu*

Panel nástrojů *Vložit*



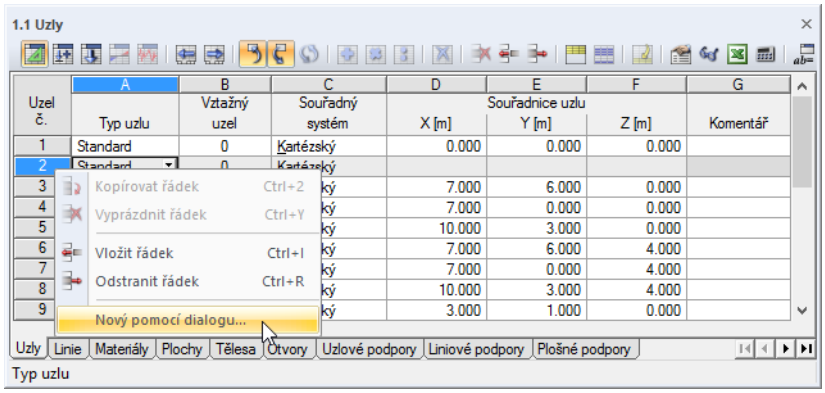
Obrázek 4.2 Panel nástrojů *Vložit*

Místní nabídka v navigátoru *Data*



Obrázek 4.3 Místní nabídka konstrukčních prvků v navigátoru *Data*

Místní nabídka položek v tabulce nebo dvojí kliknutí na ně



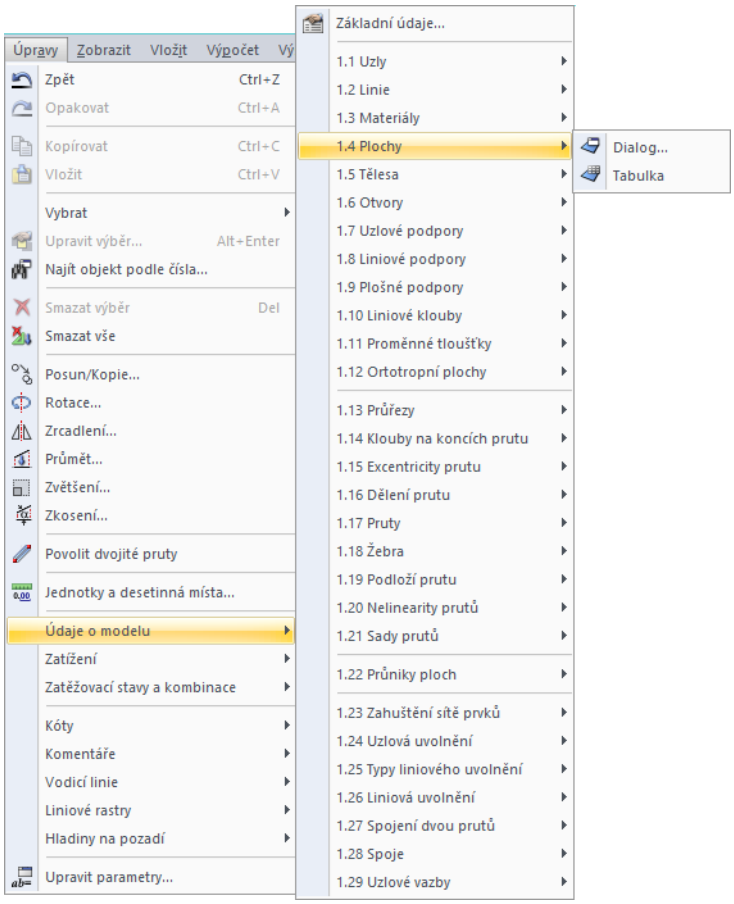
Obrázek 4.4 Místní nabídka v tabulkách s údaji o modelu

Vstupní dialog lze otevřít z místní nabídky čísel řádků v tabulce nebo dvojím kliknutím na ně.

Otevření dialogu pro úpravu dat

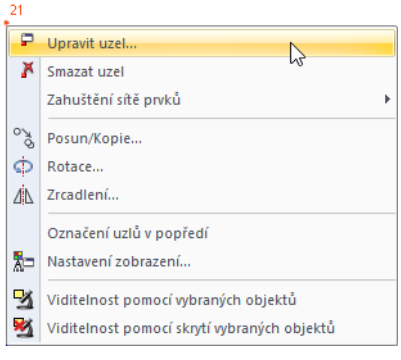
Program nabízí různé možnosti, jak otevřít dialog pro úpravu jednotlivých objektů modelu.

Hlavní nabídka *Úpravy*



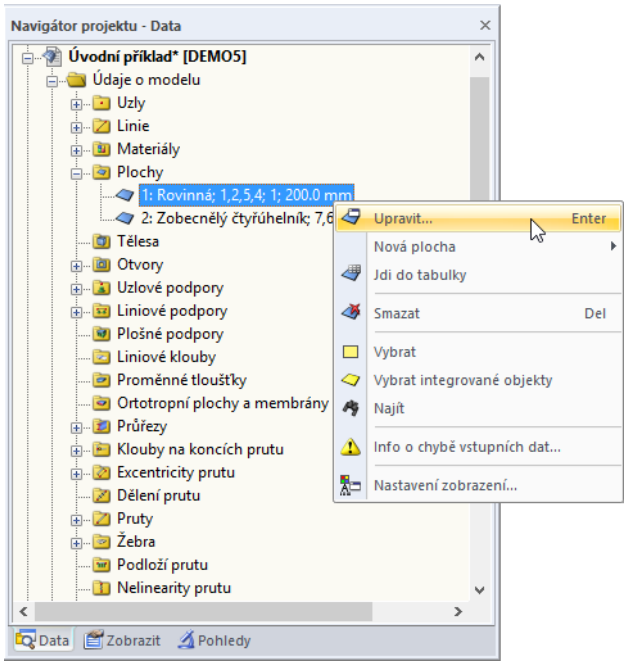
Obrázek 4.5 Hlavní nabídka **Úpravy** → **Údaje o modelu**

Místní nabídka objektů v grafickém okně nebo dvojí kliknutí na ně



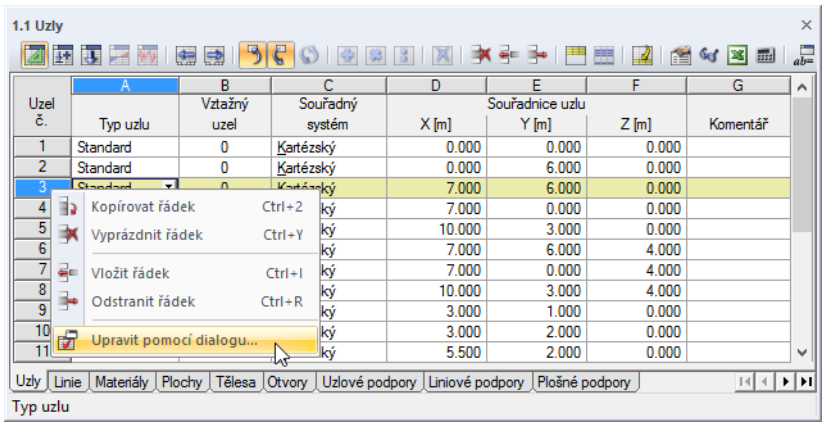
Obrázek 4.6 Místní nabídka uzlu v pracovním okně

Místní nabídka položek v navigátoru *Data* nebo dvojí kliknutí na ně



Obrázek 4.7 Místní nabídka konstrukčních prvků v navigátoru *Data*

Místní nabídka položek v tabulce nebo dvojí kliknutí na ně

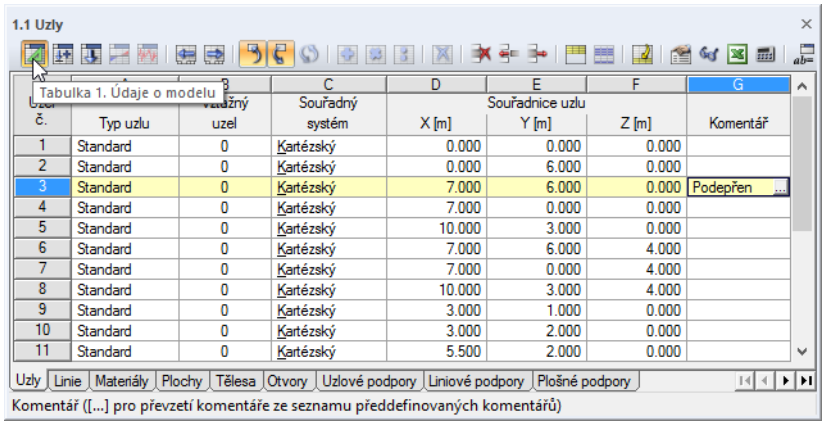


Obrázek 4.8 Místní nabídka v tabulkách s údaji o modelu

Dialog pro úpravu dat lze otevřít z místní nabídky čísel řádků v tabulce. Můžete jej otevřít také dvojitým kliknutím na příslušné číslo.

Zadání v tabulkách

Vstupy a změny provedené v grafickém prostředí se ihned projeví v tabulkách a naopak. Tabulky s údaji o modelu se zpřístupní po kliknutí na příslušné tlačítko, které se nachází zcela vlevo v panelu nástrojů v okně tabulek.



Uzel č.	Typ uzlu	Vázaný uzel	Souřadný systém	Souřadnice uzlu X [m]	Y [m]	Z [m]	Komentář
1	Standard	0	Kartézský	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartézský	0.000	6.000	0.000	
3	Standard	0	Kartézský	7.000	6.000	0.000	Podepřen
4	Standard	0	Kartézský	7.000	0.000	0.000	
5	Standard	0	Kartézský	10.000	3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartézský	7.000	6.000	4.000	
7	Standard	0	Kartézský	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartézský	10.000	3.000	4.000	
9	Standard	0	Kartézský	3.000	1.000	0.000	
10	Standard	0	Kartézský	3.000	2.000	0.000	
11	Standard	0	Kartézský	5.500	2.000	0.000	

Obrázek 4.9 Tlačítko [Tabulka 1. Údaje o modelu]

Údaje v tabulkách lze rychle upravovat nebo importovat (viz kapitola 11.5).

V tabulce a v navigátoru *Data* se nepoužité objekty vyznačí modře.

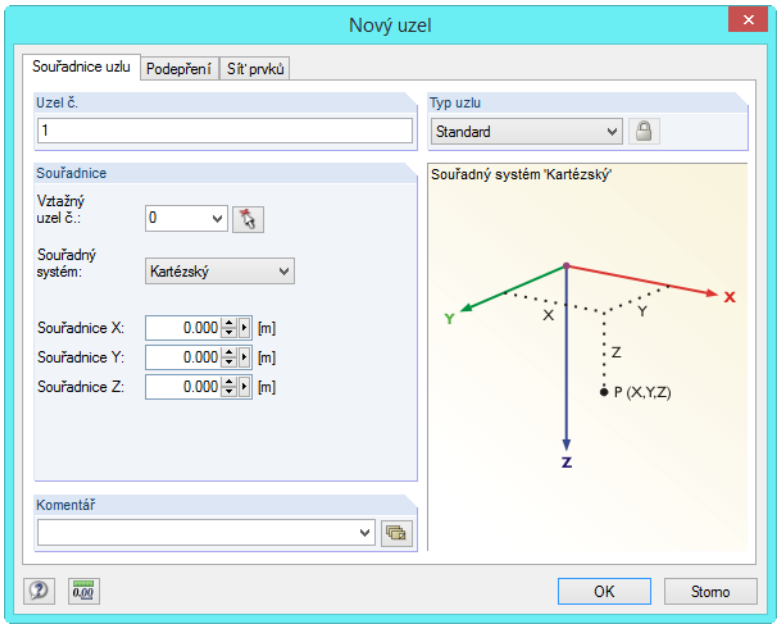
Ve všech dialozích i tabulkách lze k objektu pro bližší popis připojit *komentář*. Použít přitom lze i předpřipravené komentáře (viz kapitola 11.1.4). Komentáře se zobrazují jako součást bublinové nápovědy u grafických objektů.

Obrázek 4.10 Bublinová nápověda u uzlové podpory

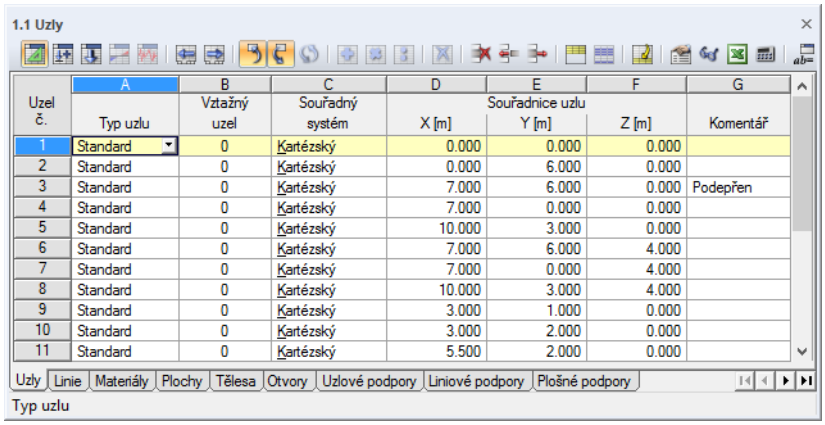
4.1 Uzly

Obecný popis

Uzly slouží v programu RFEM k popisu geometrie modelu. Jsou předpokladem pro vytvoření linií, a tím i prutů, ploch a těles. Každý uzel je v prostoru obecně definován souřadnicemi X, Y, Z. Souřadnice se obvykle vztahují k počátku globálního souřadného systému, lze je však definovat i ve vztahu k jinému uzlu.



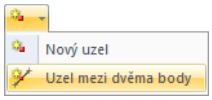
Obrázek 4.11 Dialog *Nový uzel*



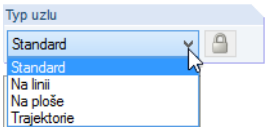
Obrázek 4.12 Tabulka 1.1 *Uzly*

Číslo uzlu se v dialogu *Nový uzel* vyplní automaticky, lze ho však změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli, není třeba je zadávat postupně.

Příkazem z hlavní nabídky **Nástroje** ⟶ **Přečíslovat** lze dodatečně číslování uzlů upravovat (viz kapitola 11.4.18).



Program nabízí speciální funkci, kdy lze uzel vytvořit na spojnici mezi dvěma již existujícími uzly (viz kapitola 11.4.12).



Typ uzlu

Standard

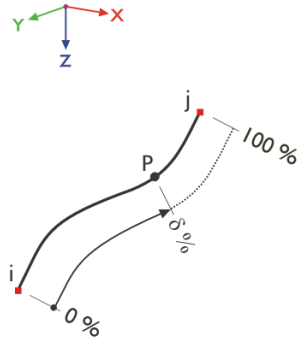
Tento typ uzlu se používá nejčastěji. Standardní uzly lze zadat libovolně v prostoru buď přímo v grafickém pracovním okně nebo definováním souřadnic v dialogu nebo tabulce. Při grafickém zadání linií nebo rotačních ploch se také vytvoří standardní uzly.

Standardní uzly se v grafickém okně znázorní červeně.

Na linii

Uzel tohoto typu nerozdělí linii na dvě části, a linie tak zůstane beze změny zachována. Parametr δ udává relativní vzdálenost uzlu od počátečního uzlu linie.

Uzel na linii umožňuje zadat uzlové zatížení na libovolném místě na linii nebo definovat uzel sítě konečných prvků.



Obrázek 4.13 Uzel na linii

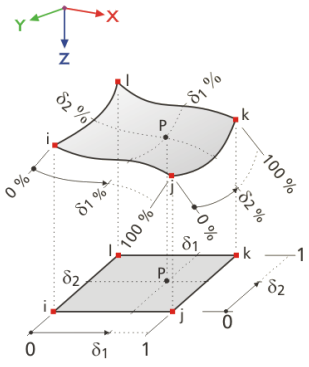
Uzly na linii se standardně zobrazí v grafickém okně bleděmodře.

Příkazem z hlavní nabídky **Nástroje** → **Vygenerovat uzly v průsečíku linií** lze vytvářet uzly na liniích, které se kříží.

Na ploše

V případě zakřivené čtyřúhelníkové plochy není většinou snadné určit souřadnice uzlů, které na ní leží. Uzly typu *Na ploše* lze zadávat přímo v grafickém okně na čtyřúhelníkovou plochu. Parametry δ_1 a δ_2 se vztahují k rohovým uzlům plochy.

Tento typ uzlu umožňuje zadávat uzlové zatížení na libovolném místě na zakřivené ploše nebo definovat uzel sítě konečných prvků.



Obrázek 4.14 Uzel na ploše

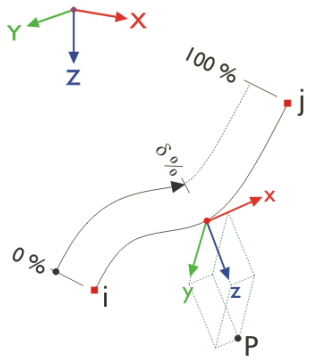
V tabulce se souřadnice uzlu uloží v kartézském souřadném systému. Uzly na ploše se standardně

znázorní v grafickém okně bleděmodře.

Pokud je plocha rovná, použijeme standardní uzly.

Trajektorie

Uzel tohoto typu použijeme v případě vytvoření spirálovité trajektorové křivky (viz kapitola 4.2). Parametr δ udává relativní vzdálenost uzlu od počátečního uzlu linie.

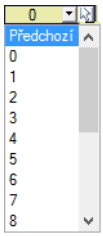


Obrázek 4.15 Trajektorie

Uzel typu Trajektorie se v grafickém okně standardně znázorní tmavozeleně.

Vztažný uzel

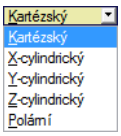
Souřadnice uzlu se zpravidla vztahují k počátku 0 globálního souřadného systému. Uzel (0;0;0) není třeba definovat, RFEM rozpozná počátek globálního souřadného systému automaticky.



Jako vztažný uzel může sloužit i každý jiný uzel, dokonce i uzel s vyšším číslem, než má zadávaný uzel. Vztáhnout uzel k jinému uzlu má například smysl, pokud chceme zadat nový uzel v jisté vzdálenosti od určitého známého bodu. V seznamu v daném sloupci tabulky se proto speciálně nabízí možnost vybrat *předchozí* uzel jako uzel vztažný.

V dialogu *Nový uzel* lze vztažný uzel uvést přímo, můžeme ho ale také vybrat ze seznamu nebo ho určit pomocí funkce kliknutím myší v grafickém okně.

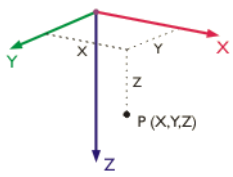
Souřadný systém



Souřadnice uzlu se vždy vztahují k určitému souřadnému systému, který popisuje polohu uzlu v prostoru. Program nabízí několik typů souřadných systémů. Všechny jsou pravotočivé.

Kartézský

V tomto souřadném systému se umisťuje uzel zadáním hodnot souřadnic *X*; *Y*; *Z* od počátku souřadného systému nebo od vztažného uzlu. Všechny tři směry jsou přitom rovnocenné.

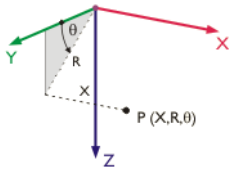


Obrázek 4.16 Kartézský souřadný systém

Uzly se většinou definují právě v tomto souřadném systému.

X cylindrický

Podélnou osou je osa *X*. Poloměr *R* udává vzdálenost uzlu od osy X. Úhel θ popisuje natočení souřadnic okolo osy X z výchozí nulové pozice.

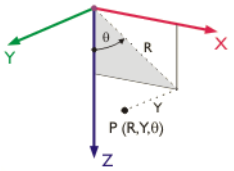


Obrázek 4.17 X cylindrický souřadný systém

Tento souřadný systém se používá například pro popis trubkových konstrukcí, jejichž střednicí je osa X.

Y cylindrický

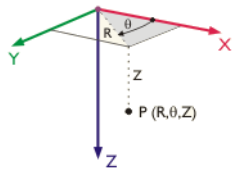
Koncept je analogický k X cylindrickému souřadnému systému. V tomto případě představuje podélnou osu osa *Y*.



Obrázek 4.18 Y cylindrický souřadný systém

Z cylindrický

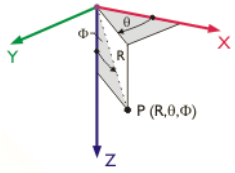
Koncept je analogický k X cylindrickému souřadnému systému. V tomto případě představuje podélnou osu osa *Z*.



Obrázek 4.19 Z cylindrický souřadný systém

Polární

V tomto kulovém souřadném systému se popisuje poloha uzlu pomocí průvodiče, který udává vzdálenost uzlu od počátku, a pomocí úhlů θ a φ.

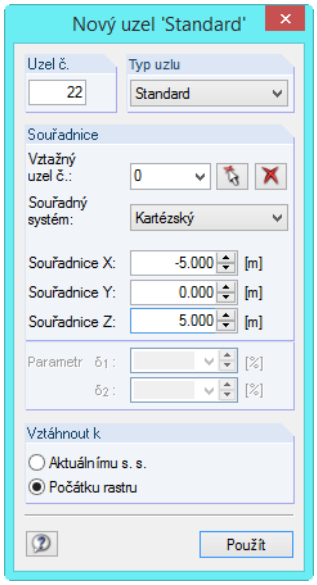


Obrázek 4.20 Polární souřadný systém

Model konstrukce by měl být pokud možno zadán ve vztahu ke globálnímu souřadnému systému tak, aby se osy XYZ shodovaly s hlavními směry nosné konstrukce. Tím se znatelně usnadní zadání souřadnic, okrajových podmínek i zatížení.

Pokud vyvoláme plovoucí dialog *Nový uzel* ke grafickému zadávání uzlů, lze uzly umístit přímo v

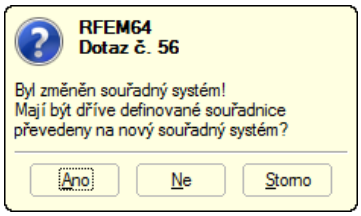
pracovním okně pomocí kurzoru myši. Uzly se zpravidla uchycují na bodech rastru uspořádaných v aktuálním souřadném systému, který definoval uživatel, nebo v globálním souřadném systému (*SS*).



Obrázek 4.21 Plovoucí dialog *Nový uzel*

Informace k práci s uživatelsky definovanými souřadnými systémy najdeme v kapitole 11.3.4.

V případě dodatečné změny souřadného systému je program schopen souřadnice uzlu automaticky přepočítat na nový systém. Nejdříve se ovšem zobrazí kontrolní dotaz.



Obrázek 4.22 Dotaz v RFEMu

Podobně lze přepočítat souřadnice uzlu zadaného ve vztahu k *předchozímu* uzlu na počátek souřadného systému.

Souřadnice uzlu

Souřadnice uzlu zadá uživatel do zvoleného souřadného systému. V 3D modelu konstrukce je uzel jednoznačně určen hodnotami souřadnic X; Y; Z, popř. průvodičem a úhlem. V závislosti na výběru souřadného systému se mění parametry a názvy sloupců.

Pokud bude typ modelu konstrukce změněn v základních údajích z 3D modelu na 2D desku nebo stěnu, pak v tabulce ani v dialogu pro zadání uzlů nebudou přístupná všechna tři vstupní pole pro definování souřadnic uzlu.

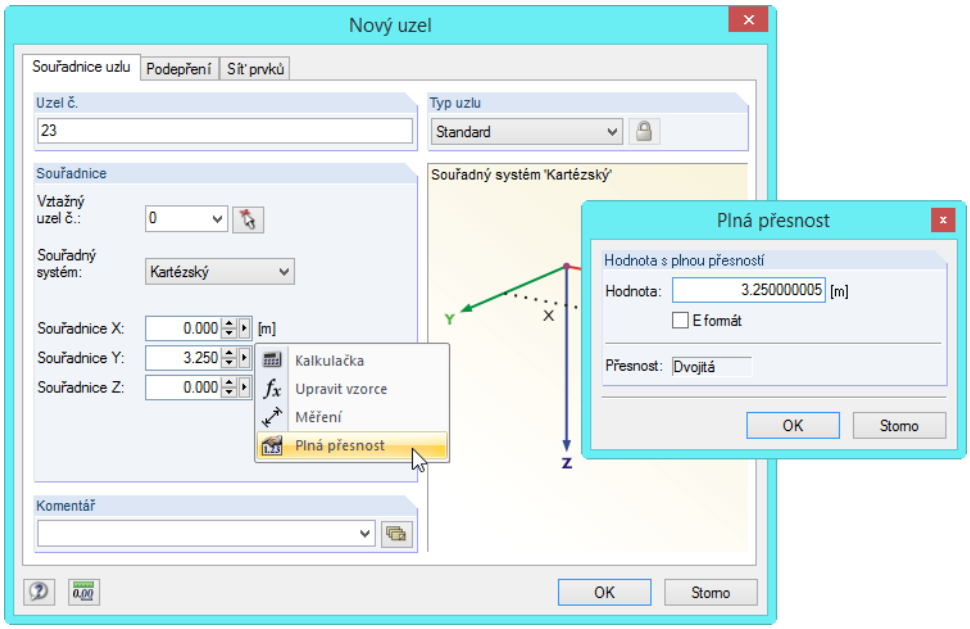
Úpravy *délek* nebo *úhlů* můžeme provést v dialogu, který lze vyvolat z hlavní nabídky **Úpravy** → **Jednotky a desetinná místa...** nebo kliknutím na příslušné tlačítko v dialogu pro zadání uzlu.

Následující postup umožňuje zkontrolovat, zda uzly na ploše leží všechny v jedné rovině: vybereme příslušné uzly a následně dvojím kliknutím na jeden z daných uzlů otevřeme dialog *Upravit uzel*. V dialogu vidíme tři vstupní pole pro zadání souřadnic. Pokud je v nich uvedena hodnota, je shodná v případě všech vybraných uzlů. Jestliže je políčko prázdné, můžeme nyní všem vybraným uzlům požadovanou souřadnici jednotně přiřadit.

Souřadnice uzlu lze převzít také z Excelu (viz kapitola 11.5.6) nebo je nechat vypočítat editorem

vzorců RFEMu (viz kapitola 11.6). Uživatel má dále k dispozici různé generátory, které usnadňují zadání souřadnic uzlů (viz kapitola 11.7.2).

Funkce *Plná přesnost* v dialogu *Nový uzel* umožňuje zadávat přesné, nezaokrouhlené souřadnice.



Obrázek 4.23 Místní nabídka v dialogu *Nový uzel* a dialog *Plná přesnost*

Komentář

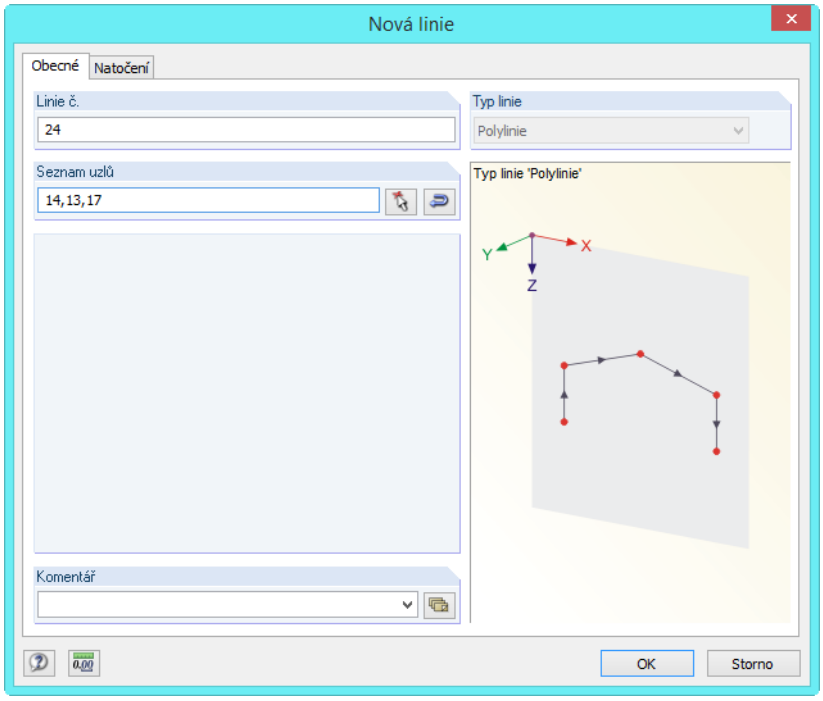
V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku. Pomocí tlačítka , resp. [Použít komentář...] můžeme importovat již uložené komentáře (viz kapitola 11.1.4).

U uzlů, které v programu vzniknou při vytváření průniku nebo rotační plochy, se objeví poznámka *Generován*. Pomocí vlevo znázorněného tlačítka, které je k dispozici v dialogu i v tabulce, lze vygenerované uzly „odemknout“, tzn. umožnit jejich úpravu.

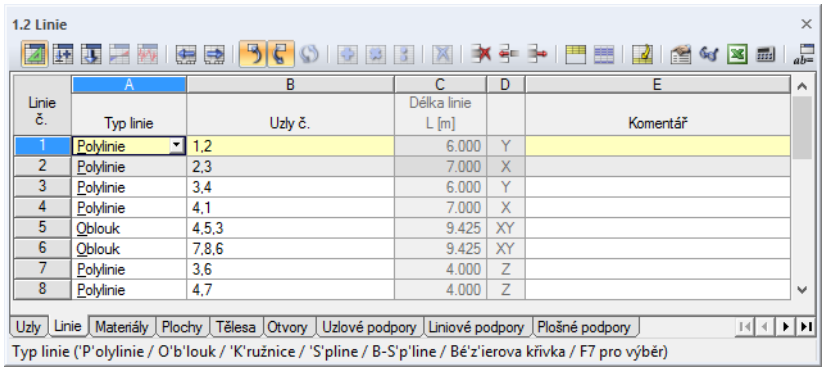
4.2 Linie

Obecný popis

Linie slouží v RFEMu k popisu geometrie modelu. Jsou nezbytnou podmínkou pro zadávání prutů, ploch a těles. Každá linie je definována počátečním a koncovým uzlem. U některých typů linií je třeba ještě definovat další, mezilehlé body.



Obrázek 4.24 Dialog *Nová linie*



Obrázek 4.25 Tabulka 1.2 *Linie*

Číslo linie se v dialogu *Nová linie* vyplní automaticky, lze ho však změnit. Pořadí čísel linií nehraje žádnou roli.

Příkazem z hlavní nabídky **Nástroje** → **Přečíslovat** lze dodatečně číslování linií upravovat (viz kapitola 11.4.18).

Typ linie

V hlavní nabídce i v seznamu tabulky jsou pro program RFEM k dispozici následující typy linií:

- Přímá linie
- Polylinie
- Oblouk
- Kružnice
- Elipsa
- Eliptický oblouk
- Parabola

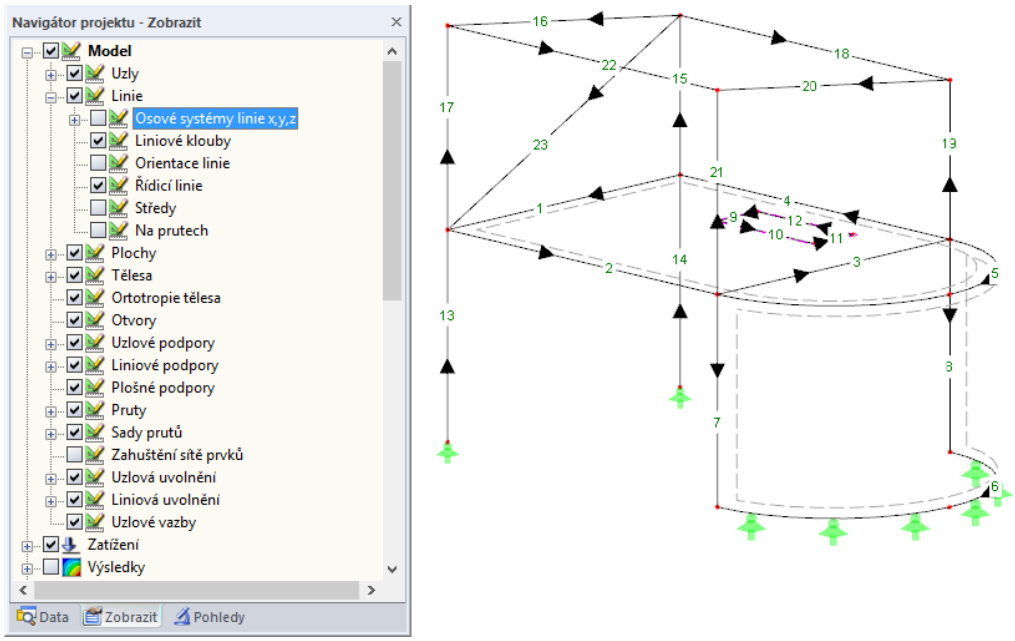
- Hyperbola
- Spline
- NURBS
- Trajektorie
- Linie na ploše

Jednotlivé typy linií podrobně popisujeme na následujících stránkách.

Uzly č.

Každá linie je geometricky dána počátečním a koncovým uzlem. Jimi je také určen směr linie, který ovlivňuje orientaci lokálního souřadného systému linie. Uzly lze zadávat ručně nebo graficky pomocí kurzoru myši (viz kapitola 4.1). Pokud některá linie vyžaduje kontrolní nebo mezilehlé uzly, uvedou se spolu s ostatními v seznamu uzlů.

Z navigátoru *Zobrazit* lze orientaci linií na modelu zobrazit.



Obrázek 4.26 Aktivace zobrazení *orientace linií* v navigátoru *Zobrazit*

Orientaci linie je možné snadno graficky změnit: klikneme pravým tlačítkem myši na linii a v místní nabídce vybereme příkaz *Otočit orientaci linie*. Čísla počátečního a koncového uzlu se pak prohodí.

Zobrazení osových systémů linií lze zapnout z navigátoru *Zobrazit* tak, že pod položkou **Model** → **Linie** aktivujeme *Osové systémy linie x, y, z včetně Indexů* (viz obr. 4.102).

Délka linie

V tomto sloupci vtabulce se uvádí celková délka linie.

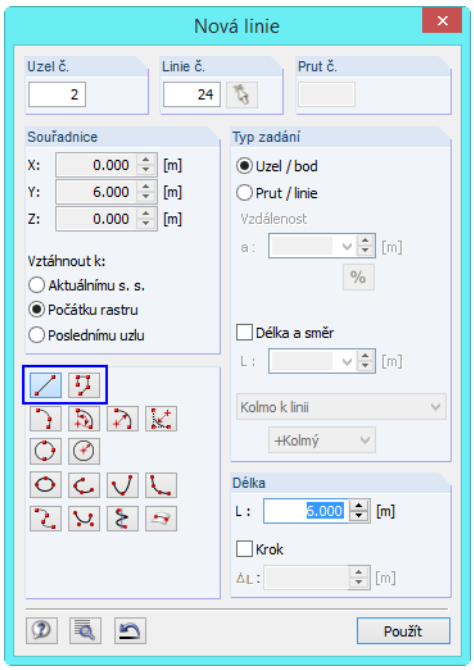
Poloha

Ve sloupci **D** v tabulce se uvádějí informace, s kterou globální osou je linie rovnoběžná nebo v které globální rovině leží. Pokud zde není uveden žádný údaj, pak se linie nachází v obecné poloze v prostoru.

Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku. Pomocí tlačítka [Použít komentář...] můžeme importovat již uložené komentáře (viz kapitola 11.1.4). U linií, které vytvoří program (např. v případě trubky), se tu objeví poznámka *Generována*.

Linie / Polylinie



Obrázek 4.27 Dialog *Nová linie* pro grafické zadání

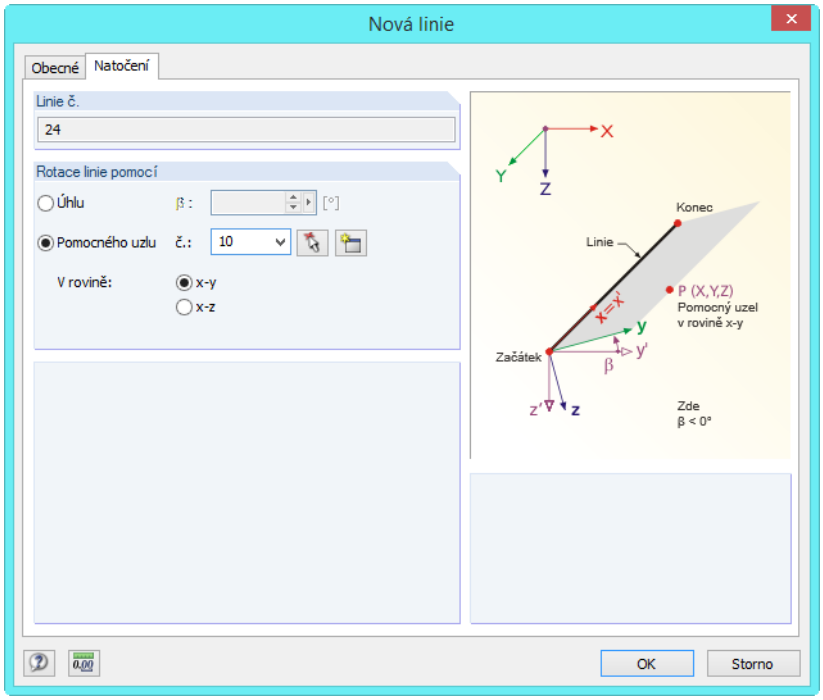
Dialog *Nová linie*, který otevřeme příkazem z rozbalovací nabídky, vidíme na obr. 4.24 . Na obrázku výše je zobrazen obecný dialog pro vytváření linií při grafickém zadání, který vyvoláme pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

O „pravou“ **linii** se jedná, pokud je definována pouze jedním počátečním a jedním koncovým uzlem. Linie pak představuje přímé spojení obou uzlů.

V případě **polylinie** se jedná o polygonový pořad složený z několika přímých úseků. V seznamu uzlů v dialogu (viz obr. 4.24) se proto objeví kromě čísel počátečního a koncového uzlu také čísla mezilehlých uzlů. Pro jednoduchost se „pravé“ linie spravují v programu také jako polylinie.

Pokud polylinie zadáváme v grafickém okně, lze jako definiční uzly vybrat myší již existující uzly, body rastru nebo jiné objekty k uchopení. Uzly lze vkládat do pracovní roviny také volně.

Pokud například liniová zatížení nebo liniové podpory působí pouze na určitých úsecích polylinie, lze polylinii dodatečně rozložit na „pravé“ linie: klikneme na polylinii pravým tlačítkem myši a v její místní nabídce vybereme položku *Rozložit polylinii*. Tuto funkci lze spustit také z hlavní nabídky **Úpravy → Údaje o modelu → Linie → Rozložit polylinii**.



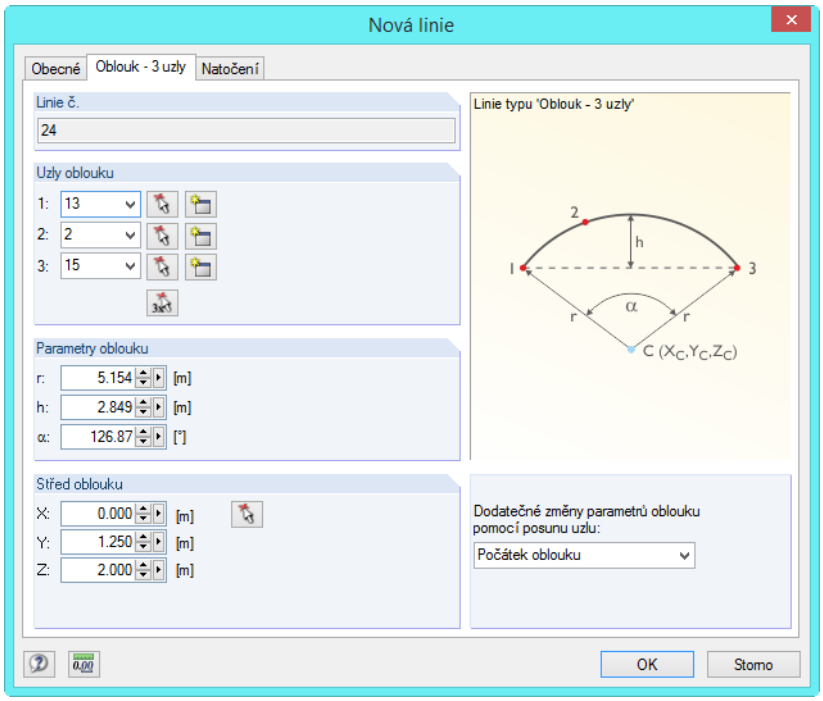
Obrázek 4.28 Dialog *Nová linie*, záložka *Natočení*

V druhé záložce dialogu *Nová linie* můžeme definovat rotaci linie. Linii lze natočit o pevný *úhel β* nebo lze lokální osu y resp. osu z dané linie vztáhnout k určitému *pomocnému uzlu*. Tento uzel vybereme ze seznamu nebo ho určíme v grafickém okně, popř. zadáme zcela nový uzel.

Natočení linie může usnadnit zadání zatížení na linii, která mají působit ve směru lokálních os linie. Natočení linie nemá vliv na plochy ani na pruty, které mají vlastní souřadný systém.

Zobrazení lokálních osových systémů linií vidíme na obr. 4.102.

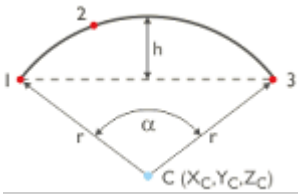
Oblouk



Obrázek 4.29 Dialog *Nová linie*, záložka *Oblouk*

Oblouk lze definovat několika různými způsoby:

- Pomocí tří uzlů
- Pomocí středu, krajních uzlů a úhlu rozevření
- Pomocí krajních uzlů, poloměru a úhlu rozevření nebo vzepětí
- Pomocí tečny a poloměru



V sekci *Uzly oblouku* lze přímo zadat počáteční, podpůrný a koncový uzel. Uzly lze vybrat také myší v grafickém okně. Pořadí uzlů je znázorněno na obrázku v dialogu.

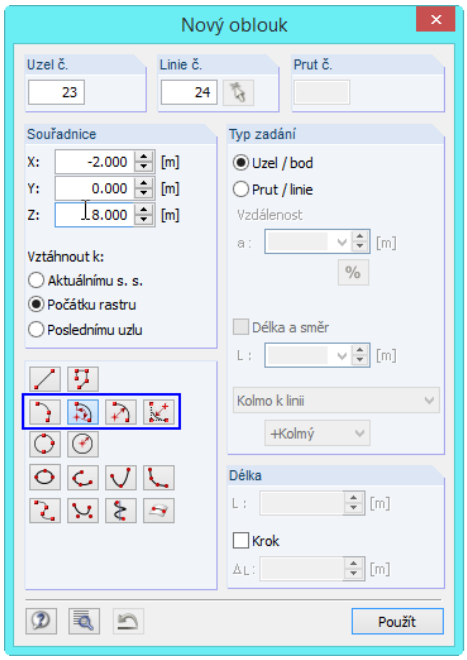
Na základě daných tří uzlů program stanoví *parametry oblouku* a uvede je v sekci níže. Poloměr r, vzepětí r nebo úhel rozevření α lze ovšem v příslušných polích dodatečně upravit. Program pak přepočítá souřadnice uzlů.

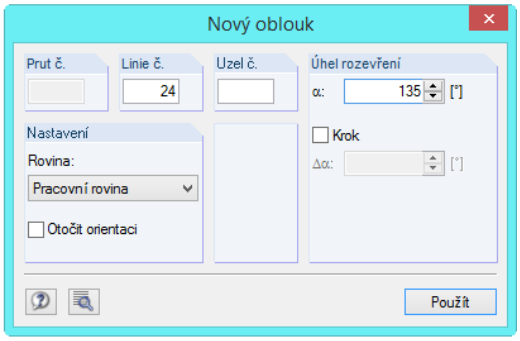
V sekci *Střed oblouku* se zobrazí souřadnice středového uzlu daného oblouku, které se vypočítají na základě definovaných uzlů, resp. parametrů oblouku. Pokud střed oblouku ručně upravíme nebo ho pomocí funkce vybereme v grafickém okně, přepočítají se také souřadnice uzlů.

V pravé dolní sekci *Dodatečné změny parametrů oblouku pomocí posunu uzlu* lze ze seznamu vybrat uzel, jehož souřadnice se mají změnit.

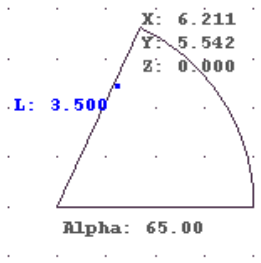
Pokud oblouk zadáváme v grafickém okně, klikneme na příslušné tlačítko v panelu nástrojů. V případě, že oblouk chceme vytvořit *pomocí tří uzlů*, lze tyto uzly přímo vybrat v grafickém okně, resp. lze zadat zcela nové uzly.

Pokud vytváříme oblouk některou z ostatních metod, pak je třeba nejdříve zadat dva uzly (viz obr. 4.30 a obr. 4.31 vlevo). V dalším dialogu (viz obrázky vpravo) se pak stanoví parametry oblouku.



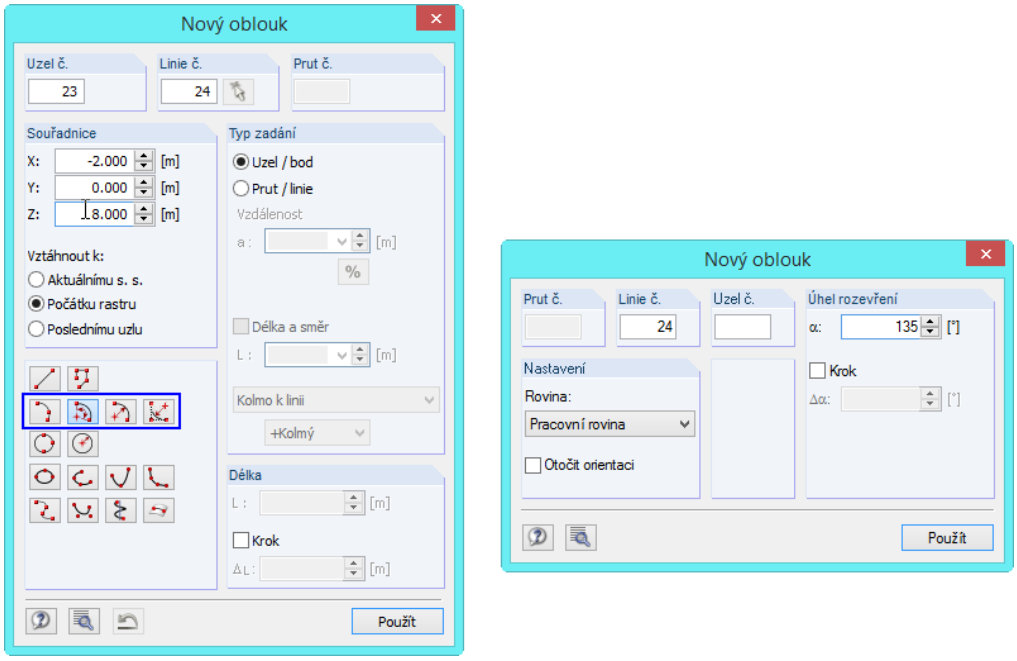


Obrázek 4.30 Dialog *Nový oblouk* — zadání pomocí *středového uzlu, krajního uzlu a úhlu rozevření*

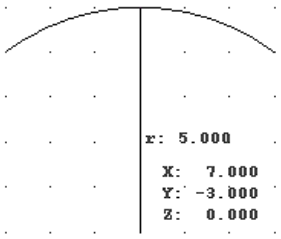


Rovinu oblouku lze vybrat ze seznamu v sekci *Možnosti* (na obr. 4.30 a obr. 4.31 vpravo). *Úhel rozevření* zadáme buď přímo v grafickém okně nebo ho stanovíme ručně v dialogu a klikneme na tlačítko [Použít].

Již definovaný oblouk nejrychleji upravíme tak, že na něj v grafickém okně dvakrát klikneme a následně provedeme v dialogu *Upravit linii* v záložce *Oblouk - 3 uzly* požadované změny (viz obr. 4.29).



Obrázek 4.31 Dialog *Nový oblouk* — zadání pomocí *krajních uzlů a poloměru, úhlu rozevření nebo vzepětí*



V sekci *Typ zadání* (na obrázku dialog vpravo) vybereme ze seznamu požadovaný parametr oblouku. Oblouk lze pak přímo vytvořit v grafickém okně nebo ho ručně zadat v dialogu a kliknout na tlačítko [Použít].

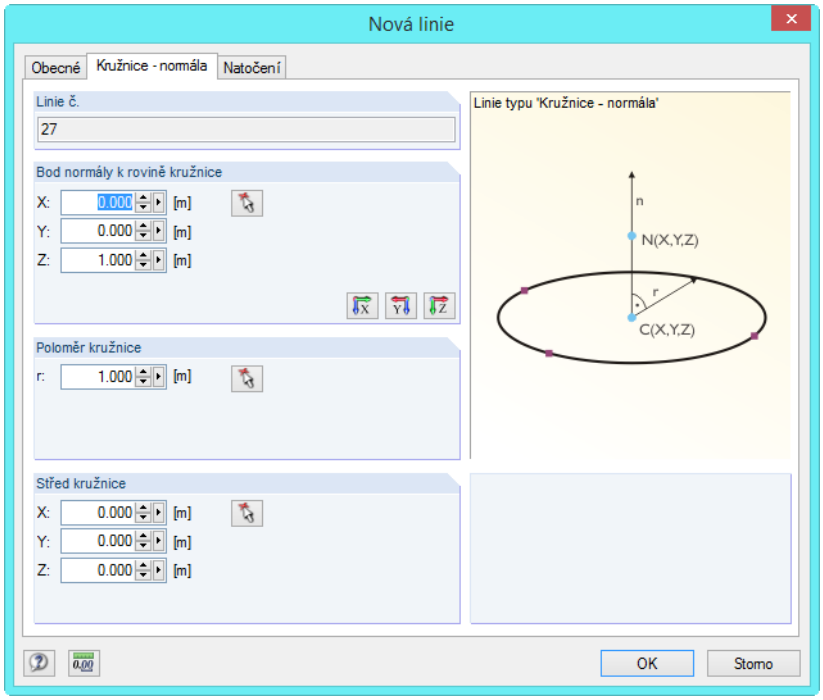
V poli *Krok* určíme, v jaké vzdálenosti se kurzor myši vždy zastaví při vytváření poloměru, úhlu nebo vzepětí.

Orientaci kruhového oblouku lze ovlivnit pomocí zaškrtávacího políčka *Otočit orientaci*. Pomocí této volby lze nastavit, zda bude oblouk směřovat „vpravo“ nebo „vlevo“ od obou uzlů.

Kružnice

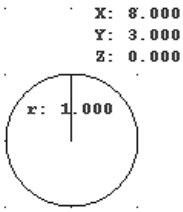
Kružnici lze zadat následujícími způsoby:

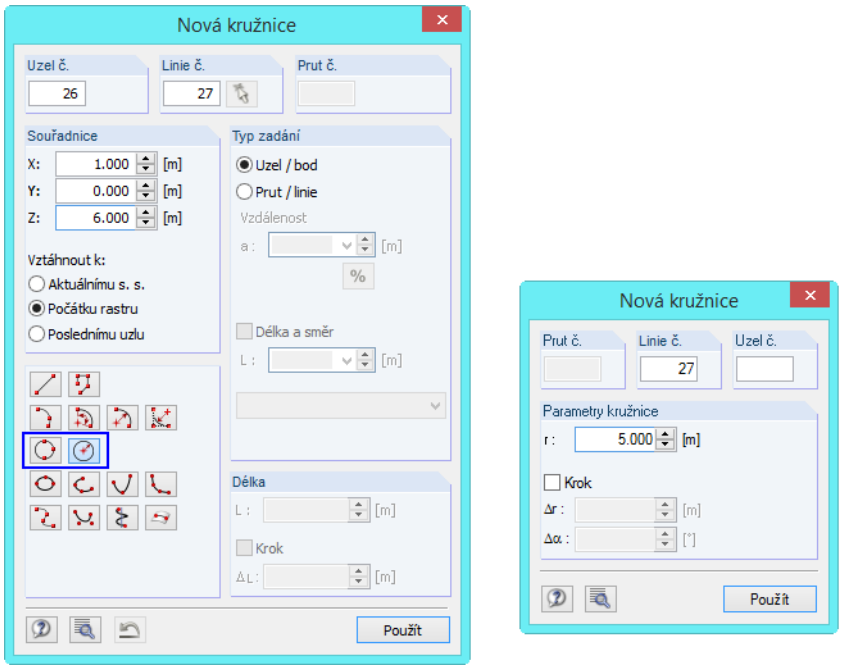
- Pomocí tří uzlů
- Pomocí středu a poloměru



Obrázek 4.32 Dialog *Nová linie*, záložka *Kružnice - normála*

Poloměr kružnice a *střed kružnice* lze zadat ručně v dialogu nebo pomocí funkce přímo v grafickém okně. *Bod normály k rovině kružnice* určuje, v které rovině se kružnice vygeneruje. Tři tlačítka ve spodní části dané sekce umožňují vybrat jednu z globálních os.



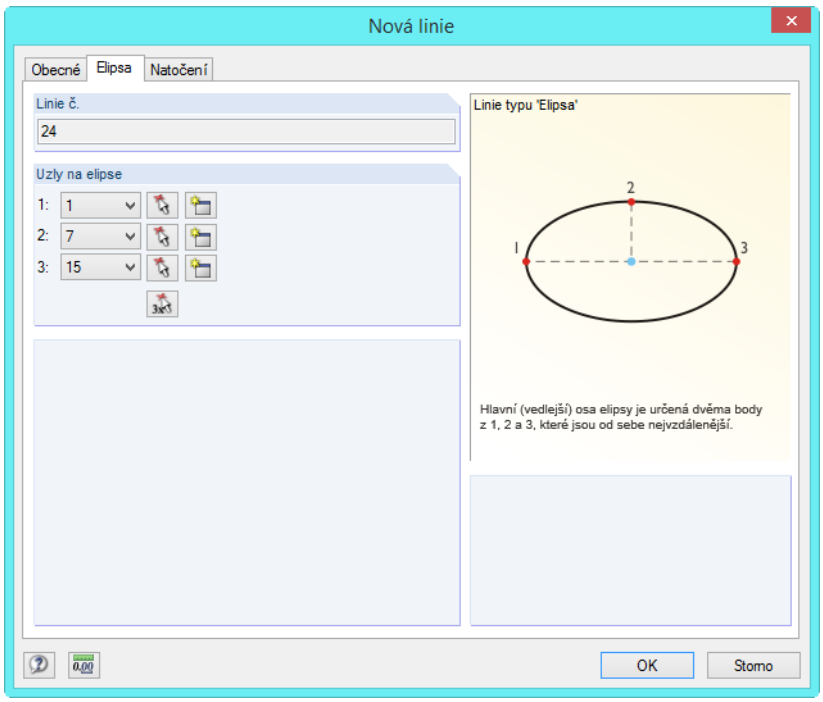


Obrázek 4.33 Dialog *Nová kružnice — zadání pomocí středu a poloměru*

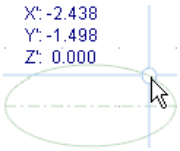
Pokud kružnici zadáváme graficky, klikneme na příslušné tlačítko v panelu nástrojů. Přímo v grafickém okně pak lze vybrat, resp. vytvořit všechny tři uzly, příp. střed a poloměr kružnice.

Elipsa

Pro zadání elipsy je třeba definovat tři uzly.



Obrázek 4.34 Dialog *Nová linie*, záložka *Elipsa*



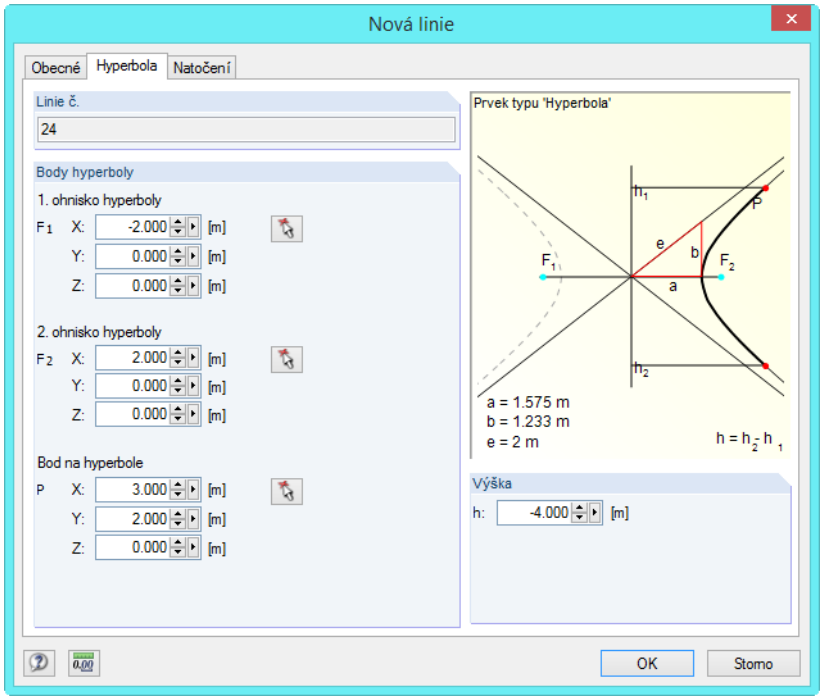
Elipsa se pak na základě definovaných vytvoří tak, že za hlavní osu elipsy se považuje největší vzdálenost mezi danými třemi uzly.

Pokud zadáváme elipsu graficky pomocí tlačítka v panelu nástrojů, můžeme požadované tři uzly stanovit přímo v pracovní rovině.

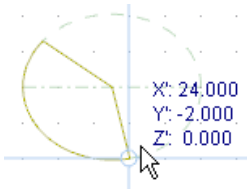
Eliptický oblouk / Parabola / Hyperbola

V programu lze jako linie definovat následující kuželosečky:

- Eliptický oblouk
- Parabola
- Hyperbola



Obrázek 4.35 Dialog *Nová linie*, záložka *Hyperbola*

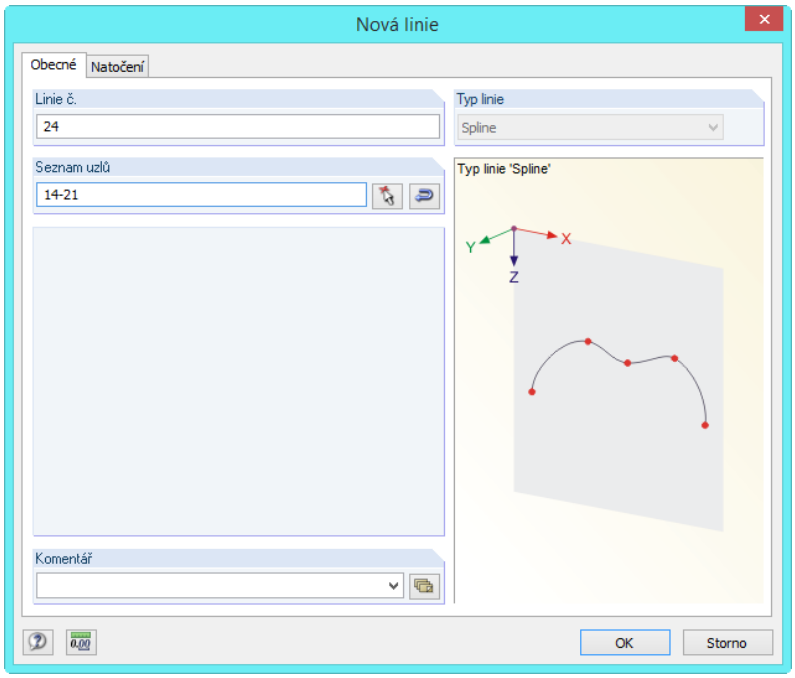


V příslušné záložce dialogu *Nová linie* se stanoví nezbytné parametry křivky (ohniska, úhly rozevření, natočení osy atd.), k dispozici přitom máme i funkci pro grafický výběr.

Pokud zadáváme tyto linie graficky pomocí tlačítka v panelu nástrojů, lze jejich parametry stanovit přímo v grafickém okně.

Spline

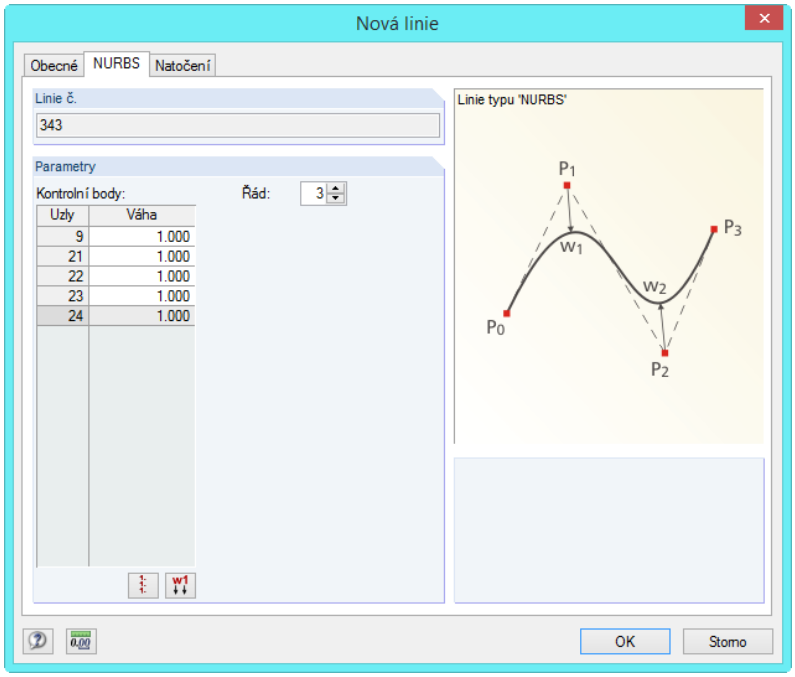
Tato volba je vhodná pro zadávání libovolných křivek. V grafickém okně je vytvoříme tak, že postupně klikneme na určité uzly zakřivené linie nebo myší vytvoříme nové.



Obrázek 4.36 Dialog *Nová linie* — typ linie *Spline*

NURBS

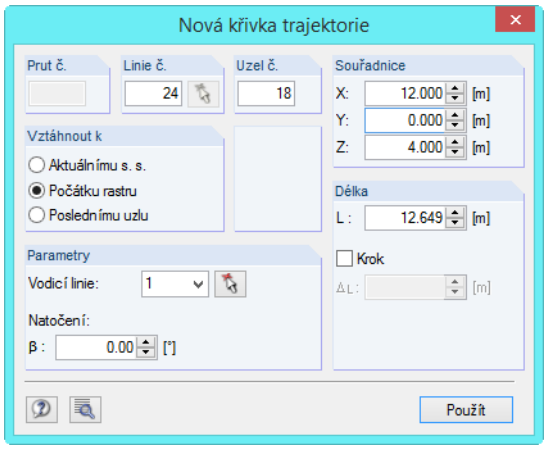
NURBS, neuniformní racionální B-spline křivky (**N**on-**U**niform **R**ational **B**-**S**plines), se používají pro modelování libovolných zborcených ploch. Jedná se přitom o spline křivky, jejichž kontrolní body neleží přímo na křivce. Také tyto linie se zpravidla zadávají graficky tak, že postupně vybereme kontrolní body nebo kliknutím myší vytvoříme nové.



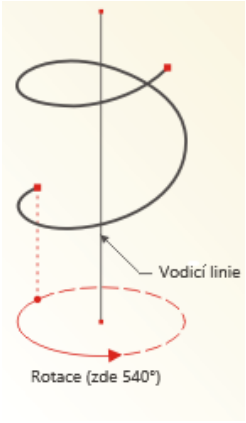
Obrázek 4.37 Dialog *Nová linie* — typ linie *NURBS*

Trajektorie

Pomocí této funkce lze vytvářet spirálovité linie. Trajektorie se zadávají zpravidla přímo v grafickém okně po kliknutí na vlevo znázorněné tlačítko. Zobrazí se následující dialog:



Obrázek 4.38 Dialog *Nová křivka trajektorie*



Nejdříve určíme *souřadnice* počátku linie. Zpřístupní se tak sekce *Parametry*, v které zadáme celkové *pootočení* spirály.

Souřadnice koncového uzlu linie pak opět stanovíme přímo v grafickém okně nebo je ručně definujeme v dialogu a klikneme na tlačítko [Použít]. Další možností je vyplnit údaj v poli *Délka*. Souřadnice koncového uzlu se pak vypočítají na základě délky a zadaného natočení linie.

Trajektorii lze dodatečně upravovat nejrychleji tak, že na ni dvakrát klikneme v grafickém okně. Otevře se dialog *Upravit linii*, v jehož záložce *Trajektorie* provedeme požadované změny.

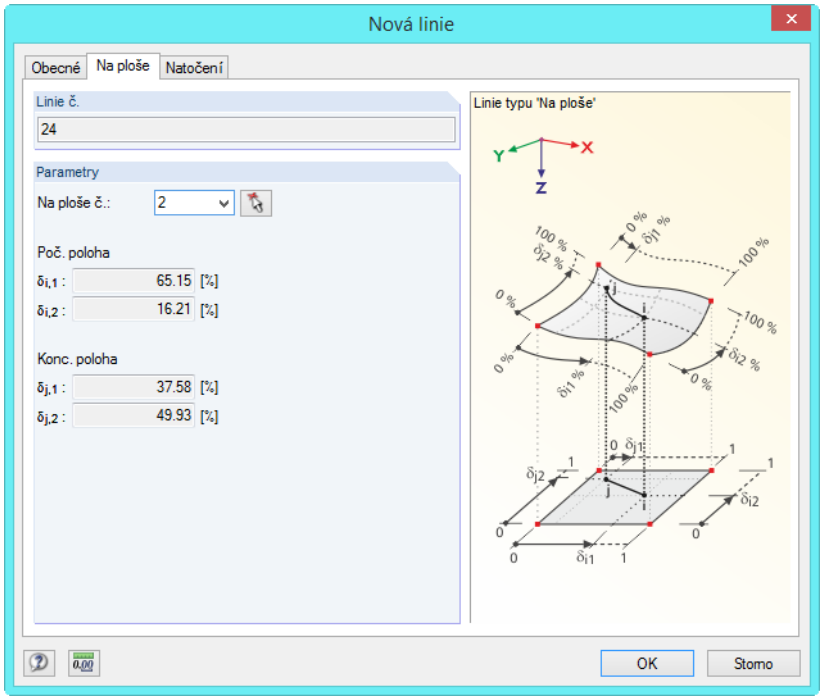
Linie na ploše

Program zpravidla automaticky rozpozná linie na rovinných plochách jako integrované objekty, a tak většinou stačí použít typ linie *Polylinie*. Pokud chceme vytvořit linii na zakřivené ploše, pak doporučujeme použít volbu *Linie na ploše*. Tento typ umožňuje také zadávat linie na rovinných plochách, které nejsou rovnoběžné s žádnou globální osou, aniž by bylo třeba definovat vlastní, uživatelský souřadný systém.

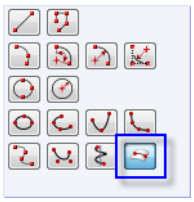
Vstupní dialog je stejný jako dialog pro zadání nové polylinie (viz obr. 4.24).

Počáteční a koncový uzel linie zadáme ručně v příslušných polích nebo je vybereme v grafickém okně. V plovoucím dialogu *Nová linie* typu ‚Na ploše' lze zadat uzly také přímo na zakřivenou plochu, pokud jsme tuto plochu předem vybrali a pokud jsme označili typ zobrazení *Plný model* nebo *Plný transparentní model*. Vytvoří se uzly typu *Na ploše*.

V záložce *Na ploše* se stanoví plocha, na které linie leží. Můžeme tu také zkontrolovat parametry δ_1 a δ_2 počátečního i koncového uzlu (viz obr. 4.14). Dané parametry ovšem nelze již v těchto polích upravovat.



Obrázek 4.39 Dialog *Nová linie*, záložka *Na ploše*



Při grafickém zadání pomocí tlačítka [Linie na ploše] lze uzly umístit přímo na zakřivené plochy. Upozorňujeme ovšem na to, že v tomto případě není vhodné zvolit typ zobrazení *Drátěný model*.

Řez pomocí dvou linií / Řez pomocí roviny

Typy linií *Řez pomocí dvou linií* a *Řez pomocí roviny* představují speciální funkce linií, které jsou relevantní pro přídavný modul RF-CUTTING-PATTERN. To umožňuje definovat střihové vzory pomocí dílčích pruhů, pokud je dělení plochy membrány pro střih příliš velké. Tyto funkce jsou popsané v manuálu RF-FORM-FINDING / RF-CUTTING-PATTERN v kapitole 5.2.

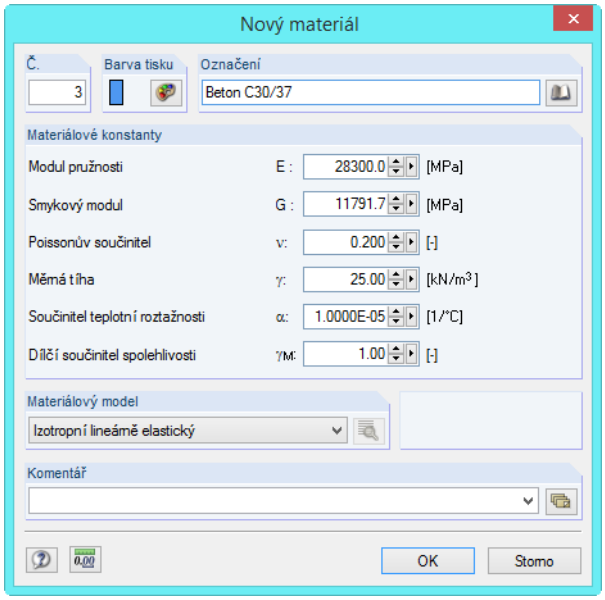
4.3 Materiály

Obecný popis

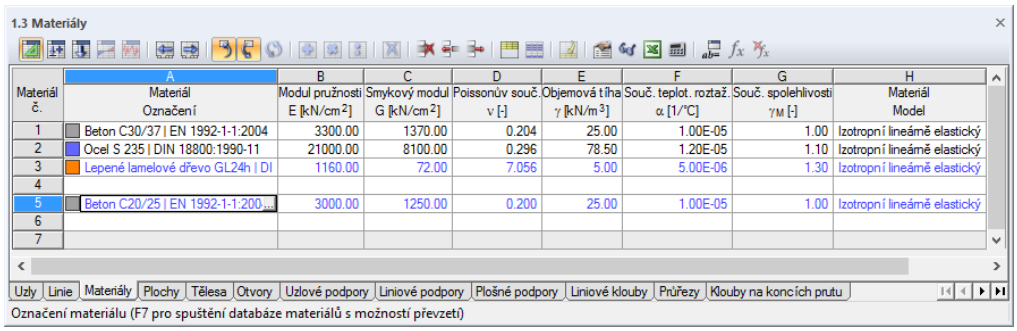
Materiál je třeba definovat při zadávání ploch, průřezů a těles. Vlastnosti materiálu ovlivňují tuhost těchto objektů.

Každému materiálu je přiřazena *barva*, která se standardně používá k zobrazení objektů v renderovaném modelu (viz kapitola 11.1.9).

Při vytváření nového modelu jsou předem nastaveny dva naposledy použité materiály.



Obrázek 4.40 Dialog *Nový materiál*



Obrázek 4.41 Tabulka 1.2 *Materiály*

Označení

Uživatel může zvolit pro materiál libovolné *označení*. Pokud se uvedený název shoduje s některou položkou v databázi materiálů, načte RFEM materiálové charakteristiky.

Převzetí materiálů z databáze popisujeme níže v kapitole Otevření databáze.

Modul pružnosti E

Modul pružnosti v tahu nebo tlaku (E) udává poměr mezi normálovým napětím a osovým přetvořením.

Úpravy jednotek *materiálu* lze provést příkazem z hlavní nabídky **Úpravy → Jednotky a desetinná místa**... nebo pomocí příslušného tlačítka.

Smykový modul G

Modul pružnosti ve smyku (G) udává poměr smykového napětí a zkosení v příslušné rovině.

Smykový modul materiálů uložených v databázi se počítá pomocí rovnice 4.1. Vychází se přitom z modulu pružnosti E a Poissonova součinitele ν. U izotropních materiálů je tak zajištěna symetrická matice tuhosti. Za určitých okolností se můžou takto spočítané hodnoty smykových modulů mírně lišit od hodnot uvedených v Eurokódech.

Poissonův součinitel ν

Mezi modulem E a G a Poissonovým součinitelem ν je dán následující vztah:

$$E = 2G\,(1 + \nu)$$

Rovnice 4.1

Pokud vlastnosti izotropního materiálu zadáme ručně, spočítá RFEM automaticky Poissonův součinitel z hodnot modulu pružnosti E a G (příp. smykový modul z modulu pružnosti E a z Poissonova součinitele).

U izotropních materiálů se hodnota Poissonova součinitele obvykle pohybuje mezi 0,0 a 0,5. Pokud je hodnota vyšší než 0,5 (např. guma), lze předpokládat, že se nejedná o izotropní materiál. Před provedením výpočtu se zobrazí dotaz, jestli se má použít ortotropní materiál.

Objemová tíha γ

Objemová tíha γ udává tíhu materiálu na objemovou jednotku.

Tento údaj má význam především pro zatěžovací stav ‚Vlastní tíha'. Automaticky zohledněné vlastní zatížení konstrukce se spočítá na základě objemové tíhy a průřezových ploch použitých prutů, resp. ploch a těles.

Součinitel teplotní roztažnosti α

Tento součinitel popisuje lineární vztah mezi změnami teplot a délky materiálu (protažení při zahřátí, zkrácení při ochlazení).

Součinitel teplotní roztažnosti má význam pro typy zatížení ‚Rovnoměrná teplota' a ‚Nerovnoměrná teplota'.

Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M

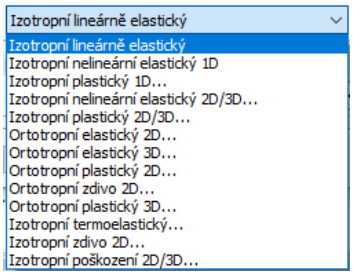
Tento součinitel popisuje únavovou pevnost materiálu, přičemž se používá index M. Součinitelem spolehlivosti γ_M lze také redukovat tuhost při výpočtu (viz kapitola 7.3.1).

Součinitel γ_M se **nesmí** zaměňovat s faktory spolehlivosti, které se zohledňují při výpočtu návrhových vnitřních sil. K dílčím součinitelům spolehlivosti γ se přihlíží při skládání zatěžovacích stavů do kombinací zatížení nebo kombinací výsledků.

Materiálový model

V seznamu máme na výběr z 12 různých materiálových modelů. Pokud je třeba blíže definovat určité parametry, můžeme použít tlačítko [Upravit detaily pro nelineární materiálový model...] v dialogu nebo příslušné tlačítko v tabulce.

Jestliže přídavný modul RF-MAT NL není součástí licence, je možné používat pouze *izotropní lineárně elastický* a *ortotropní elastický 2D/3D* materiálový model.



Izotropní lineárně elastický

Tuhostní vlastnosti materiálu nejsou závislé na směru. Lze je popsat pomocí rovnice 4.1. Platí přitom následující podmínky:

- $E > 0$
- $G > 0$
- $-1 < \nu \leq 0{,}5$ (u ploch a těles, žádná horní mez u prutů)

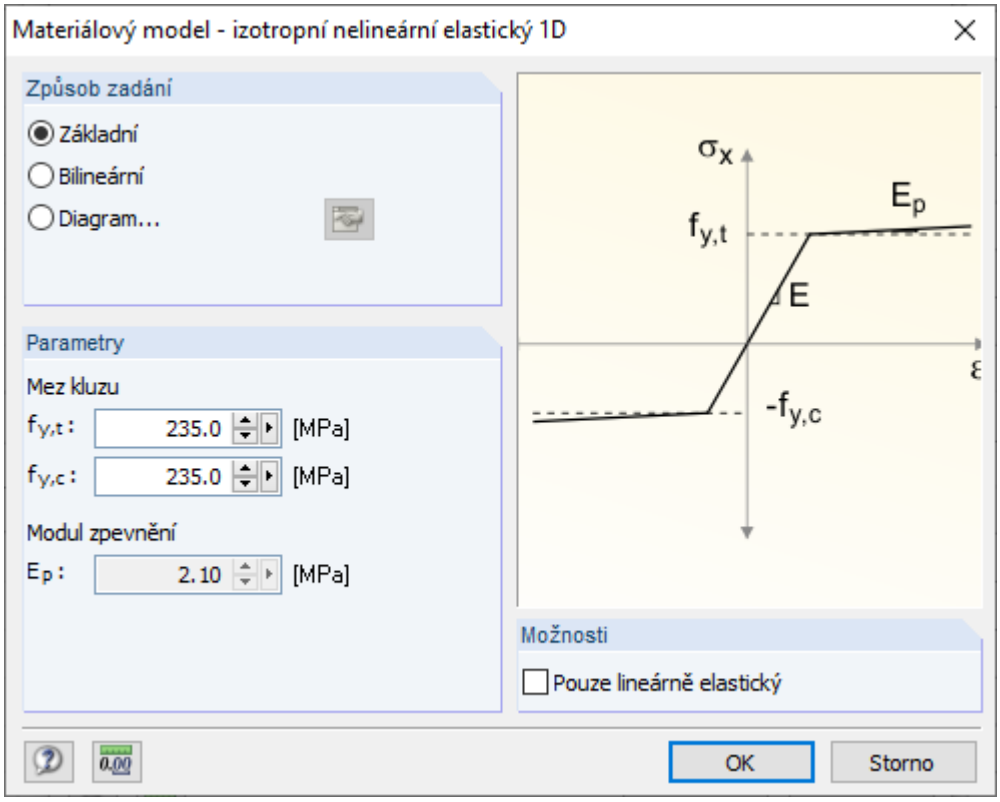
Matice poddajnosti (inverzní matice tuhosti) má pro plochy následující tvar:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix}$$

Rovnice 4.2

Izotropní nelineárně elastický 1D

Nelineární vlastnosti izotropního materiálu lze určit v dialogu.



Obrázek 4.42 Dialog *Materiálový model - Izotropní nelineárně elastický 1D*

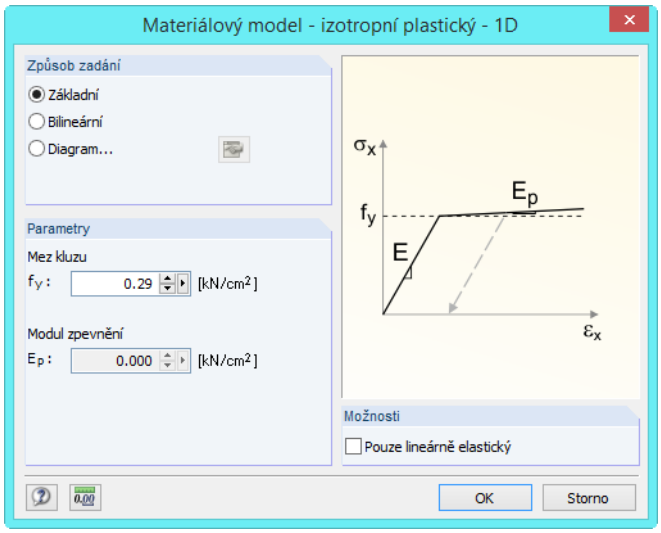
Hranice plasticity ideálně nebo bilineárně elastického materiálu je nutné zadat odděleně pro tah ($f_{y,t}$) a pro tlak ($f_{y,c}$). K realistickému znázornění materiálového chování lze definovat také pracovní *diagram* (viz obr. 4.44).

Izotropní plastický 1D

Pokud pracujeme s modelem konstrukce typu *3D* (viz obr. 12.23), můžeme v příslušném dialogu definovat plastické vlastnosti izotropního materiálu. V RFEMu se uvažují tyto parametry u prutových prvků např. v případě plastického výpočtu kinematického řetězce.

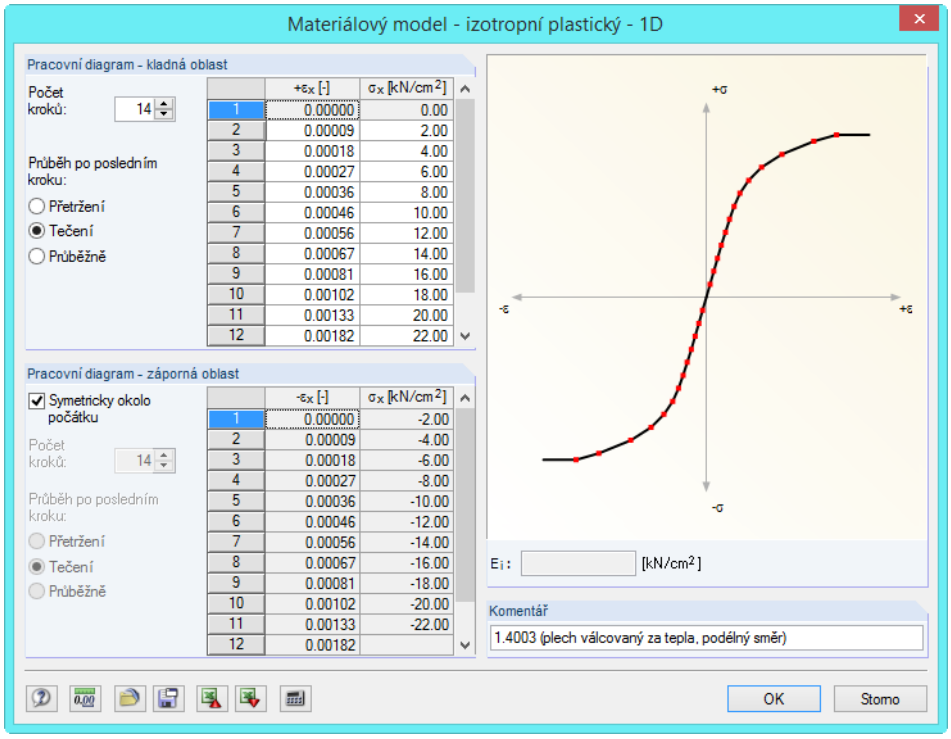
Nelineární chování materiálu lze ve výpočtu správně postihnout jen v případě, že jsme vytvořili na prutu dostatečný počet uzlů sítě konečných prvků. Program nám k tomu nabízí následující možnosti:

- Dialog *Rozdělit prut pomocí n vnitřních uzlů* (viz obr. 11.91), způsob dělení *Vytvořit vnitřní body bez rozdělení linie*
- Dialog *Nastavení sítě prvků* (viz obr. 7.10), volba *Dělení použít pro přímé pruty s minimálním počtem dělení prutů* 10



Obrázek 4.43 Dialog *Materiálový model - izotropní plastický -1D*

V dialogu se zadají parametry ideálně nebo bilineárně plastického materiálu.
K realistickému znázornění materiálového chování lze definovat také pracovní *diagram*.



Obrázek 4.44 Dialog *Materiálový model - izotropní plastický - 1D* pro zadání pracovního diagramu

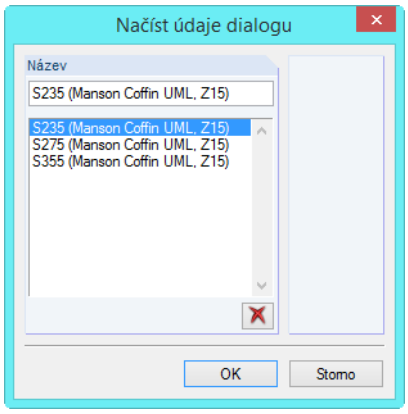
Materiálové vlastnosti lze definovat zvlášť pro *kladnou* a *zápornou* oblast. V poli *Počet kroků* určíme počet definičních bodů pro každou oblast. V obou seznamech pak můžeme zadat přetvoření ε a příslušná normálová napětí σ.

Pro zadání *průběhu po posledním kroku* máme několik možností: *přetržení* v případě selhání materiálu při překročení určité hodnoty, *tečení* pro přenos omezený na maximální napětí, *průběžně* pro stejný průběh jako v posledním kroku anebo *zastavení* při stanovení maximálního přípustného přetvoření.

Hodnoty lze načíst i z tabulky ve formátu [Excel].

Materiálové vlastnosti doporučujeme zkontrolovat v dynamickém zobrazení v sekci *Pracovní diagram*. V poli E_i pod tímto obrázkem se zobrazí modul pružnosti E v aktuálním definičním bodu.

Tlačítkem v dialogu můžeme pracovní diagramy uložit a použít i v jiných modelech. Pomocí tlačítka lze importovat diagramy, které uživatel definoval.

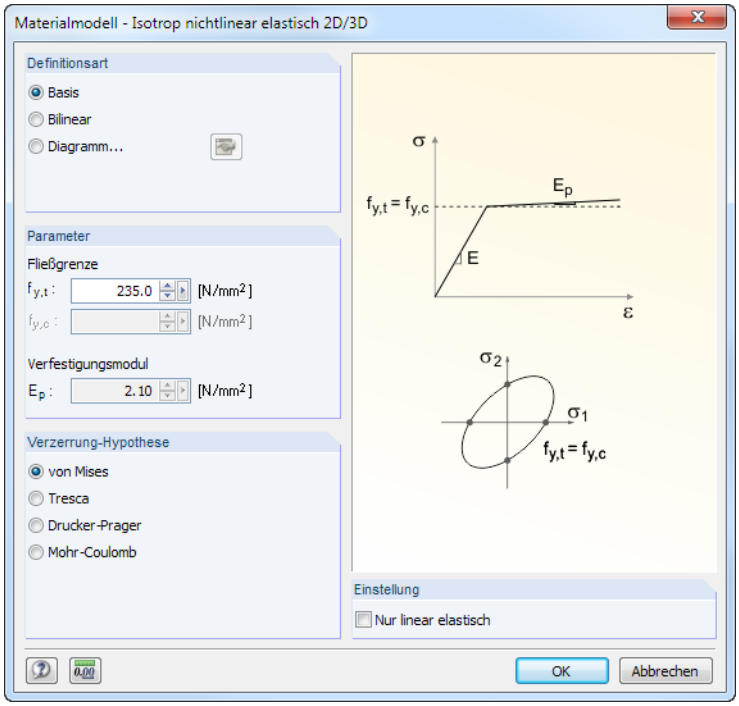


Obrázek 4.45 Dialog *Načíst údaje dialogu*

V případě prutů s izotropně plastickými materiálovými vlastnostmi nemá zaškrtnutí políčka *Aktivovat smykovou tuhost prutů* (*průřezové plochy* A_y, A_z) v dialogu *Parametry výpočtu* (viz obr. 7.27) žádný vliv. Tento materiálový model vychází z Euler-Bernoulliho nosníkové teorie, kdy se zanedbávají smyková přetvoření.

Izotropní nelineárně elastický 2D/3D

Pomocí tohoto materiálového modelu je možné zobrazit vlastnosti nelineárních materiálů pro plochy a tělesa. Modelu se nepředává žádná energie (konzervativní pohled). Vzhledem k tomu, že v případě zatížení i odlehčení platí stejné vztahy mezi napětím a přetvořením, nevznikají po odlehčení trvalá plastická přetvoření.



Obrázek 4.46 dialog *Materiálový model - Izotropní nelineární elastický 2D/3D*

Je nutné zadat hranice plasticity $f_{y,t}$ ideálně nebo bilineárně elastického materiálu. Pro hypotézy podle von Misese a podle Trescy platí stejnou měrou pro tah a tlak. K realistickému znázornění materiálového chování lze definovat také pracovní *diagram* (viz obr. 4.44).

Matice pružnosti je izotropně tlumena, aby byly splněny pracovní linie srovnávacího napětí a přetvoření v pracovním diagramu.

V sekci *Hypotéza přetvoření* jsou na výběr čtyři výpočtové metody:

- von Mises:

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Rovnice 4.3

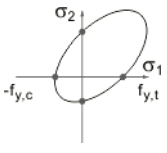
$$\varepsilon_{eqv} = \frac{\sigma_{eqv}}{E}$$

Rovnice 4.4

- Tresca:

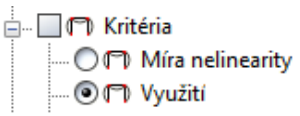
$$\sigma_{eqv} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

Rovnice 4.5



- Drucker-Prager:

  Analyzuje se kritérium, které se blíží hodnotě 1 (v plastickém smyslu). Tahová a tlaková napětí interagují v rovnicích. Při vyhodnocování by mělo být pod položkou *Kritéria* uvažováno využití, nikoliv napětí.



- Mohr-Coulomb:

  Stejně jako v případě modelu Drucker-Prager se analyzuje kružnice napětí, která však vychází vychází z hypotézy podle Trescy.

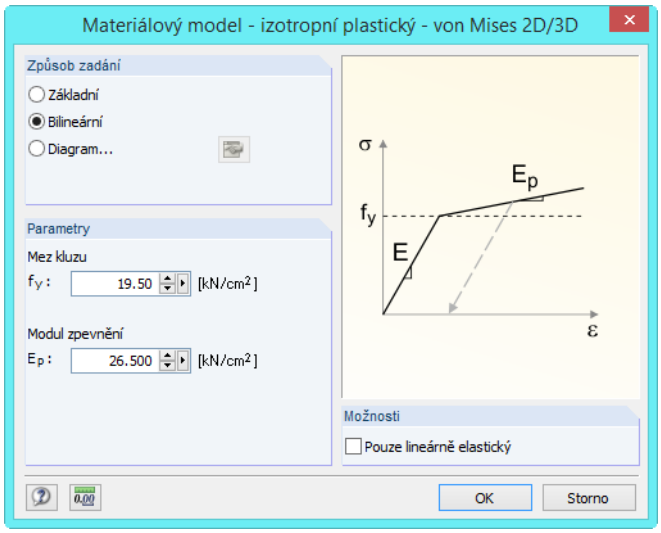
Zpravidla tento materiálový model vyžaduje vysoký počet iterací pro dosažení konvergence. Proto bychom měli v poli *Maximální počet iterací* uvést alespoň hodnotu 300 (viz kapitola 7.3.3).

Volba *Pouze lineárně elastický* umožňuje deaktivovat nelineární vlastnosti materiálu například pro srovnávací posouzení.

Následující odborný článek poskytuje další vysvětlení k pravidlům pro tečení tohoto materiálového modelu:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000968

Izotropní plastický 2D/3D

V případě tohoto materiálového modelu se v pružné oblasti chová materiál jako izotropní. Plastická oblast je založena na podmínce plasticity podle von Misese (J2 plasticita) s uživatelsky zadanou *mezí kluzu* srovnávacího napětí pro plochy a tělesa.



Obrázek 4.47 Dialog *Materiálový model - izotropní plastický - von Mises 2D/3D*

V dialogu se zadají parametry ideálně nebo bilineárně plastického materiálu. K realistickému znázornění materiálového chování lze definovat také pracovní *diagram* (viz obr. 4.44). Podle von Misese a podle Trescy platí pro tah i tlak stejné hranice plasticity.

Podmínky plasticity pro 2D prvky např. podle von Misese jsou vyjádřeny rovnicí 4.3. Podmínky plasticity pro 3D prvky

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+(\sigma_x-\sigma_z)^2+6(\tau_{xy}^2+\tau_{xz}^2+\tau_{yz}^2)}$$

Rovnice 4.6

V případě plastických vlastností materiálu se výpočet provádí iteračně s přírůstky zatížení (viz kapitola 7.3). Jestliže je v některém konečném prvku překročeno napětí, zmenší se v daném prvku modul pružnosti a výpočetní cyklus se spustí znovu, dokud není dosažena konvergence. Po skončení výpočtu lze redukce tuhosti zkontrolovat také v grafickém okně (viz kapitola 9.3.2).

Pro vyhodnocení výsledků by měla být zvolena možnost vyhlazení *Konstantní v prvcích* (viz obr. 9.31). Zajistíme tak, aby se definovaná mez kluzu zobrazila jako maximum v panelu výsledků. Plastické účinky lze ve výpočtu zohlednit pouze pro jednotlivé prvky. Ostatní možnosti vyhlazení oproti tomu výsledky interpolují, příp. extrapolují. To může vést k méně či více výraznému přetvoření v závislosti na zesíťování.

Při pružně-plastickém výpočtu se celkové přetvoření ε rozdělí na pružnou složku ε_{el} a plastickou složku ε_{pl}.

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$$

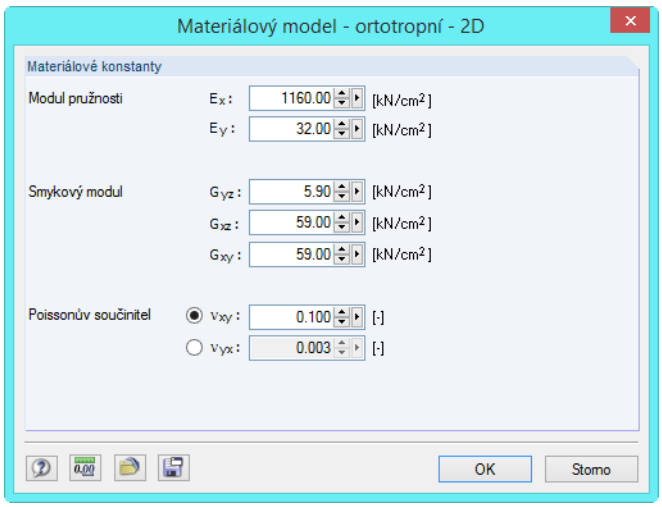
Rovnice 4.7

Toto rozdělení však platí pouze za předpokladu, že plastická přetvoření jsou malá ($\varepsilon_{pl} < 0,1$). Pokud plastická přetvoření překročí tuto mezní hodnotu, je třeba výsledky plastické analýzy hodnotit opatrně. To je důležité zejména pro výpočty podle teorie III. řádu (zohlednění velkých deformací).

Ortotropní elastický 2D

U materiálu lze zadat tuhostní vlastnosti odlišné pro oba směry plochy x a y. Můžeme tak například modelovat žebrové stropy nebo směry napětí vyztužených stropů. Osy x a y plochy jsou na sebe v rovině plochy kolmé (srov. obr. 4.75).

Materiálové modely *Ortotropní* a *Ortotropní extra* z RFEMu 4 se převádějí na tento model.



Obrázek 4.48 Dialog *Materiálový model - ortotropní - 2D*

Tento materiálový model umožňuje přiřadit ortotropní vlastnosti najednou všem plochám z určitého materiálu. Můžeme je ovšem definovat také pro každou plochu zvlášť (viz kapitola 4.12).

Pružný ortotropní materiál charakterizují E moduly pružnosti E_x a E_y, smykové moduly G_{yz}, G_{xz} a G_{xy} a dále Poissonovy součinitele ν_{xy} a ν_{yx}. Matice poddajnosti (inverzní matice tuhosti) má následující tvar:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix}$$

Rovnice 4.8

Mezi hlavním Poissonovým součinitelem ν_{xy} a vedlejším Poissonovým součinitelem ν_{yx} je dán následující vztah:

$$\frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}$$

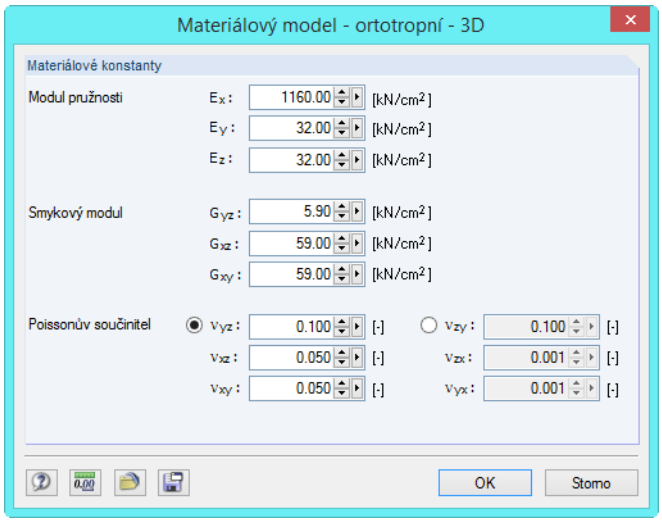
Rovnice 4.9

Pro pozitivně definitní matici tuhosti musí být splněny následující podmínky:

- $E_x > 0; \quad E_y > 0$
- $G_{yz} > 0; \; G_{xz} > 0; \; G_{xy} > 0$
- $|\nu_{xy}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$

Ortotropní elastický 3D

V trojrozměrném materiálovém modelu lze elastické tuhosti definovat zvlášť v každém směru tělesa. Můžeme tak např. modelovat pevnostní vlastnosti materiálů na bázi dřeva.



Obrázek 4.49 Dialog *Materiálový model - ortotropní - 3D*

Matice poddajnosti má následující tvar:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & -\frac{\nu_{zx}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}$$

Rovnice 4.10

Mezi hlavními Poissonovými součiniteli ν_{yz}, ν_{xz}, ν_{xy} a vedlejšími Poissonovými součiniteli ν_{zy}, ν_{zx}, ν_{yx} jsou dány následující vztahy:

$$\frac{\nu_{zy}}{E_z}=\frac{\nu_{yz}}{E_y};\quad \frac{\nu_{zx}}{E_z}=\frac{\nu_{xz}}{E_x};\quad \frac{\nu_{yx}}{E_y}=\frac{\nu_{xy}}{E_x}$$

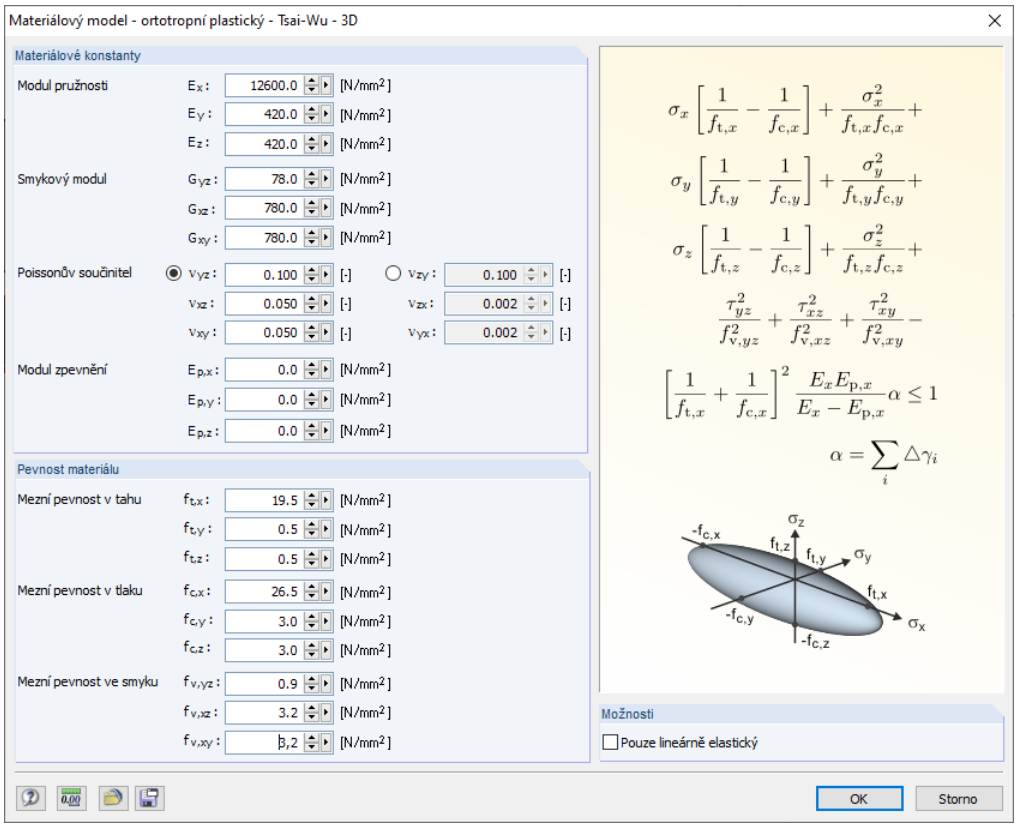
Rovnice 4.11

Pro pozitivně definitní matici tuhosti musí být splněny následující podmínky:

- $E_x>0;\ E_y>0;\ E_z>0$
- $G_{yz}>0;\ G_{xz}>0;\ G_{xy}>0$
- $|\nu_{yz}|<\sqrt{\frac{E_y}{E_z}};\ |\nu_{xz}|<\sqrt{\frac{E_x}{E_z}};\ |\nu_{xy}|<\sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$
- $1-\nu_{yz}^2\frac{E_z}{E_y}-\nu_{xz}^2\frac{E_z}{E_x}-\nu_{xy}^2\frac{E_y}{E_x}-2\frac{E_z}{E_x}\nu_{yz}\nu_{xz}\nu_{xy}>0$

Ortotropní plastický 2D / Ortotropní plastický 3D

Materiálový model Tsai-Wu propojuje plastické a ortotropní vlastnosti. Lze tak modelovat materiály s anizotropními vlastnostmi jako např. dřevo či umělé materiály. Při plastizaci materiálu zůstávají napětí konstantní. Dochází k jejich redistribuci v závislosti na tuhosti v jednotlivých směrech.



Obrázek 4.50 Dialog *Materiálový model - ortotropní plastický - Tsai-Wu - 3D*

Pružná oblast odpovídá materiálovému modelu *Ortotropní - 3D* (viz výše). Pro plastickou oblast platí následující podmínka plasticity podle Tsai-Wu:

$$f_{crit}(\sigma)=\frac{1}{C}\left[\frac{(\sigma_x-\sigma_{x,0})^2}{f_{t,x}f_{c,x}}+\frac{(\sigma_y-\sigma_{y,0})^2}{f_{t,y}f_{c,y}}+\frac{(\sigma_z-\sigma_{z,0})^2}{f_{t,z}f_{c,z}}+\frac{\tau_{yz}^2}{f_{v,yz}^2}+\frac{\tau_{xz}^2}{f_{v,xz}^2}+\frac{\tau_{xy}^2}{f_{v,xy}^2}\right]$$

Rovnice 4.12

kde je

$$\sigma_{x,0} = \frac{f_{t,x} - f_{c,x}}{2}$$

$$\sigma_{y,0} = \frac{f_{t,y} - f_{c,y}}{2}$$

$$\sigma_{z,0} = \frac{f_{t,z} - f_{c,z}}{2}$$

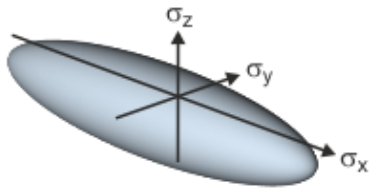
$$C = 1 + \left[\frac{1}{f_{t,x}} + \frac{1}{f_{c,x}} \right]^2 \frac{E_x E_{p,x}}{E_x - E_{p,x}} \alpha + \frac{\sigma_{x,0}^2}{f_{t,x} f_{c,x}} + \frac{\sigma_{y,0}^2}{f_{t,y} f_{c,y}} + \frac{\sigma_{z,0}^2}{f_{t,z} f_{c,z}}$$

$f_{t,x}$, $f_{t,y}$, $f_{t,z}$: plastická mezní pevnost v tahu ve směru osy x, y, nebo z
$f_{c,x}$, $f_{c,y}$, $f_{c,z}$: plastická mezní pevnost v tlaku ve směru osy x, y nebo z
$f_{v,yz}$, $f_{v,xz}$, $f_{v,xy}$: plastická mezní pevnost ve smyku ve směru yz, xz nebo xy
$E_{p,x}$: modul zpevnění
α : stavová proměnná zpevnění

$$\alpha = \sum_i \Delta\gamma_i$$

Veškeré pevnosti je třeba zadat jako kladné hodnoty.

Podmínku plasticity si můžeme představit jako plochu ve tvaru elipsy v šestirozměrném prostoru napjatosti. Pokud má jedna ze složek napětí konstantní hodnotu, lze plochu promítnout do trojrozměrného prostoru napětí (viz obr. 4.51).



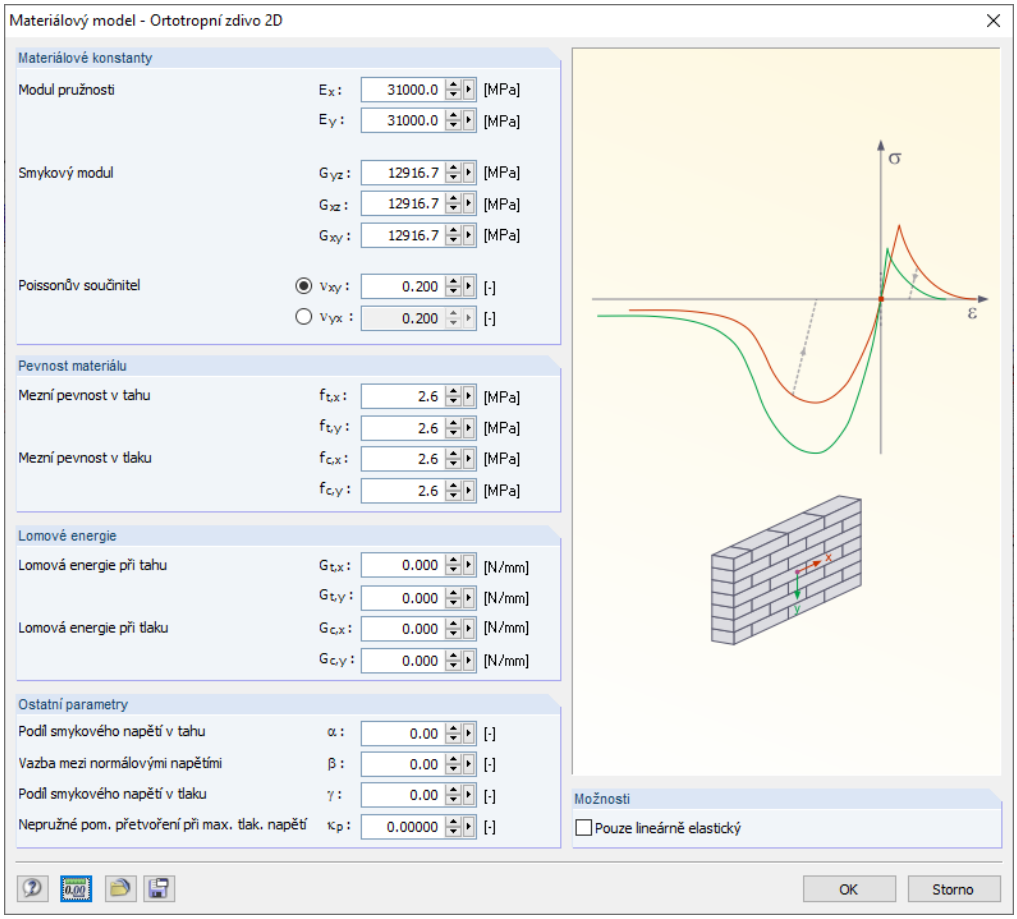
Obrázek 4.51 Průmět ploch plasticity v případě normálových napětí podle Tsai-Wu

Pokud je hodnota $f_y(\sigma)$ podle rovnice 4.12 menší než 1, jsou působící napětí v pružné oblasti. Plastická oblast je dosažena, jakmile $f_y(\sigma) = 1$. Hodnoty větší než 1 nejsou přípustné. Model lze charakterizovat jako ideálně plastický, tzn. nedochází ke zpevnění.

Rovnice 4.12 platí pouze pro lokální souřadný systém konečných prvků. Pokud se tento lokální souřadný systém neshoduje se souřadným systémem tělesa použitým v RFEMu pro zobrazení napětí, je třeba hodnoty transformovat.

Ortotropní zdivo 2D

S tímto elastoplastickým materiálovým modelem je možné uvažovat změkčení materiálu, které se může lišit v lokálním směru x a y plochy. Materiálový model je vhodný pro nevyztužené zděné stěny, které jsou namáhané v rovině desky. Tenzor celkového přetvoření ε se rozloží na součet jeho pružných a plastických složek ($\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$). Při tomto přístupu se předpokládá, že poškození vytváří "rozprostřené" trhliny, kdy materiál i po poškození zůstává kontinuem.



Obrázek 4.52 Dialog *Materiálový model - Ortotropní zdivo 2D*

Kromě materiálových vlastností ortotropního elastického 2D materiálového modelu obsahuje dialog také sedm parametrů pevnosti ($f_{t,x}$, $f_{t,y}$, $f_{c,x}$, $f_{c,y}$, α, β, γ) a pět parametrů pro popis nepružného chování ($G_{t,x}$, $G_{t,y}$, $G_{c,x}$, $G_{c,y}$, κ_p). Tyto parametry mohou být stanoveny v pokusech, v nichž se analyzují jednoosý a dvouosý tlak a tah. Korelační součinitele jsou přitom následující:

$$\alpha = \frac{1}{9}\left(1 + 4\frac{f_{t,x}}{f_{\alpha}}\right)\left(1 + 4\frac{f_{t,y}}{f_{\alpha}}\right)$$

Rovnice 4.13

$$\beta = \left(\frac{1}{f_{\beta}^2} - \frac{1}{f_{c,x}^2} - \frac{1}{f_{c,y}^2}\right) f_{c,x} f_{c,y}$$

Rovnice 4.14

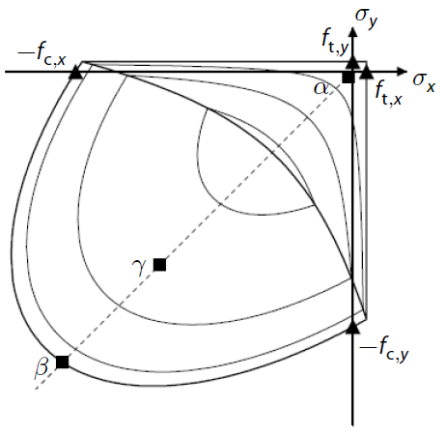
$$\gamma = \left[\frac{16}{f_{\gamma}^2} - 9\left(\frac{1}{f_{c,x}^2} + \frac{\beta}{f_{c,x} f_{c,y}} + \frac{1}{f_{c,y}^2}\right)\right] f_{c,x} f_{c,y}$$

Rovnice 4.15

Pro oblast s tahem se podle [45] používá hypotéza podle Rankina, zatímco pro oblast s tlakem se používá kritérium tečení podle Hilla. Ve výše uvedených rovnicích udává parametr α podíl smykových napětí, která vedou k porušení při namáhání tahem. V případě namáhání tlakem se smyková složka analogicky vyjadřuje pomocí parametrů β a γ.

Na následujícím obrázku je znázorněna typická plocha plasticity pro anizotropní kritérium porušení

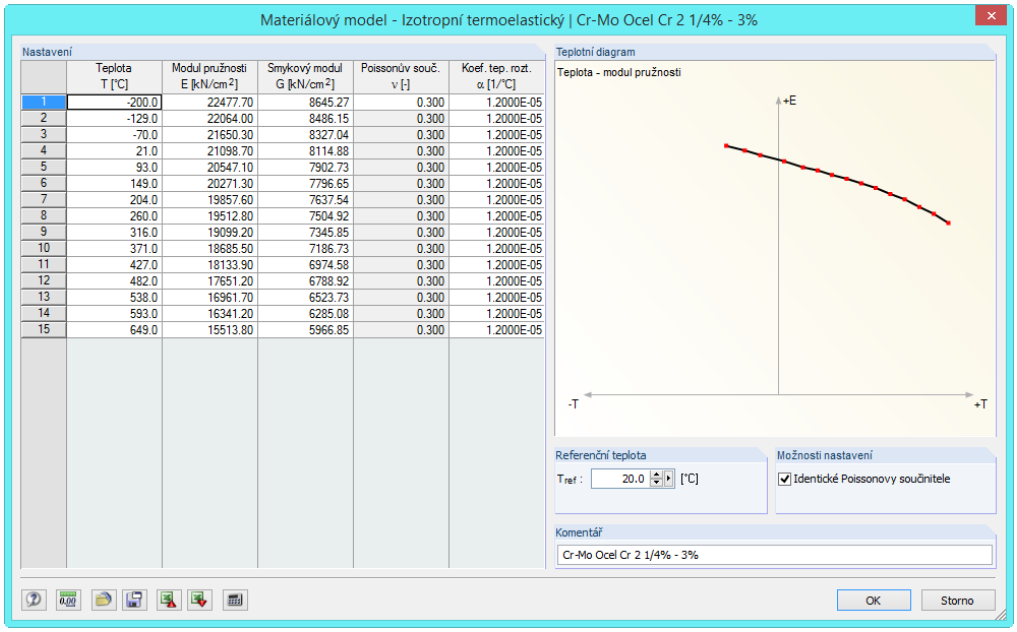
podle Rankina-Hilla.



Obrázek 4.53 Plocha plasticity s parametry materiálu a izoliniemi pro smyk podle [45]

Izotropní termoelastický

Vztah mezi napětím a poměrným přetvořením u pružného izotropního materiálu v závislosti na teplotě můžeme zadat v pracovním diagramu nebo také importovat ze souboru ve formátu [Excel]. Dané materiálové parametry se zohlední u tepelně namáhaných prutových a plošných prvků (namáhání rovnoměrnou nebo nerovnoměrnou teplotou).



	Teplota T [°C]	Modul pružnosti E [kN/cm²]	Smykový modul G [kN/cm²]	Poissonův souč. ν [-]	Koef. tep. rozt. α [1/°C]
1	-200.0	22477.70	8645.27	0.300	1.2000E-05
2	-129.0	22064.00	8486.15	0.300	1.2000E-05
3	-70.0	21650.30	8327.04	0.300	1.2000E-05
4	21.0	21098.70	8114.88	0.300	1.2000E-05
5	93.0	20547.10	7902.73	0.300	1.2000E-05
6	149.0	20271.30	7796.65	0.300	1.2000E-05
7	204.0	19857.60	7637.54	0.300	1.2000E-05
8	260.0	19512.80	7504.92	0.300	1.2000E-05
9	316.0	19099.20	7345.85	0.300	1.2000E-05
10	371.0	18685.50	7186.73	0.300	1.2000E-05
11	427.0	18133.90	6974.58	0.300	1.2000E-05
12	482.0	17651.20	6788.92	0.300	1.2000E-05
13	538.0	16961.70	6523.73	0.300	1.2000E-05
14	593.0	16341.20	6285.08	0.300	1.2000E-05
15	649.0	15513.80	5966.85	0.300	1.2000E-05

Obrázek 4.54 Dialog *Materiálový model - Izotropní termoelastický*

Hodnota v poli *Referenční teplota* určuje tuhost u prutů a ploch, které nejsou vystaveny žádnému teplotnímu zatížení. Pokud např. nastavíme referenční teplotu na 300 °C, bude se u všech prutů a ploch uvažovat redukovaný modul pružnosti v daném bodě teplotní křivky.

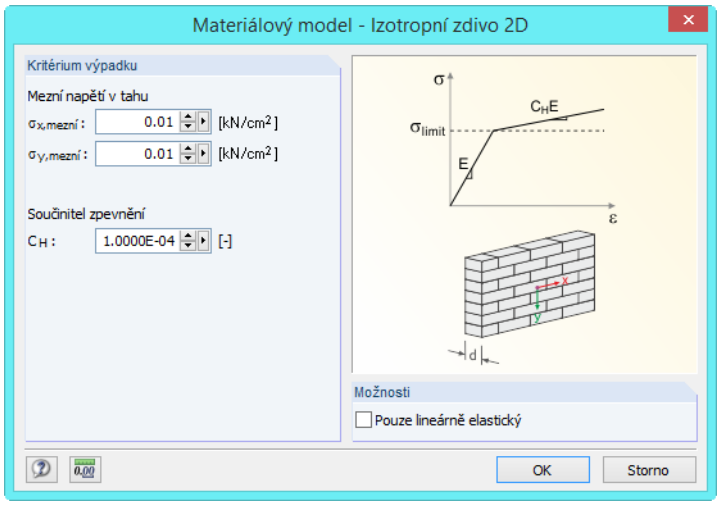
V sekci *Možnost nastavení* můžeme rozhodnout, jestli se mají v celém teplotním diagramu uvažovat *identické Poissonovy součinitele*. Pokud příslušné políčko nezaškrtneme, zpřístupní se sloupec *Poissonův součinitel* v tabulce a uživatel bude moci zadat požadované hodnoty.

Tlačítkem [Načíst uložená data...] lze importovat předem zadané teplotní diagramy pro různé ocelové slitiny (srov. obr. 4.45).

Tlačítkem [Uložit jako...] lze teplotní diagramy, které uživatel definoval, uložit a později použít i v jiných modelech.

Izotropní zdivo D

Tento materiálový model umožňuje zohlednit zděné stěny, které nemohou přenášet tahové síly a reagují trhlinami.



Obrázek 4.55 Dialog *Materiálový model - Izotropní zdivo 2D*

V daném dialogu můžeme zadat *mezní napětí v tahu* ve směru os x a y plochy, tzn. rovnoběžně s ložnou spárou nebo kolmo na ni. Při výpočtu se pak postupně v iteracích zjišťuje, které konečné prvky při daném kritériu porušení nebudou přenášet napětí.

Pokud v poli pro zadání mezního napětí v tahu uvedeme nulovou hodnotu, dosadí RFEM při výpočtu z důvodu zachování stability jako mezní hodnotu $1x10^{-11}$ N/mm^2. Minimální tahová napětí tak nelze zcela vyloučit.

V případě numerických problémů při výpočtu se můžeme zvýšením *součinitele zpevnění* C_H pokusit dosáhnout konvergence.

Jestliže jsme stanovili materiál v databázi již před otevřením dialogu *Materiálový model*, jsou tu předem nastaveny následující mezní hodnoty:

Norma	**$\sigma_{x,mezní}$**	**$\sigma_{y,mezní}$**
DIN 1053-100	f_{x2} Pevnost v tahu rovnoběžně s ložnou spárou	0
EN 1996-1-1	f_{xk1} Pevnost v tahu rovnoběžně s ložnou spárou	f_{xk2} Pevnost v tahu kolmo na ložnou spáru

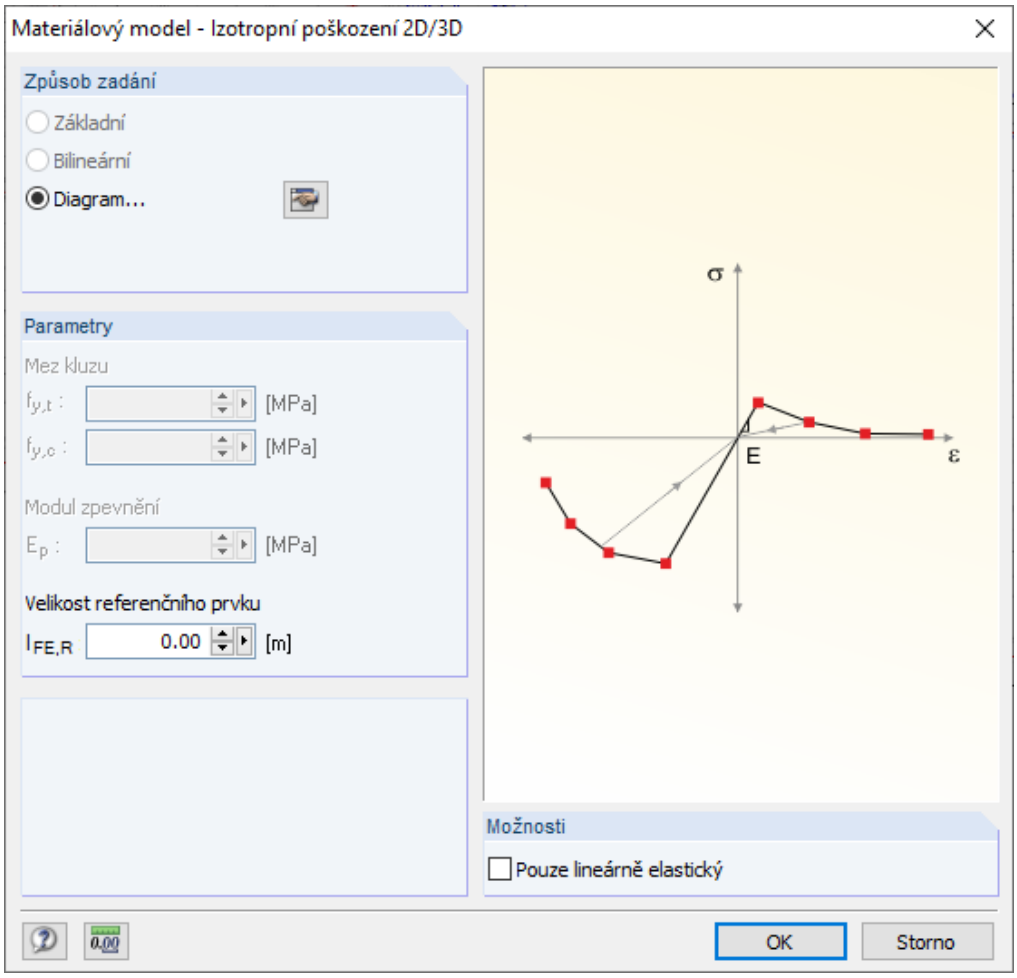
Tabulka 4.1 Mezní napětí v tahu podle norem platných pro zdivo

Následující článek popisuje, jak lze vytvářet materiály pro zdivo:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001291

Další odborný článek poskytuje informace o posouzení chování zdiva v programu RFEM:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001341

Izotropní poškození 2D/3D

Tento materiálový model lze použít k modelování materiálového chování drátkobetonu, při kterém dochází ke stálému snižování pevnosti v důsledku tvorby trhlin.



Obrázek 4.56 Dialog *Materiálový model - Izotropní poškození 2D/3D*

Pracovní diagram drátkobetonu je třeba zadat v *diagramu*, který je přístupný po kliknutí na tlačítko . Tento diagram je znázorněn na obr. 4.44.

U tohoto materiálového modelu („Mazarsův model poškození“) je izotropní tuhost redukována skalární parametrem poškození. Tento parametr poškození se stanoví na základě průběhu napětí, které je definováno v *diagramu*. V tomto případě se nezohledňuje směr hlavních napětí, ale dochází k poškození ve směru srovnávacího poměrného přetvoření, které zahrnuje také třetí směr kolmý na rovinu. Tahové a tlakové oblasti tenzoru napětí jsou řešeny odděleně. V každém případě platí různé parametry poškození.

Velikost referenčního prvku určuje, jak se má přetvoření v oblasti trhlin přizpůsobit délce prvku. Při přednastavené nulové hodnotě nedochází ke změně měřítka. Tímto způsobem se téměř realisticky modeluje materiálové chování drátkobetonu.

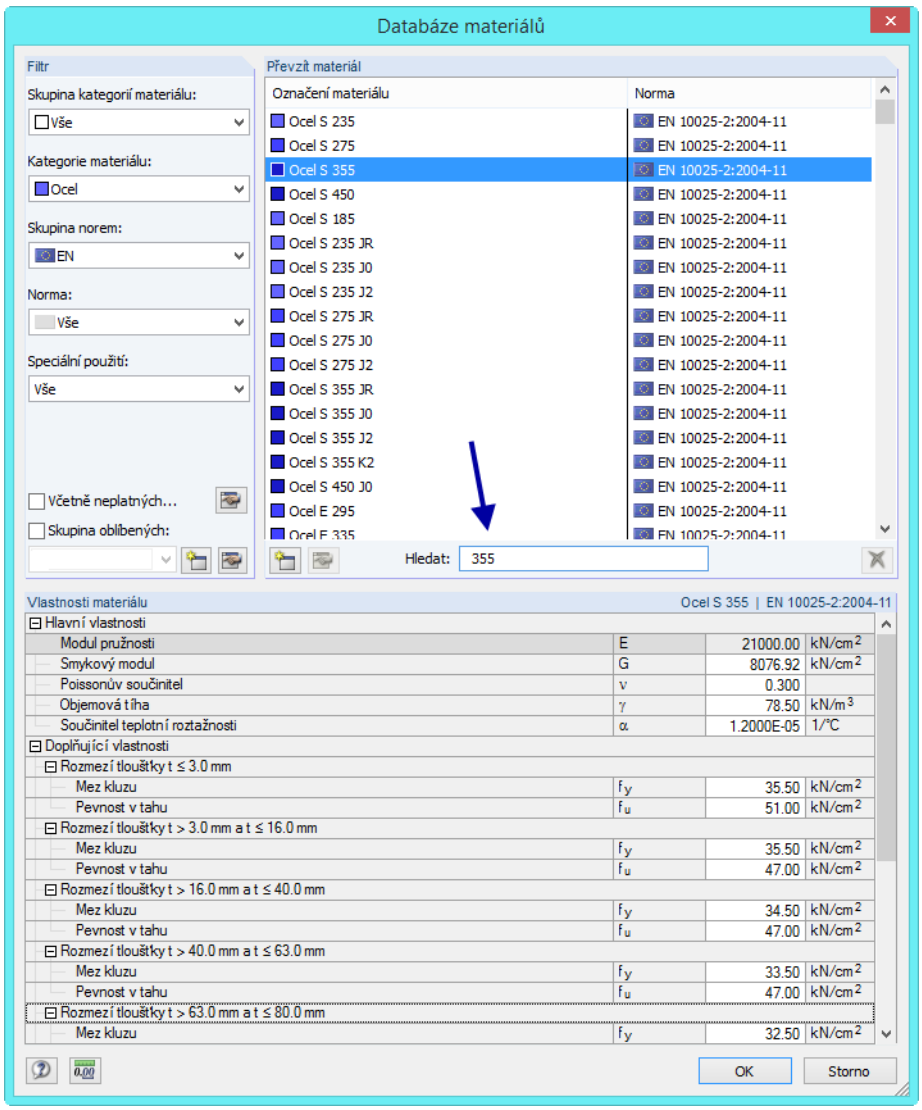
V následujících odborných článcích najdete podrobnější vysvětlivky k materiálovému modelu *Izotropní poškození 2D/3D*:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001461
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001601

Databáze materiálů

V rozsáhlé a rozšiřitelné databázi jsou uloženy vlastnosti celé řady materiálů.

Otevření databáze

Databázi materiálů lze vyvolat v dialogu *Nový materiál* (viz obr. 4.40) tak, že klikneme na tlačítko [Převzít z materiálové databáze...]. Databáze je přístupná i z tabulky 1.3 *Materiály* (srov. obr. 4.41): umístíme kurzor myši do sloupce A a následně klikneme na tlačítko nebo stiskneme klávesu [F7].



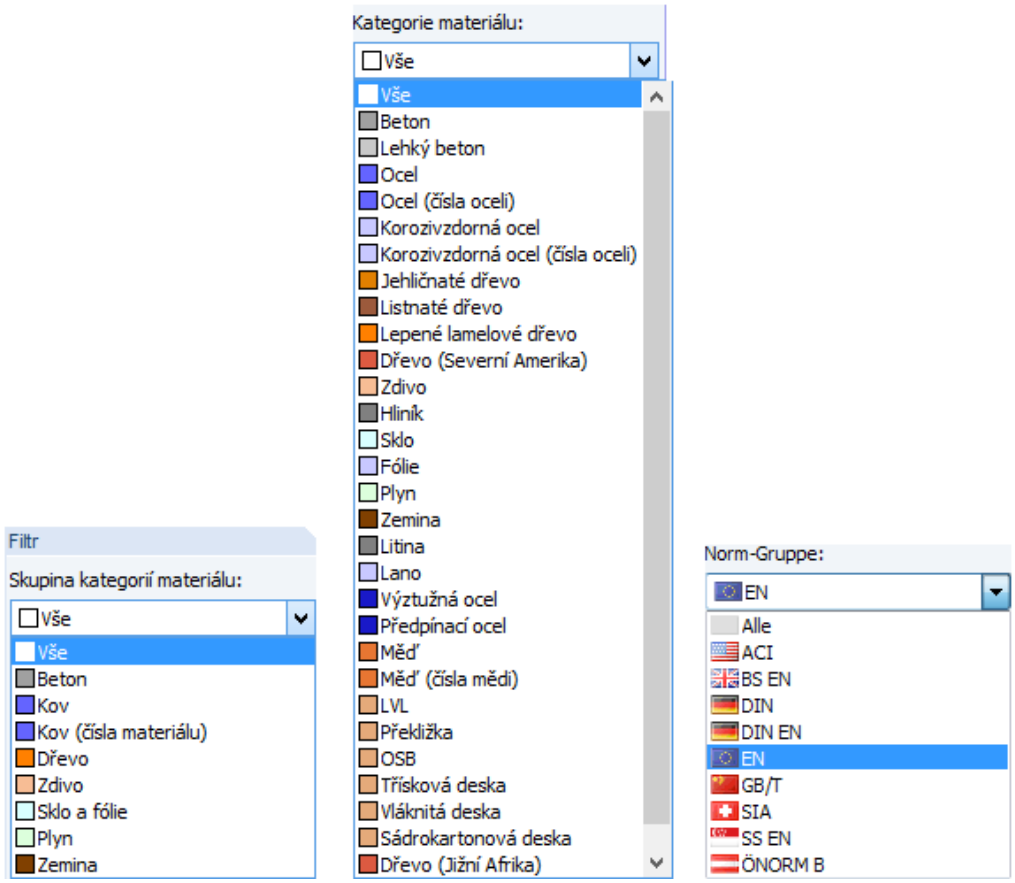
Obrázek 4.57 Dialog *Databáze materiálů*

V seznamu *Převzít materiál* můžeme vybrat požadovaný materiál a poté ve spodní části dialogu zkontrolovat jeho parametry. Po kliknutí na [OK] nebo [↵] se materiál převezme do předchozího dialogu nebo tabulky.

Pole *Hledat* slouží k plnotextovému vyhledávání položek v seznamu (viz obr. 4.55).

Filtrování databáze

Databáze materiálů je velmi rozsáhlá, proto má uživatel k dispozici různé *filtry*. Seznam materiálů lze filtrovat podle následujících kritérií: *skupina kategorií materiálu*, *kategorie materiálu*, *skupina norem*, *norma* a *speciální použití*. Jejich nabídku tak zúžíme.

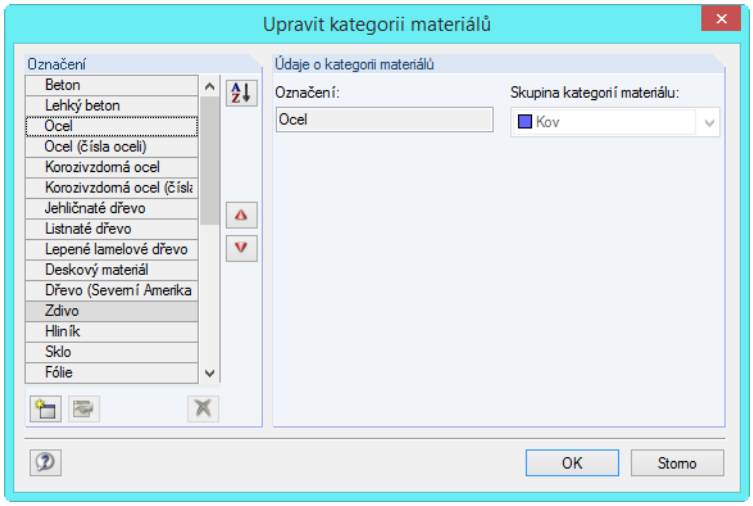


Obrázek 4.58 Filtrování materiálů podle *skupiny kategorií materiálu*, *kategorie materiálu* a *skupiny norem*

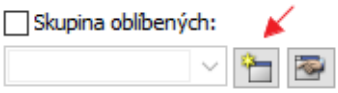
Včetně neplatných...

Jestliže potřebujeme také materiály ze „starých" norem, můžeme si je nechat zobrazit v databázi tak, že zaškrtneme políčko „Včetně neplatných..." v sekci.

Pomocí tlačítek a lze vytvářet nové kategorie, resp. upravovat již existující kategorie.



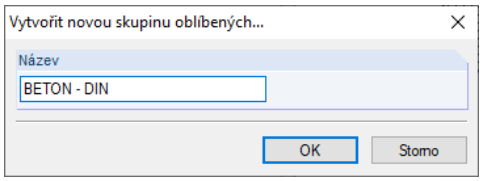
Obrázek 4.59 Dialog *Upravit kategorii materiálů*



Pořadí materiálů lze měnit pomocí tlačítek [▲] a [▼].

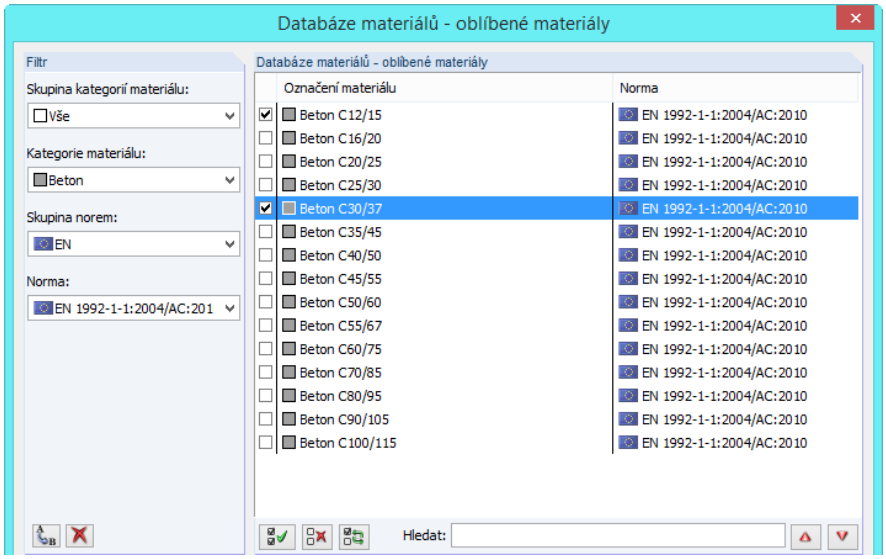
Určení oblíbených průřezů

Často se stává, že uživatel při každodenní práci používá jen několik materiálů. V programu je lze uložit jako oblíbené materiály. Dialog, v němž můžeme založit oblíbené materiály, vyvoláme kliknutím na tlačítko [Vytvořit novou skupinu oblíbených...].



Obrázek 4.60 Dialog *Vytvořit novou skupinu oblíbených*

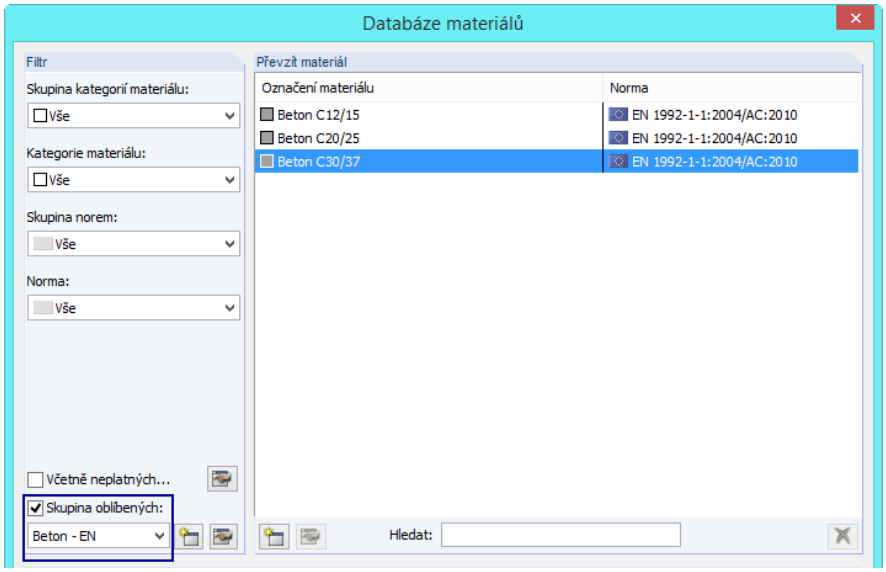
V tomto dialogu uvedeme *název* nové skupiny oblíbených materiálů. Po kliknutí na [OK] se zobrazí dialog, který má stejnou strukturu jako databáze materiálů. I v něm máme k dispozici filtry, které jsme popsali výše.



Obrázek 4.61 Dialog *Databáze materiálů - oblíbené materiály* (výřez)

V sekci *Databáze materiálů - oblíbené materiály* můžeme často používané materiály označit zaškrtnutím čtverečku v prvním sloupci. Pořadí materiálů lze měnit pomocí tlačítek [▲] a [▼].

Jakmile tento dialog zavřeme a v databázi materiálů aktivujeme zaškrtávací políčko *Skupina oblíbených*, bude seznam materiálů mnohem přehlednější.

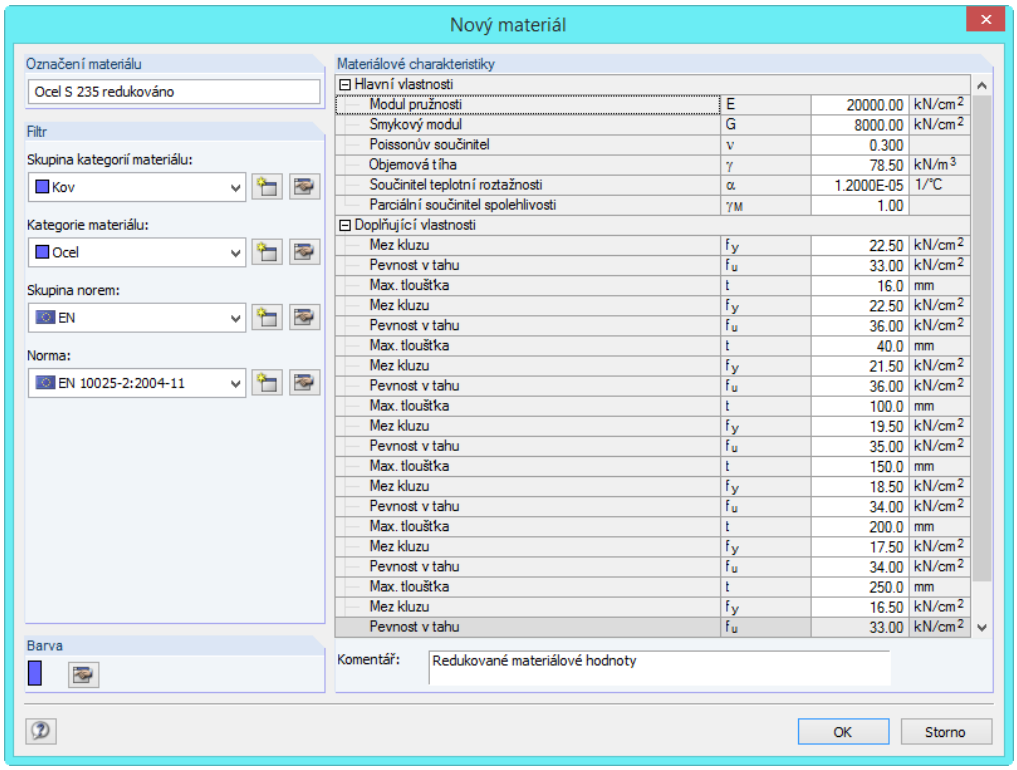


Obrázek 4.62 Dialog *Databáze materiálů* s aktivovanou volbou *Skupina oblíbených*

Rozšiřování databáze

Databázi materiálů lze rozšiřovat. Jakmile do ní přidáme nový materiál, lze ho následně použít pro jakýkoli model v programu RFEM.

Tlačítko se nachází pod seznamem materiálů vlevo od políčka *Hledat* (viz obr. 4.60). Kliknutím na něj otevřeme dialog *Nový materiál*. Parametry, které jsou v něm přednastaveny, se vztahují k aktuálně vybrané položce v seznamu *Převzít materiál*. Pokud tedy před založením nového materiálu vybereme v seznamu materiál s podobnými vlastnostmi, usnadníme si práci.



Obrázek 4.63 Dialog *Nový materiál*

V dialogu *Nový materiál* uvedeme *označení materiálu*, definujeme *materiálové charakteristiky* a zařadíme materiál do příslušných skupin a kategorií, podle nichž se filtruje v databázi.

Zálohování materiálů zadaných uživatelem

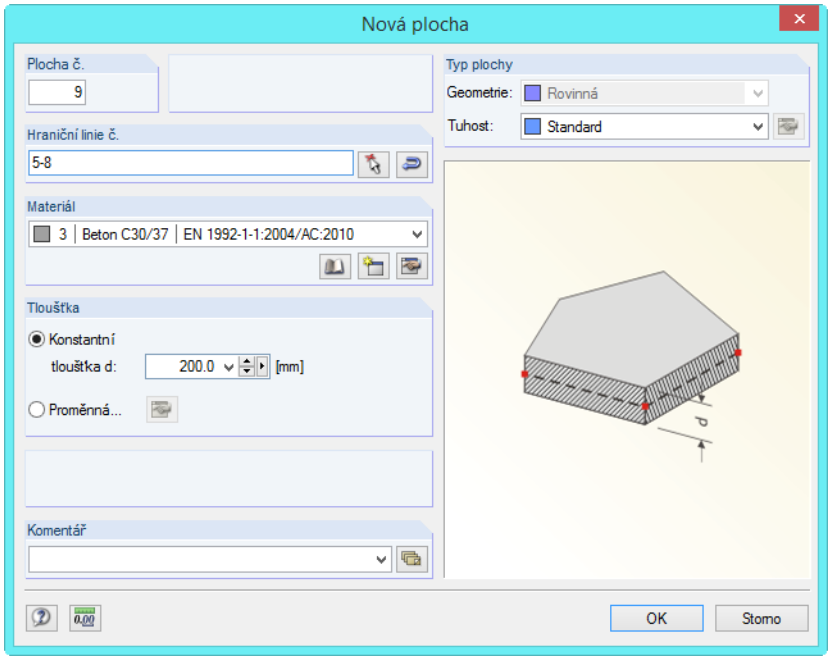
Jestliže uživatel používá materiály, které sám definoval, může před instalací updatu programu zálohovat soubor **Materialien_User.dbd**. Tento soubor se nachází v kmenovém adresáři programu RFEM 5 C:*ProgramData**Dlubal**RFEM 5.xx**General Data*.

4.4 Plochy

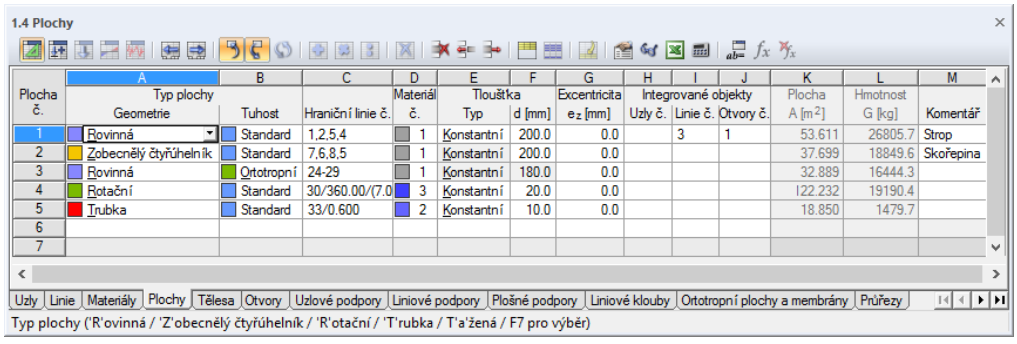
Obecný popis

Plochy slouží v RFEMu především k popisu geometrie konstrukce. U každé plochy je obvykle definován materiál a tloušťka a tím i příslušná tuhost. Přigenerování sítě konečných prvků jsou na ploše vytvořeny 2D konečné prvky (KP). Podrobnější informace o nich najdeme v kapitole 7.2.1.

Výjimku tvoří typ tuhosti *Nulová*, sloužící pouze k popisu geometrie těles.



Obrázek 4.64 Dialog *Nová plocha*

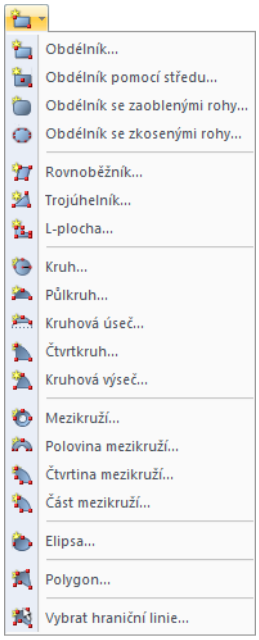


Obrázek 4.65 Tabulka 1.4 *Plochy*

Pro modelování konstrukce máme k dispozici různé typy ploch. Jejich zadání probíhá tak, že spolu kombinujeme - při splnění určitých typově specifických předpokladů - různé geometrické a tuhostní charakteristiky. Vybíráme je ze dvou seznamů v sekci *Typ plochy*, příp. z příslušných sloupců v tabulce.

Typ plochy	
Geometrie	Tuhost
Rovinná	Standard
Zobecnělý čtyřúhelník	Ortotropní
B-Spline	Sklo
Rotační	Tuhá
Trubka	Membrána
Tažená	Nulová

Díky barevným symbolům je přiřazení jednotlivých typů *geometrie* a *tuhosti* snazší a přehlednější. Dané barvy lze využít v modelu pro zobrazení jednotlivých typů ploch. Zobrazení lze nastavit v navigátoru *Zobrazit* v položce *Barvy v grafice podle* (viz kapitola 11.1.9).

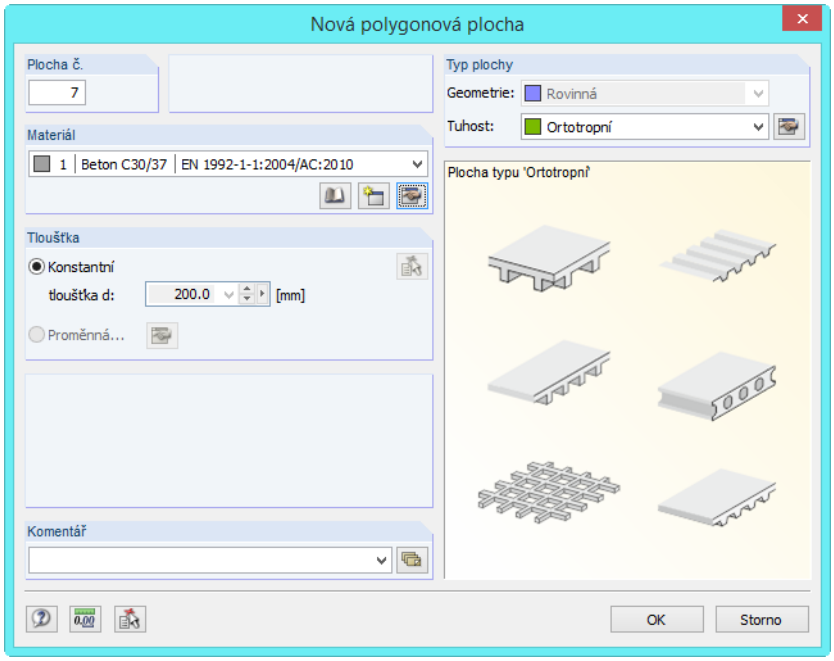


Typ plochy - geometrie

Rovinná plocha

Rovinnou plochu lze definovat graficky vytvořením obdélníku, rovnoběžníku, kruhu, mezikruží, polygonu atd. Vlevo znázorněné rozbalovací tlačítko a také hlavní nabídka nabízí mnoho variant rovinných ploch.

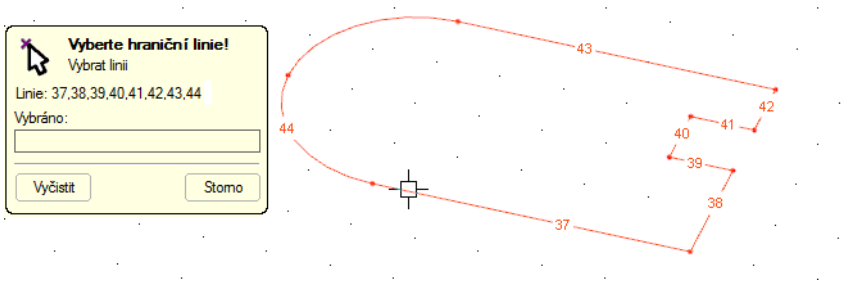
Pokud rovinnou plochu zadáváme graficky pomocí některého z tlačítek v panelu nástrojů, otevře se následující dialog:



Obrázek 4.66 Dialog *Nová polygonová plocha*

Jakmile uvedeme číslo plochy a určíme parametry *Materiál*, *Tloušťka* a *Tuhost*, můžeme po kliknutí na [OK] definovat hraniční linie plochy tak, že postupně klikneme na relevantní body v pracovním okně.

Funkce [Vybrat hraniční linie...] umožňuje vybrat také již existující linie v grafickém okně. Linie musí tvořit uzavřený sled ležící v jedné rovině. Jednotlivé typy linií popisujeme v kapitole 4.2.

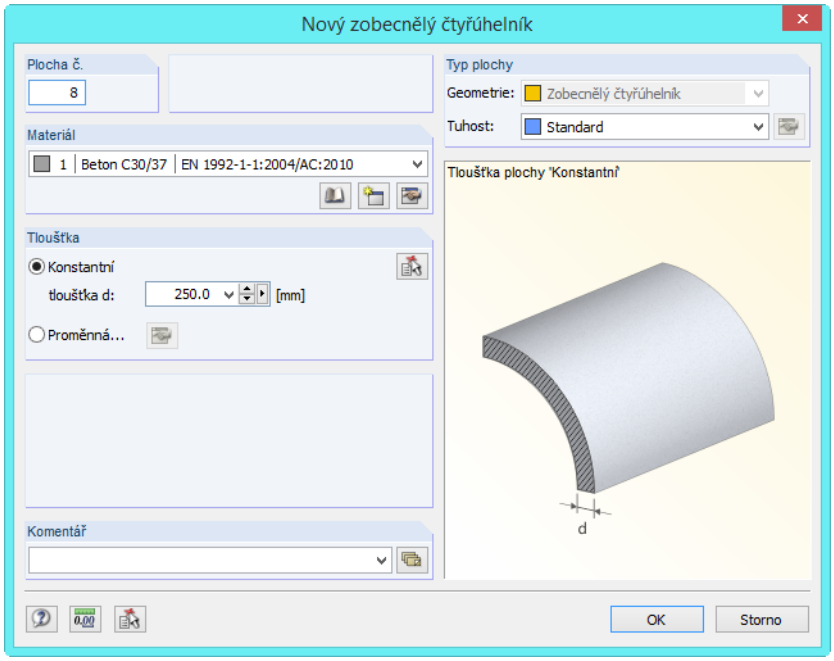


Obrázek 4.67 Grafický výběr hraničních linií

Plochy budou automaticky rozpoznány, jakmile se zadá dostatečný počet hraničních linií.

Zobecnělý čtyřúhelník

Jedná se o obecnou čtyřstrannou plochu, jejímiž hraničními liniemi mohou být kromě rovných linií i oblouky, polylinie nebo křivky. Vzhledem k tomu, že hraniční linie nemusí ležet v jedné rovině, lze vymodelovat pomocí tohoto typu ploch i skořepiny.



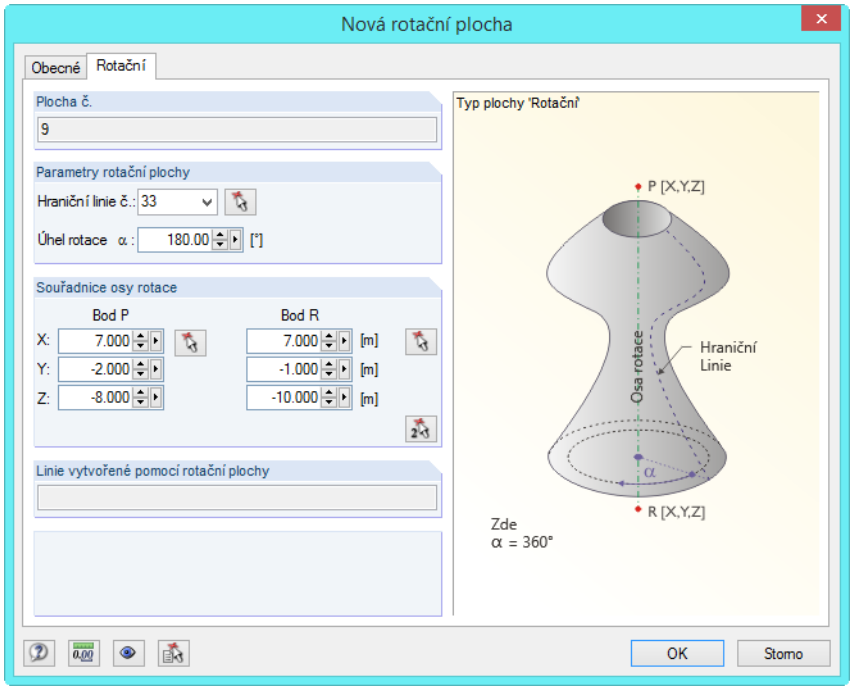
Obrázek 4.68 Dialog *Nový zobecnělý čtyřúhelník*

Stejně jako při zadání rovinné plochy lze i v tomto případě vybrat hraniční linie myší v grafickém okně po kliknutí na tlačítko [OK].

Rotační plocha

Rotační plocha se vytvoří tak, že se určitá linie otočí okolo pevné osy. Plocha je pak určena počáteční a konečnou polohou linie a dále úhlem rotace bodů linie.

Dialog *Nová rotační plocha* je rozdělen do dvou záložek. V záložce *Obecné* definujeme *materiál*, *tloušťku* a *tuhost* plochy (viz obr. 4.67). Proměnnou tloušťku plochy nelze zadat.



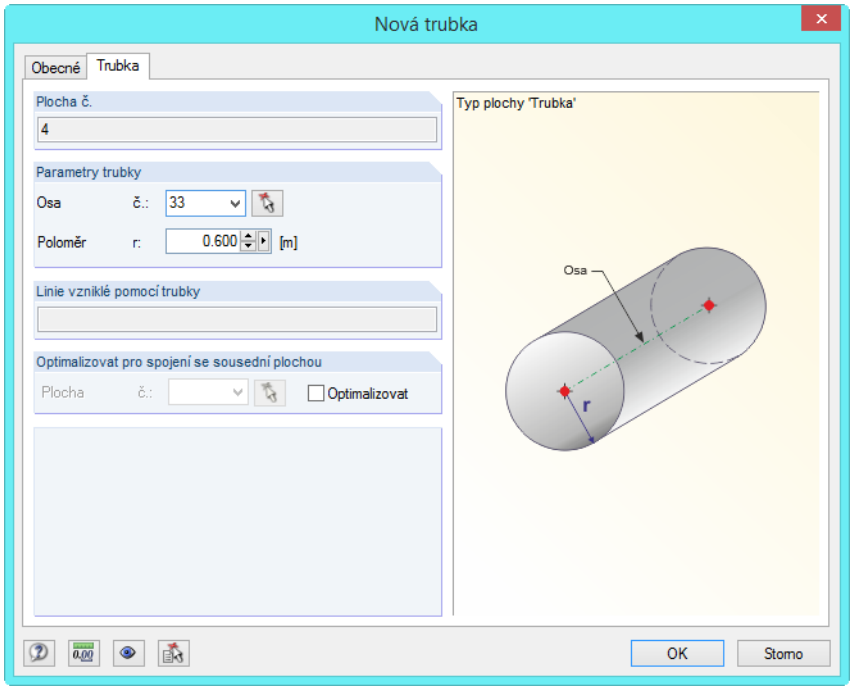
Obrázek 4.69 Dialog *Nová rotační plocha*, záložka *Rotační*

V záložce *Rotační* je třeba uvést *úhel rotace*. Poté stanovíme souřadnice dvou bodů *osy rotace* nebo je pomocí funkce zadáme myší v grafickém okně. Po kliknutí na [OK] určíme rotující okrajovou linii v grafickém okně.

Pro zadání rotačních ploch lze použít i vygenerované linie.

Trubka

Trubka vznikne tak, že se středová linie trubky otočí v určité vzdálenosti okolo osové linie.



Obrázek 4.70 Dialog *Nová trubka*, záložka *Trubka*

Dialog *Nová trubka* je rozdělen do dvou záložek. V záložce *Obecné* definujeme *materiál*, *tloušťku* a

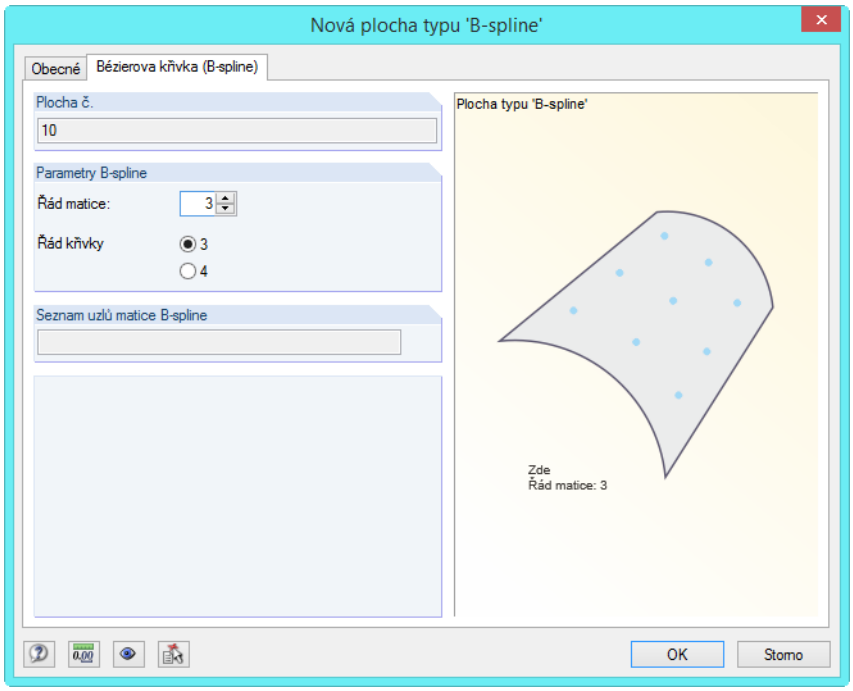
tuhost plochy, v záložce *Trubka* zadáme osu a *poloměr* trubky. Osu trubky lze stanovit i graficky.

Při vytváření trubky vzniknou dvě kružnice a polylinie rovnoběžná s osou trubky.

B-spline

B-spline plocha se zadává podobně jako výše popsaná čtyřúhelníková plocha (viz obr. 4.66). Na této ploše se pak navíc vytvoří pomocné uzly. Pokud upravíme jejich souřadnice, můžeme ovlivnit tvar plochy.

Dialog pro zadání tohoto typu ploch je rozdělen do dvou záložek. V záložce *Obecné* definujeme *materiál*, *tloušťku* a *tuhost* plochy. Proměnnou tloušťku plochy nelze zadat.



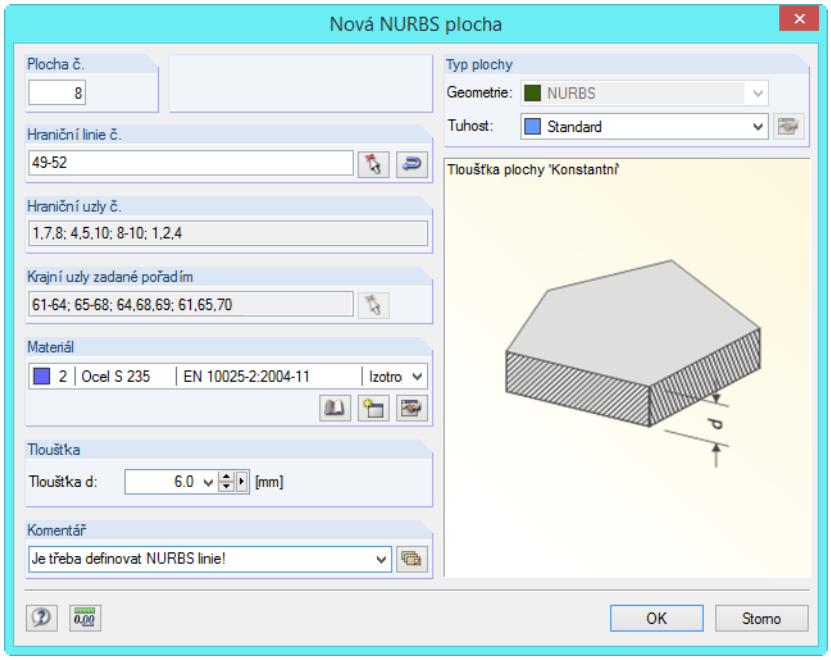
Obrázek 4.71 Dialog *Nová plocha typu B-spline, záložka Bézierova křivka (B-spline)*

V záložce *Bézierova křivka (B-spline)* uvedeme v poli *Řád matice* počet pomocných uzlů, které se mají vytvořit. Pokud zadáme např. „3“, vytvoří se rastr 3 x 3 pro pomocné body na ploše. Přepínač *Řád křivky* nám umožňuje určit, zda se pro výpočet plochy použije polynom 3. nebo 4. stupně.

NURBS plocha

NURBS plochy jsou tvořeny čtyřmi uzavřenými NURBS liniemi (viz kapitola 4.2). Umožňují modelovat téměř libovolné zborcené plochy.

Při zadání hraničních linií je třeba dávat pozor na to, aby každé dvě protilehlé NURBS linie byly vzájemně „kompatibilní“: pouze pokud vykazují stejný počet kontrolních bodů, jsou protilehlé NURBS linie stejného řádu.

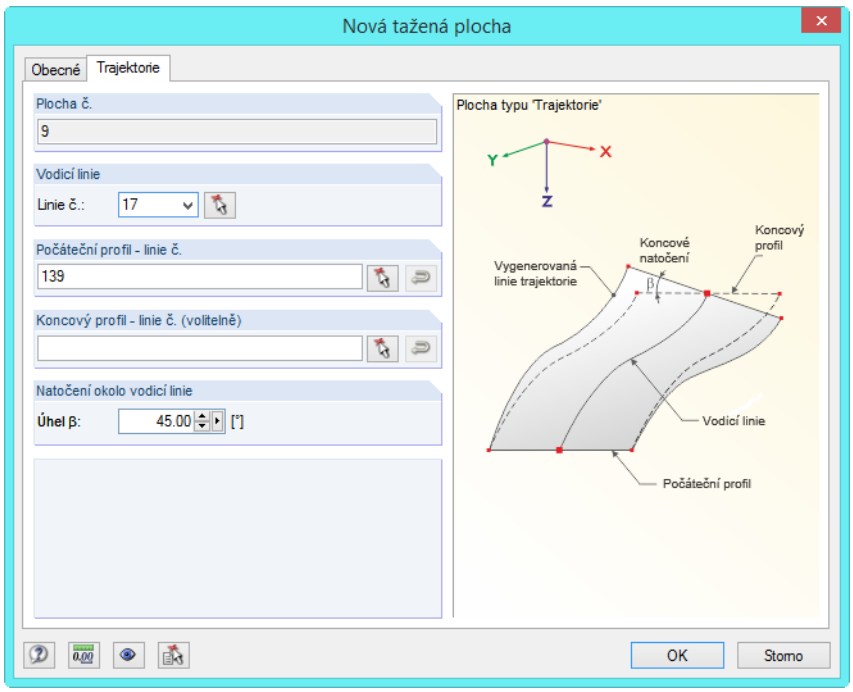


Obrázek 4.72 Dialog *Nová NURBS plocha*

Tažená plocha

V tomto případě se z počátečního profilu vytvoří prostorově zakřivená plocha, kterou lze vztáhnout k libovolné trajektorii.

Dialog *Nová tažená plocha* je rozdělen do dvou záložek. V záložce *Obecné* definujeme *materiál*, *tloušťku* a *tuhost* plochy.



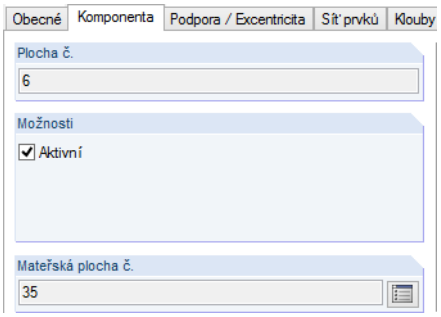
Obrázek 4.73 Dialog *Nová tažená plocha*, záložka *Trajektorie*

V záložce *Trajektorie* zadáme nejdříve číslo *vodicí linie*, k níž bude plocha vztažena. Trajektorii lze zadat i graficky. *Také počáteční profil* lze vybrat myší v grafickém okně. V určitých případech určíme druhou linii jako *koncový profil*. *Úhel β* udává natočení vytvořené rovnoběžné hraniční linie okolo trajektorie.

Komponenta

Komponenta se objeví jako sloupec v tabulce nebo jako položka v navigátoru, pokud byl vytvořen alespoň jeden průnik ploch (viz kapitola 4.22). Pro úpravu komponent máme k dispozici stejné funkce jako u „plnohodnotných“ ploch. Lze tak rychle měnit vlastnosti dílčích ploch, aniž by bylo nutné vytvořit nový průnik.

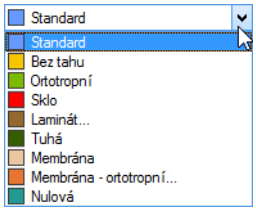
Mateřská plocha komponenty se uvádí v dialogu *Upravit plochu* v záložce *Komponenta*.



Obrázek 4.74 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Komponenta*

Tlačítkem [Přejít na mateřskou plochu...] lze vyvolat dialog pro úpravu mateřské plochy.

Typ plochy - tuhost



V seznamu v dialogu, resp. v tabulce se nám nabízí různé modely tuhosti, které umožňují vytvářet realistický model konstrukce.

Standard

Plocha přenáší momenty a membránové síly. Tento typ slouží k popisu obecného chování homogenního izotropního materiálu. Tuhostní vlastnosti plochy nejsou závislé na směru.

Bez tahu

Plocha tohoto typu přenáší momenty a membránové síly. Plošné prvky jsou neúčinné v případě membránových sil, které způsobují tah. (Příklad: otlačení)

Ortotropní

V obou směrech plochy existuje rozdílná tuhost (viz kapitola 4.12). Parametry lze definovat po kliknutí na tlačítko [Upravit parametry tuhosti...].

Další možností je přiřadit materiálu ortotropní vlastnosti (viz kapitola 4.3). Nebude tak nutné zadat příslušné parametry u každé jednotlivé plochy.

Sklo

Tento typ tuhosti se používá v přídavném modulu RF-GLASS. Plocha tohoto typu přenáší momenty a membránové síly. Vlastní výpočet napětí se neprovádí v RFEMu, nýbrž až v modulu RF-GLASS.

Laminát

Plocha tohoto typu přenáší momenty a membránové síly. Pro výpočet laminátového modelu potřebujeme přídavný modul RF-LAMINATE. V něm také probíhá vlastní výpočet napětí. V zobrazení výsledků programu RFEM nejsou obsažena žádná napětí.

Tuhá

Vytvoří se velmi tuhé plochy pro pevné spojení sousedících objektů.

Membrána

Tuhost plochy je rovnoměrná ve všech směrech. Přenášejí se pouze membránové síly.

Membrána - ortotropní

Přenášejí se pouze membránové síly. Tuhost je rozdílná v obou směrech plochy (kapitola 4.12) a lze ji definovat pomocí tlačítka [Upravit parametry tuhosti...].

Nulová

Nulová plocha se používá při zadávání těles (viz kapitola 4.5).

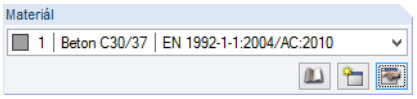
Hraniční linie č.

V tomto poli v dialogu, resp. ve sloupci v tabulce se zadávají hraniční linie plochy. Linie musí tvořit uzavřený sled.

V případě rotačních ploch se v tomto sloupci zobrazí parametry pro generování.

Materiál č.

Materiál můžeme vybrat ze seznamu dosud definovaných materiálů. Materiály jsou barevně rozlišeny, což usnadňuje výběr.



Obrázek 4.75 Tlačítka v sekci *Materiál*

V dialogu *Nová plocha* se pod seznamem materiálů nacházejí tři tlačítka, pomocí nichž lze otevřít databázi materiálů, definovat nový materiál nebo upravit již dříve zadaný materiál.

Materiály jsou podrobně popsány v kapitole 4.3.

Tloušťka

Typ

U ploch máme na výběr ze dvou typů tloušťky.

- Konstantní

  Plocha má stejnou tloušťku v každém svém bodě.

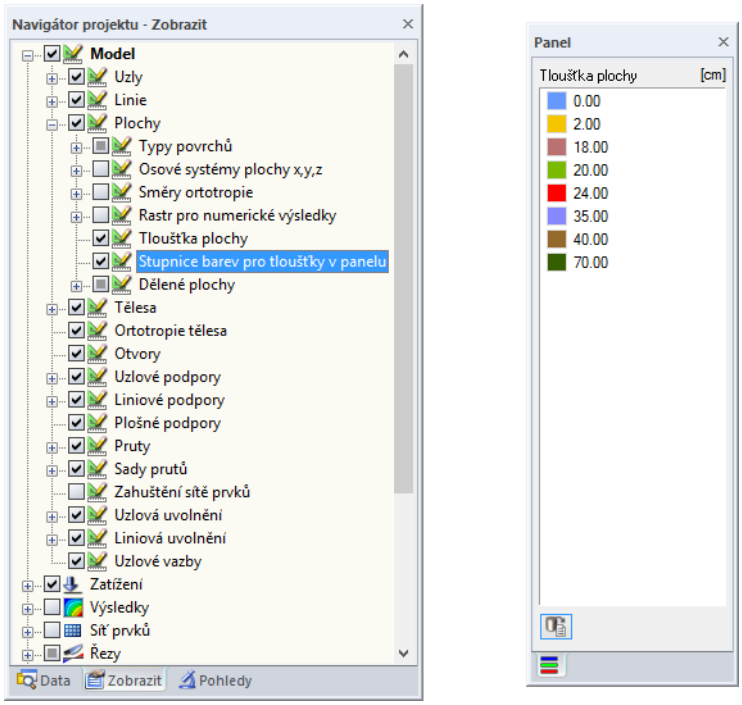
- Proměnná

  Tloušťka plochy je lineárně proměnná (viz kapitola 4.11). Parametry lze definovat po kliknutí na tlačítko [Upravit].

Tloušťka d

V tomto poli lze zadat tloušťku plochy d, pokud jsme nedefinovali proměnnou tloušťku nebo nulovou plochu. V případě ploch typu *Standard*, *Bez membránového tahu*, *Sklo* a *Membrána* se zadaná tloušťka zohlední při výpočtu vlastní tíhy a tuhosti, u ploch typu *Ortotropní* a *Membrána - ortotropní* se tato hodnota použije pouze pro výpočet vlastní tíhy; tuhost se tu definuje zvlášť.

Tloušťky ploch konstrukce lze v grafickém okně znázornit různými barvami. Stačí zaškrtnout v navigátoru *Zobrazit* v položce **Model → Plochy** políčko *Stupnice barev pro tloušťky v panelu* (viz následující obrázek).



Obrázek 4.76 Navigátor *Zobrazit*: Plochy → Stupnice barev pro tloušťky v panelu

Excentricita

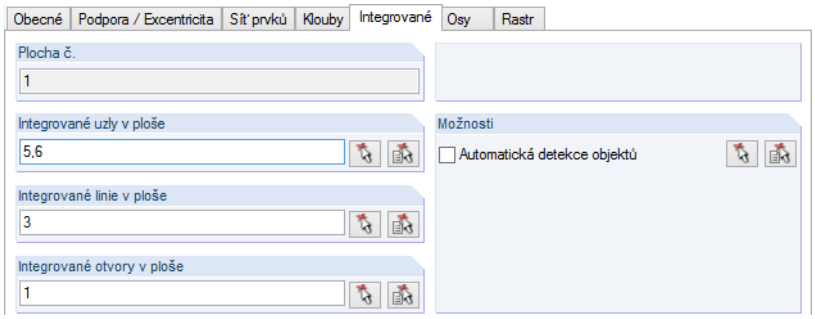
Tloušťka je vztažena k rovině ve středu plochy: rozdělí se do dvou stejných částí v obou směrech od této „těžištní roviny". Tloušťku můžeme zkontrolovat, pokud v navigátoru *Zobrazit* aktivujeme **Rendering → Model → Plný model → Plochy → Vyplněno včetně tloušťky** (viz obr. 4.118).

Pokud jsme zadali dvě plochy, které leží vedle sebe a mají rozdílnou tloušťku, lze definovat *excentricitu* e_z tak, aby obě plochy měly stejnou horní nebo dolní hranu.

Přídavné momenty v důsledku excentricity ovlivňují vnitřní síly na ploše.

Integrované objekty

RFEM zpravidla automaticky rozpozná všechny objekty, které leží na určité ploše, ale neslouží k vymezení plochy. Čísla těchto uzlů, linií a otvorů se zobrazí v příslušném sloupci v tabulce, resp. v poli v dialogu.



Obrázek 4.77 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Integrované*

Pokud nebude některý objekt rozpoznán, lze ho integrovat do plochy ručně tak, že na plochu dvakrát klikneme a v dialogu *Upravit plochu*. V záložce *Integrované* pak deaktivujeme volbu *Automatická detekce objektů*. Zpřístupní se tak políčka v levé části dialogu, kde můžeme zadat čísla příslušných objektů. Objekty lze vybrat pomocí funkce také v grafickém okně.

Plocha

Pro kontrolu se v tomto sloupci v tabulce zobrazí obsah jednotlivých ploch. Plocha otvorů se neuvažuje, proto představuje uvedená hodnota čistý obsah plochy.

Hmotnost

V předposledním sloupci se v tabulce zobrazí tíha jednotlivých ploch. Určí se na základě obsahu plochy a měrné tíhy materiálu.

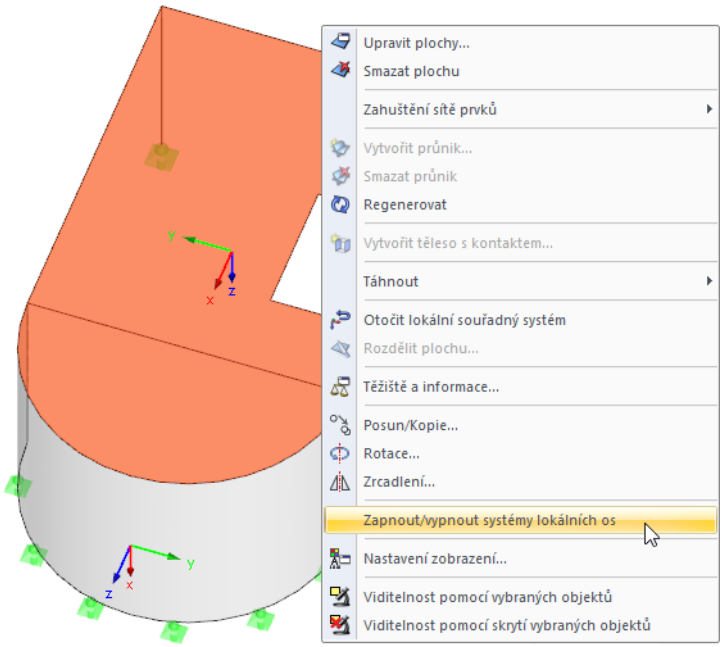
Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku, případně ji vybrat ze seznamu.

Osový systém

Každá plocha má lokální souřadný systém. Ten má význam pro zadání různých parametrů, např. ortotropie a vlastností podloží nebo směru plošných zatížení. Základní vnitřní síly jsou také vztaženy k příslušnému osovému systému plochy.

Souřadné systémy se zobrazí, jakmile se kurzor myši nachází nad některou plochou. Jejich zobrazení lze zapínat, resp. vypínat také z místní nabídky plochy obr. 4.76.



Obrázek 4.78 Místní nabídka plochy

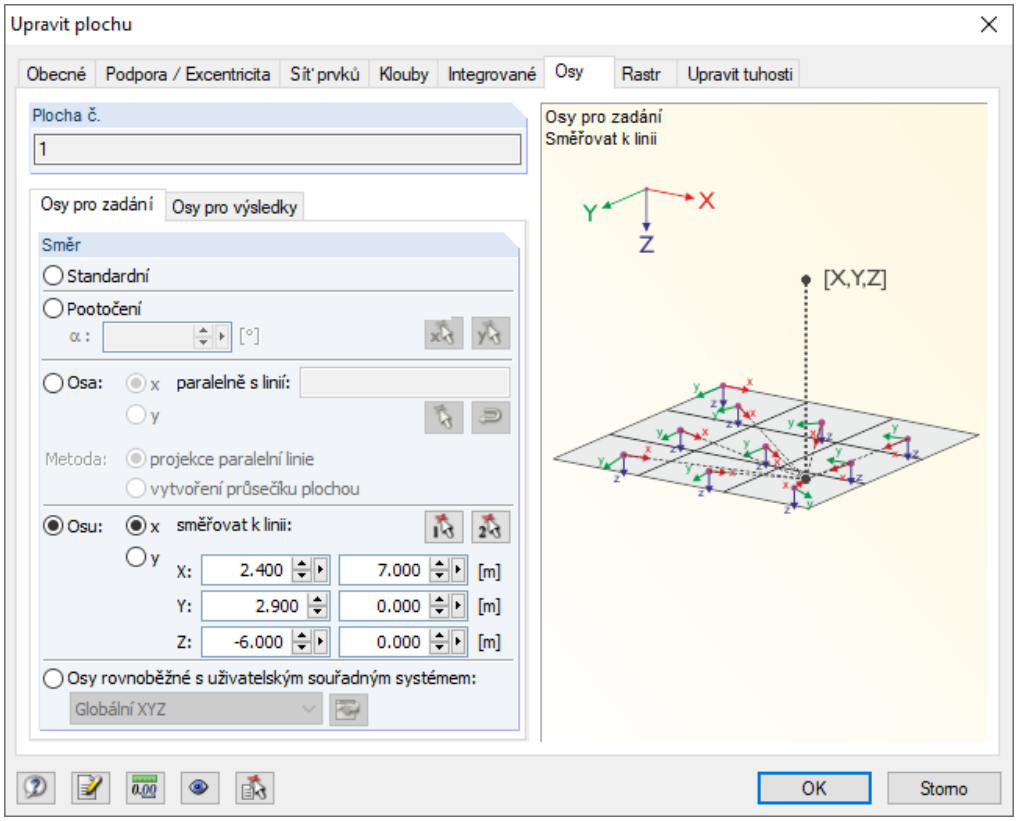
V případě potřeby lze lokální osy plochy upravovat:

- Z místní nabídky zvolením příkazu *Otočit lokální souřadný systém*

  Orientace lokální osy z se otočí, ostatní osy se pak upraví podle pravidla tří prstů pravé ruky. Podloží tak bude působit na jiné straně plochy nebo se při návrhu výztuže změní strana plochy u „horní“ a „spodní“ vrstvy výztuže.

- Z dialogu *Upravit plochu*

Dialog *Upravit plochu* otevřeme dvojím kliknutím na příslušnou plochu. V záložce Osy lze upravit lokální osy plochy jak pro *zadání* tak pro *výsledky*.



Obrázek 4.79 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Osy*

V obou podzáložkách můžete směrovat lokální osu x nebo y *paralelně* s linií, k průsečíku linie a plochy (*směřovat k linii*, pro radiální osový systém), nebo směrovat osy *uživatelského souřadného systému* (viz kapitola 11.3.4).

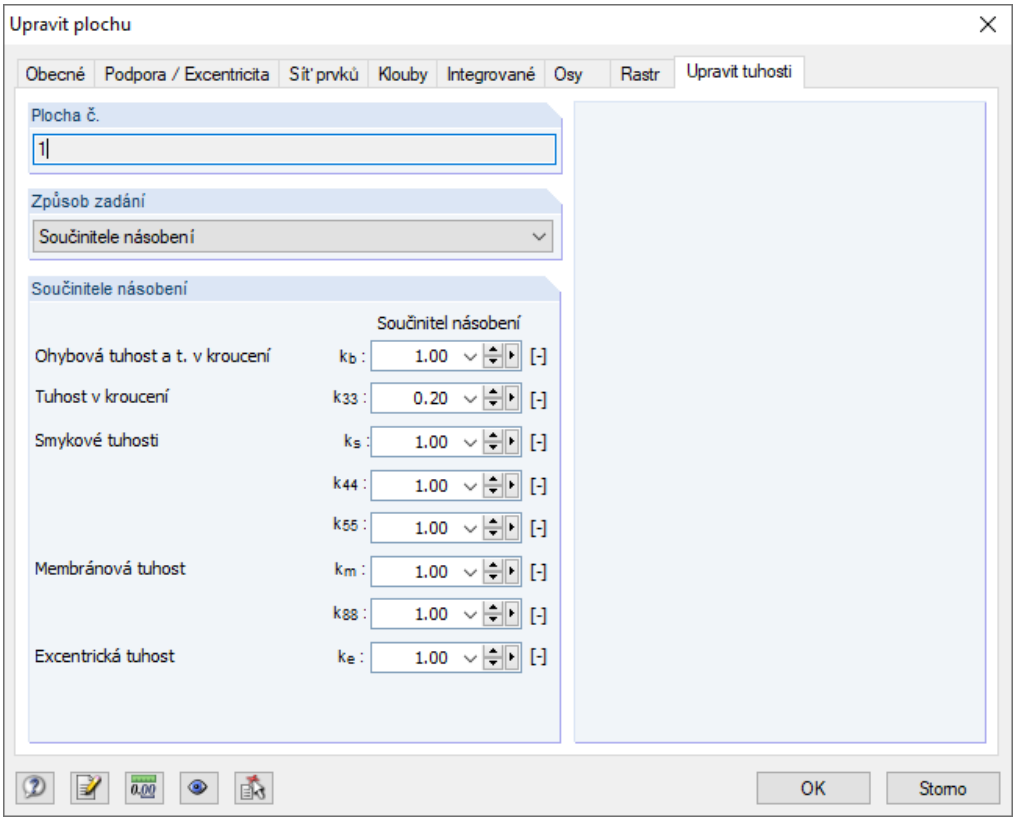
Rastr

Každá plocha je potažena rastrem, který se používá pro export výsledků v tabulkách. Tento rastr je nezávislý na síti konečných prvků.

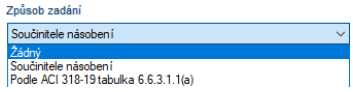
Bližší informace o plošném rastru a o možnostech úpravy jeho bodů naleznete v kapitole 8.13 .

Upravit tuhost

U typů ploch *Standard* a *Bez tahu* je k dispozici záložka *Upravit tuhost*. Zde je možné ovlivnit tuhost plochy.

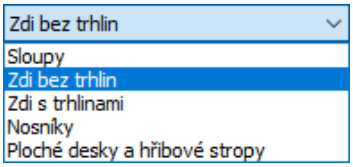


Obrázek 4.80 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Upravit tuhost*



Typ zadání úpravy tuhosti je možné vybrat ze seznamu. Pokud je použita možnost úpravy tuhosti *Žádná*, jsou do výpočtu zahrnuty všechny složky tuhosti s faktorem 1,00.

Pomocí možnosti *Součinitele násobení* je možné uživatelsky definovat součinitele tuhosti k pro torzní, ohybovou, smykovou, membránovou a excentrickou tuhost plochy. Členy tuhosti plochy jsou uvedené v rovnici 4.20.



Typ zadání *Podle ACI 318-14 Tabulka 6.6.3.1.1(a)* nastavuje redukční součinitele podle americké normy pro železobetonové konstrukce, které jsou platné podle *Typu dílce*. Seznam nabízí různé možnosti pro zadání příslušných součinitelů například pro stěny nebo desky.

4.5 Tělesa

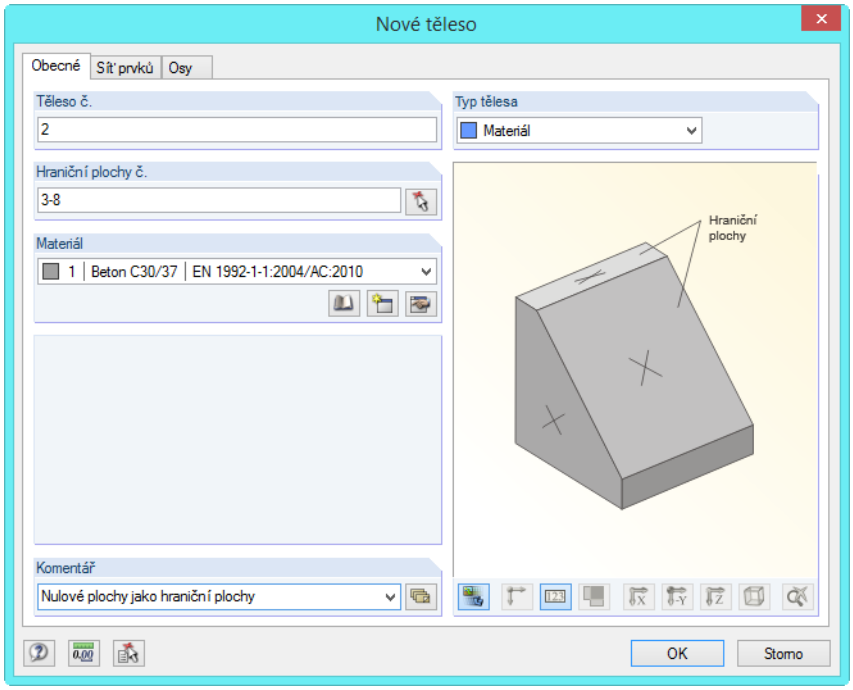
Obecný popis

Tělesa v RFEMu jsou prostorové útvary, v nichž jsou při generování sítě vytvářeny 3D konečné prvky. Pomocí těles lze modelovat také ortotropní vlastnosti a mohou být jimi řešeny problémy dotyku a vzájemného působení dvou ploch. Tělesům můžeme dále přiřadit vlastnosti plynů.

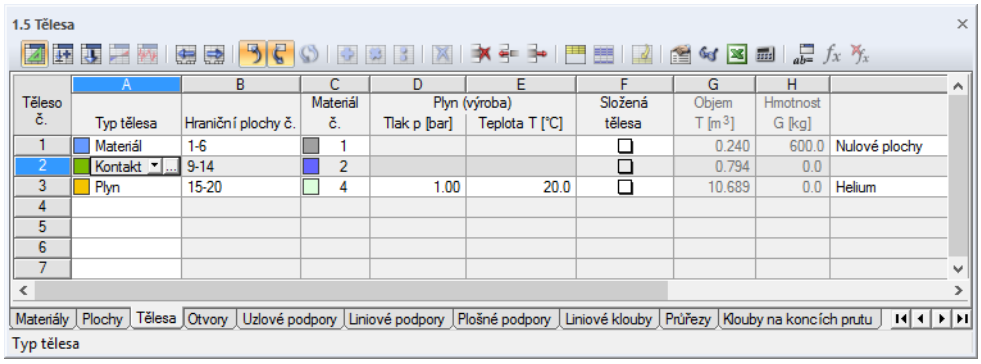
Obvykle je typ tuhosti hraničních ploch těles *Nulová* (viz kapitola 4.4). Výjimku tvoří právě řešení kontaktu mezi dvěma plochami, v tomto případě musí být obě plochy, jejichž kontakt řešíme, zadány s příslušnou tuhostí.

Tělesa lze rychle vytvořit z ploch v grafickém okně. Generující funkce popisujeme v kapitolách 11.7.1.3 a 11.7.1.4.

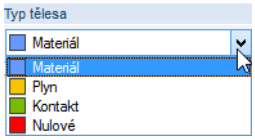
Je třeba upozornit na to, že v případě těles dosud nebyl do programu implementován návrh výztuže.



Obrázek 4.81 Dialog *Nové těleso*



Obrázek 4.82 Tabulka 1.5 *Tělesa*



Typ tělesa

V seznamu v dialogu, resp. v tabulce se nám nabízí různé typy tuhosti, které umožňují vytvářet realistický model konstrukce. Každému typu je přiřazena určitá barva; v modelu ji lze použít k rozlišení těles. Zobrazení lze nastavit v navigátoru *Zobrazit* v položce *Barvy v grafice podle* (viz kapitola 11.1.9).

Materiál

Standardní model představuje 3D objekt se specifickými vlastnostmi homogenního izotropního materiálu. Hraniční plochy je proto třeba definovat s tuhostí typu *Nulová*.

Pokud těleso vykazuje ortotropní vlastnosti, odvodí se tuhosti také z materiálových charakteristik. Pružné tuhosti trojrozměrného materiálového modelu je třeba zadat v dialogu *Materiálový model - ortotropní - 3D* (viz obr. 4.49).

Plyn

Tento typ umožňuje modelovat tělesa, která vykazují vlastnosti ideálního plynu. Parametry plynu se zadávají v samostatné záložce dialogu (viz obr. 4.84).

Kontakt

Typ tělesa *Kontakt* je vhodný pro řešení problému dotyku dvou ploch. Parametry se zadávají v samostatné záložce dialogu (viz obr. 4.83).

Nulová

Nulové těleso ani jeho zatížení se při výpočtu neuvažují. Lze tak například zjistit, jak se změní chování konstrukce, pokud nebude určité těleso účinkovat. Těleso není nutné mazat, zatížení zůstávají rovněž zachována.

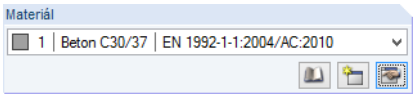
Hraniční plochy č.

Těleso se zadává pomocí hraničních ploch, které musí vymezovat uzavřený prostor. Čísla ploch vyplníme ručně do příslušného políčka nebo plochy vybereme pomocí funkce v grafickém okně.

Pokud jsme v dialogu *Nové těleso* zadali všechny hraniční plochy, můžeme zapnout přehled pomocí tlačítka [Zobrazit obrázek nebo renderování] pod grafickým zobrazením.

Materiál č.

Materiál můžeme vybrat ze seznamu dosud definovaných materiálů. Materiály jsou barevně rozlišeny, což usnadňuje výběr.



Obrázek 4.83 Tlačítka v sekci *Materiál*

V dialogu *Nové těleso* se pod seznamem materiálů nacházejí tři tlačítka, pomocí nichž lze otevřít databázi materiálů, definovat nový materiál nebo upravit již dříve zadaný materiál.

Materiály jsou podrobně popsány v kapitole 4.3.

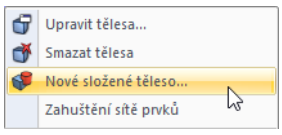
Složená tělesa

Tento sloupec se v tabulce zobrazí v případě, že jsme vytvořili alespoň jeden průnik těles.

Průniky můžeme vytvářet nejen v případě ploch, ale také těles. RFEM stanoví průsečnice prostupujících se těles a vytvoří 3D objekty odpovídající součtu, rozdílu nebo čistému průniku těles. Ze dvou původních objektů tak vzniká nové těleso.

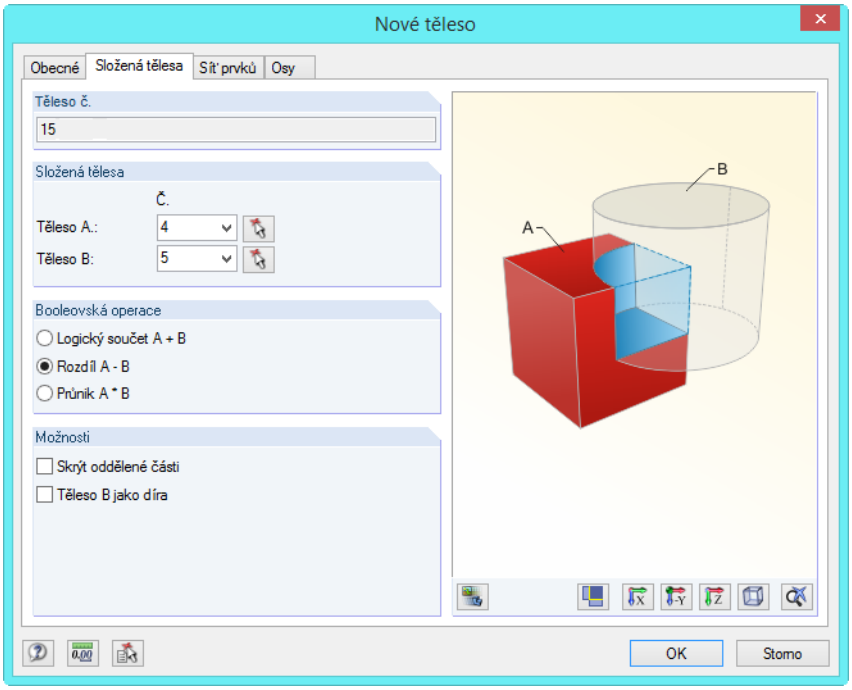
Stanovení tvaru průniku je výpočetně i časově náročné. Při každé úpravě modelu je třeba znovu přepočítat geometrii.

Vytvoření průniku



Průniky těles můžeme vytvořit rychle v grafickém okně: vybereme dvě tělesa oknem nebo několikanásobným výběrem myší se stisknutou klávesou [Ctrl]. Na jeden z daných objektů následně klikneme pravým tlačítkem myši, a otevřeme tak místní nabídku. V ní vybereme položku **Těleso → Nové složené těleso...**.

Zobrazí se dialog *Nové těleso*. V záložce *Složená tělesa* lze zadat potřebné údaje.



Obrázek 4.84 Dialog *Nové těleso*, záložka *Složená tělesa*

Čísla obou vybraných těles se vyplní v příslušných polích. Lze je případně změnit tak, že vybereme jiná čísla ze seznamu nebo označíme požadovaná tělesa pomocí funkce v grafickém okně.

Booleovská operace

Tělesa lze složit do nového objektu třemi způsoby:

- *Logický součet* : Tělesa A a B se sloučí do jedné jednotky.
- Rozdíl: Těleso B je vyříznuto z tělesa A.
- *Průnik*: Stanoví se společná oblast těles A a B.

Grafické schéma po pravé straně znázorňuje jednotlivé principy skládání těles. Tlačítkem [Zobrazit obrázek nebo renderování] můžeme přepínat mezi schématem a zobrazením modelu.

V sekci *Možnosti* lze nastavit, jak se má s oddělenými částmi zacházet v grafickém okně. V případě, že zvolíme rozdíl těles, umožňuje volba *Těleso B jako díra* modelovat vrtané otvory.

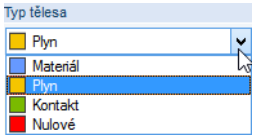
Po kliknutí na [OK] se složené těleso vytvoří. Vzniknou při tom průniky ploch (viz kapitola 4.22) s aktivními nebo neaktivními komponentami (viz kapitola 4.4). Typ původního tělesa se současně změní na typ *Nulové*.

Objem T

V tomto sloupci v tabulce se zobrazí objem jednotlivých těles.

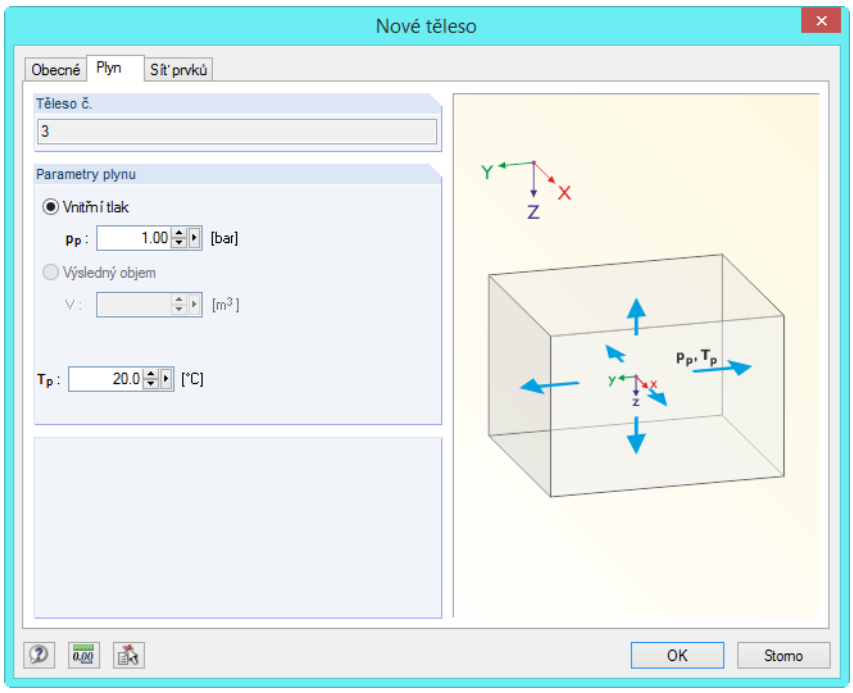
Hmotnost G

Tíha těles se zobrazí v předposledním sloupci v tabulce. Určí se na základě objemu tělesa a měrné tíhy materiálu.



Plyn

Tato záložka je k dispozici, pokud je v záložce *Obecné* vybrán typ tělesa *Plyn*.



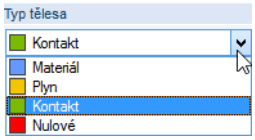
Obrázek 4.85 Dialog *Nové těleso*, záložka *Plyn*

V této záložce je nutno zadat *Parametry plynu* vnitřní tlak p_p a teplota T_p.

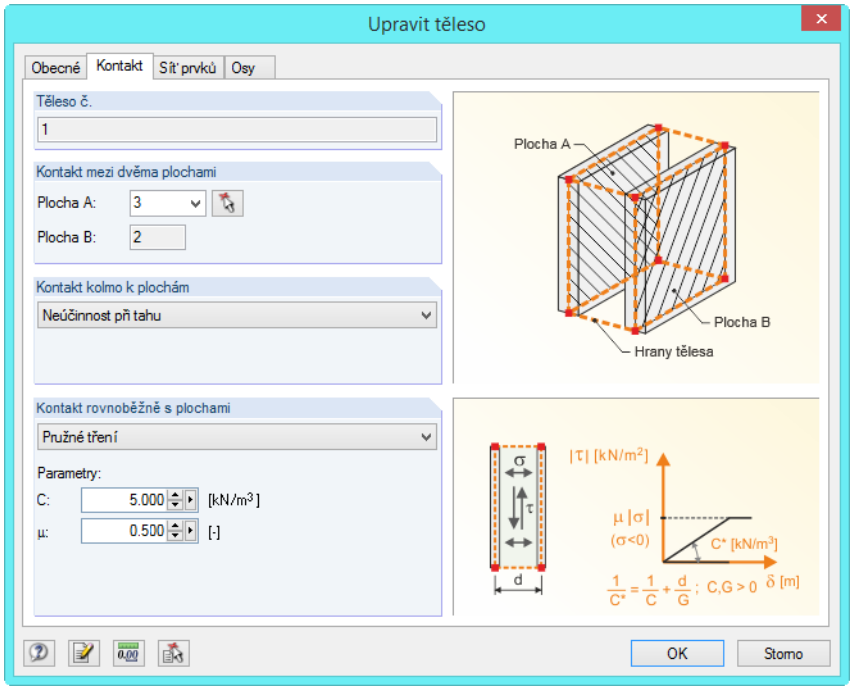
Vakuum lze modelovat tak, že zadáme hodnotu p_p mezi 0 a 1 bar. Na webové stránce https://cs.wikipedia.org/wiki/Vakuum se uvádí různé stupně vakua.

Následující odborný článek poskytuje základní informace o modelování ideálního plynu: https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001507

Kontakt



Tato záložka je v dialogu k dispozici, pokud jsme zvolili v záložce *Obecné* typ tělesa *Kontakt*.

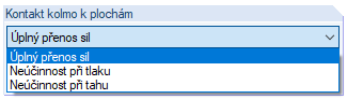


Obrázek 4.86 Dialog *Nové těleso*, záložka *Kontakt*

U kontaktních těles je třeba dbát následujících zásad:

- Obě kontaktní plochy musí být totožné a rovnoběžné. Doporučujeme vytvořit druhou kontaktní plochu kopírováním.
- Každou boční spojovací plochu mezi kontaktními plochami je třeba zadat jako jednoduchou plochu ohraničenou čtyřmi liniemi. Rozdělit spojovací plochu například v poloviční výšce na dvě dílčí plochy by tak bylo nepřípustné.
- Při modelování zakřivených ploch je třeba kontaktní těleso rozložit do několika jednoduchých částí.
- RFEM generuje mezi konečnými prvky kontaktních ploch celistvé 3D prvky (rovnoběžné „sloupy“), a vytváří tak přímé spojení. Rozdělení plochy na konečné prvky je proto třeba uzpůsobit vzdálenosti mezi kontaktními plochami.
- Polygonová tělesa se upřednostňují před trojúhelníkovými.

RFEM se pokusí najít kontaktní plochy automaticky. *Plochu A* lze ovšem vybrat i ze seznamu v sekci *Kontakt mezi dvěma plochami* nebo ji lze určit pomocí funkce v grafickém okně. Jako *plocha B* se automaticky určí plocha tělesa, která je rovnoběžná s první plochou.

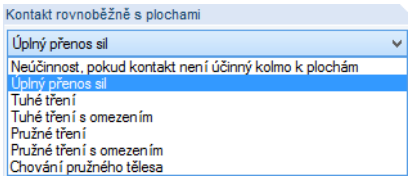


V sekci *Kontakt kolmo k plochám* lze vybírat ze tří možností:

- Úplný přenos sil
- Neúčinnost při tlaku
- Neúčinnost při tahu

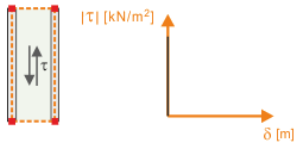
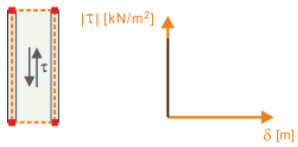
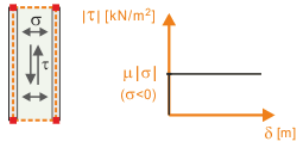
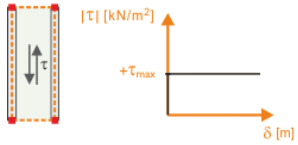
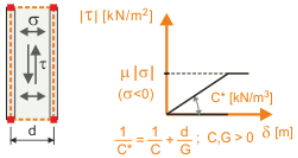
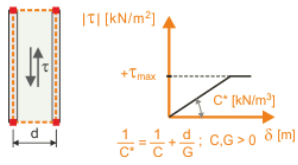
Kritéria *neúčinnosti při tlaku* a *neúčinnosti při tahu* se zohlední při výpočtu na základě přetvoření uzlů sítě KP daného tělesa.

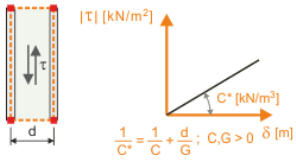
Kontakt rovnoběžně s plochami lze zadat nezávisle na vlastnostech kontaktu kolmo k oběma kontaktním plochám.



Obrázek 4.87 Sekce *Kontakt rovnoběžně s plochami*

Kritéria kontaktu rovnoběžně s plochami jsou definována následovně:

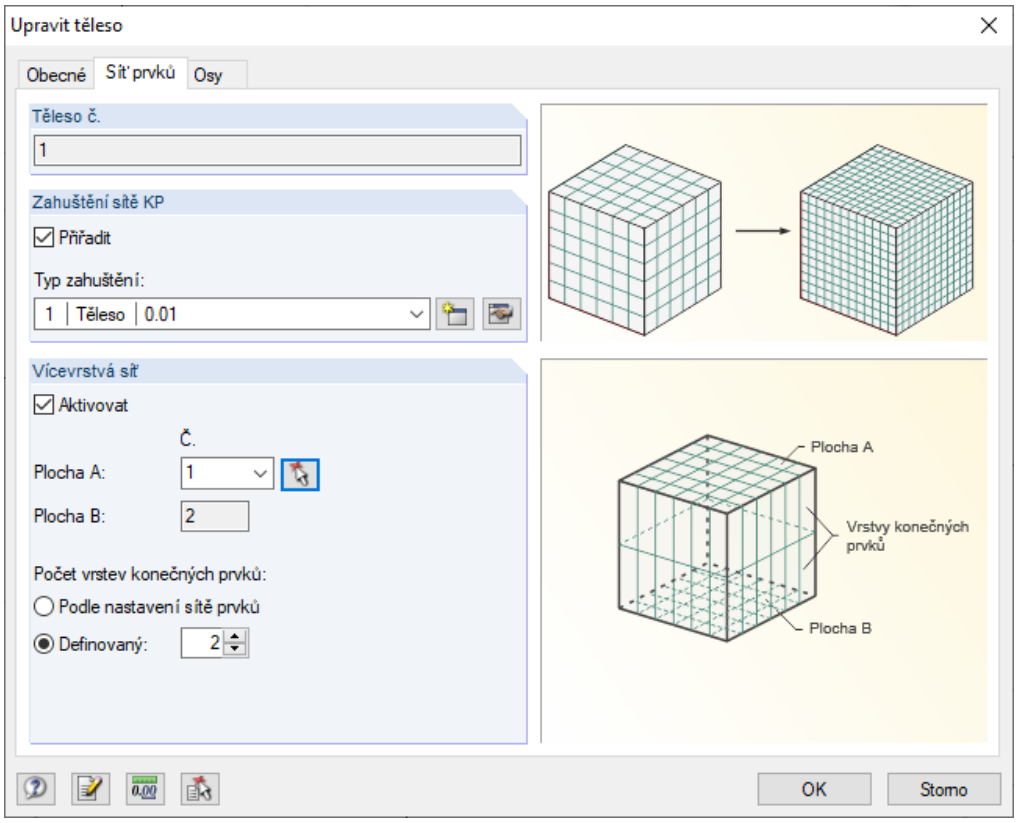
Kontakt	**Diagram**	**Popis**
Neúčinnost, pokud kontakt kolmo k plochám nepůsobí		Pokud kontaktní těleso není účinné v tahu nebo v tlaku, nepřenášejí se žádné smykové síly.
Úplný přenos sil		Přenášejí se všechny síly.
Tuhé tření		Tuhé tření má okamžitou účinnost. Smykové napětí závisí na normálovém napětí. Je třeba zadat součinitel tření μ.
Tuhé tření s omezením		Po dosažení maximálního smykového napětí τ_{max} se napětí již dále nezvyšuje zvětšující se deformací, ale zůstává konstantní.
Pružné tření		V podstatě se nejedná o „tření“, ale o čistě elastické chování. Přetvoření roste úměrně s posouvající silou. Přetvoření nemá žádné omezení. Jako parametr se zadává tuhost C (tzn. síla, která je zapotřebí k posunu plochy o velikosti m^2 o 1 m) a součinitel tření μ.
Pružné tření s omezením		Na rozdíl od pružného tření maximální smykové napětí nezávisí na normálovém napětí, ale toto napětí je jednoduše definováno svou hodnotou. Jako parametry se zadávají tuhost C a smykové napětí τ_{max}.

Chování pružného tělesa		Vlastnosti pružného přenosu smyku je možné popsat zadáním tuhosti pružiny C.

Tabulka 4.2 Vlastnosti kontaktu rovnoběžně s kontaktními plochami

Síť konečných prvků

Záložka *Síť konečných prvků* umožňuje nastavit pro každé těleso specifická kritéria týkající se sítě konečných prvků.



Obrázek 4.88 Dialog *Upravit těleso*, záložka *Síť konečných prvků*

Aby bylo možné u tělesa stanovit *Zahuštění sítě konečných prvků*, je nutné zaškrtnout zaškrtávací políčko. V seznamu lze vybrat typ zahuštění sítě. U těles je možné zadat zahuštění sítě stanovením délky prvků (viz kapitola 4.23).

Volba *Vrstevnatá síť* umožňuje přímé zadání počtu vrstev prvků mezi dvěma protilehlými plochami. *Plochu A* je nutno vybrat ze seznamu nebo ji určit graficky pomocí ; rovnoběžná *Plocha B* bude zanesena automaticky. Počet vrstev pak lze určit pomocí možnosti *Definovaný*.

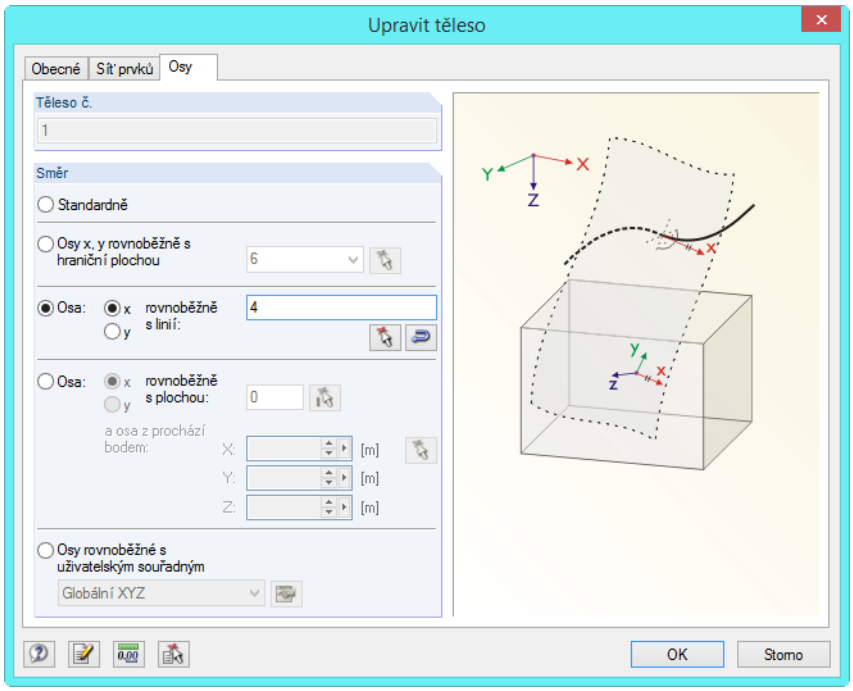
Následující článek přibližuje příklad vrstevnaté sítě KP pro těleso:
https://www.dlubal.cz/de/podpora-a-školení/podpora/databáze-znalostí/000738

Osový systém

Každé těleso má lokální souřadný systém. Tento osový systém je důležitý např. pro zadání vlastností ortotropie. Napětí a přetvoření jsou také vztažena k příslušnému osovému systému tělesa.

Souřadné systémy se zobrazí, jakmile se kurzor myši nachází nad některým tělesem. Jejich zobrazení lze zapínat, resp. vypínat také z místní nabídky tělesa.

Souřadný systém tělesa lze upravovat v dialogu *Upravit těleso*. Dialog otevřeme dvojím kliknutím na těleso. V záložce Osy lze nastavit uspořádání lokálních os.



Obrázek 4.89 Dialog *Upravit těleso*, záložka Osy

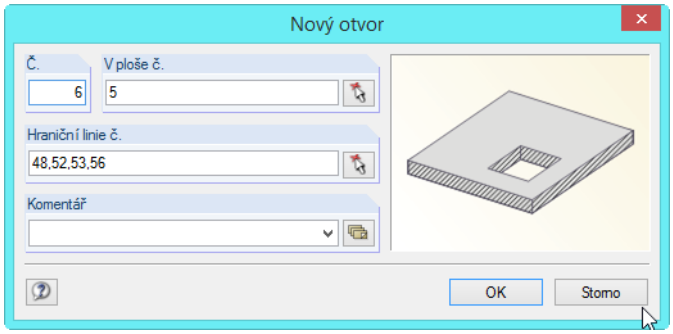
Lokální osy tělesa x nebo y mohou být rovnoběžné s osami *hraniční plochy*, s určitou *linií*, *plochou* nebo mohou být uspořádány ve směru *uživatelského souřadného systému* (viz kapitola 11.3.4).

4.6 Otvory

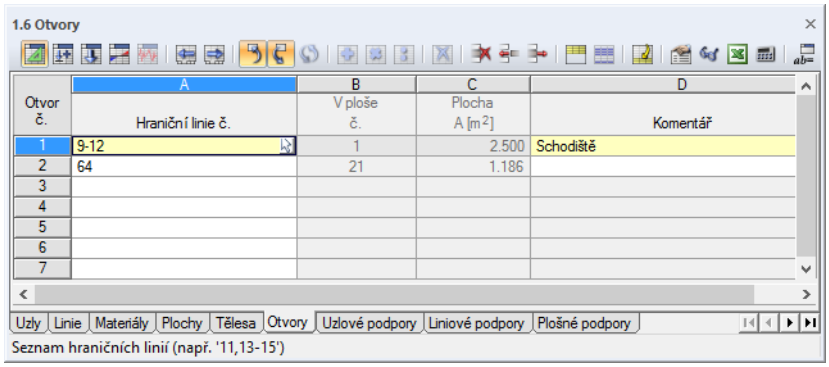
Obecný popis

Pomocí otvorů lze modelovat oblasti na plochách, kde nebudou generovány žádné prvky sítě konečných prvků. Pokud je plocha zatížena plošným zatížením, toto zatížení v místě otvoru nepůsobí.

Otvory lze zadávat do ploch graficky. RFEM vytvoří sled linií pro různé typy otvoru a integruje ho do plochy.



Obrázek 4.90 Dialog *Nový otvor*



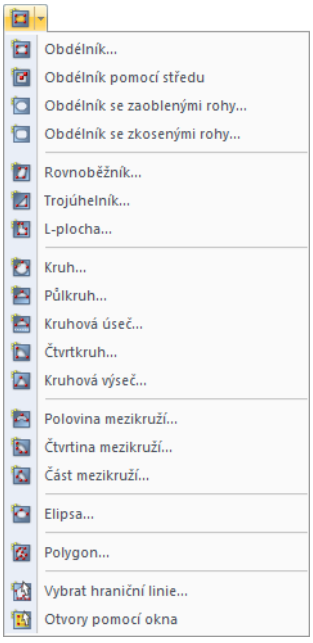
Obrázek 4.91 Tabulka 1.6 *Otvory*

Hraniční linie č.

V tomto poli zadáme linie, kterými je otvor vymezen. Tyto linie musí tvořit uzavřený sled. Otvory lze definovat i na okraji plochy.

Při grafickém zadání klikneme myší postupně na jednotlivé hraniční linie otvoru. Program otvor automaticky rozpozná, jakmile zadáme dostatečný počet hraničních linií.

Pomocí funkce *Vybrat hraniční linie* v rozbalovacím tlačítku pro vytvoření otvoru lze pro otvor vybrat již zadané linie v grafickém okně. Linie musí tvořit uzavřený sled.



Otvory lze zadávat do ploch v pracovní rovině také přímo pomocí vlevo znázorněných tlačítek. Při definování otvorů se vychází v poněkud omezeném rozsahu z typů linií, které se popisují v kapitole 4.2 (např. kružnice, elipsa). Po určení obrysových linií se otvory okamžitě vytvoří. Proto není nutné definovat linie otvorů předem.

V ploše č.

V případě rovinných ploch proběhne integrace otvoru do plochy automaticky. Pokud se jedná o zakřivenou plochu, je třeba do ní otvor integrovat ručně. V dialogu *Upravit plochu* v záložce *Integrované* zadáme číslo otvoru do příslušného pole (viz obr. 4.75).

Plocha

V tomto sloupci v tabulce se zobrazí obsah plochy otvoru.

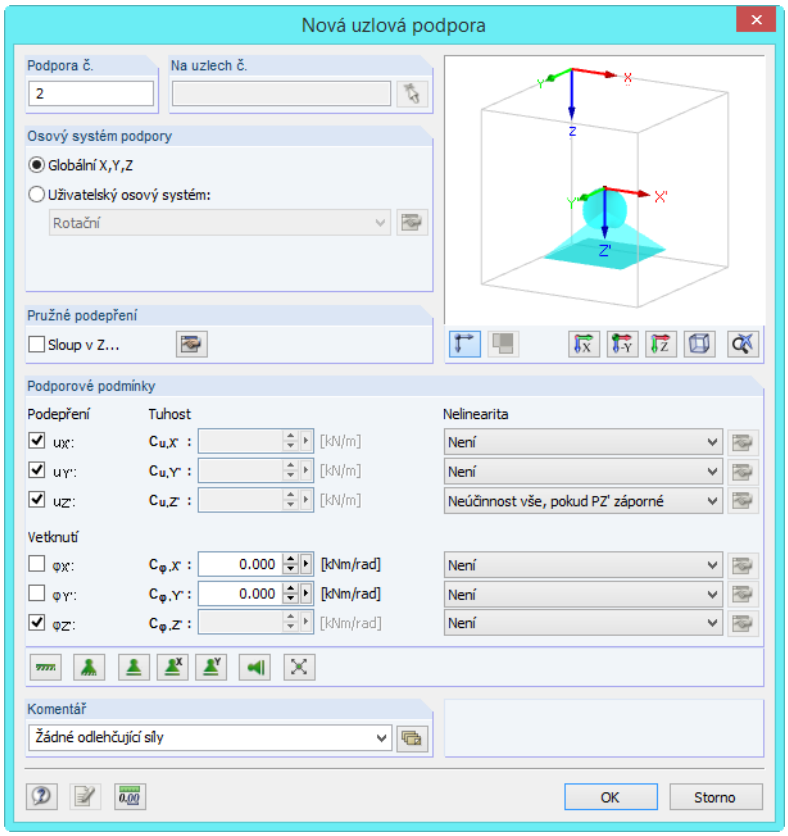
4.7 Uzlové podpory

Obecný popis

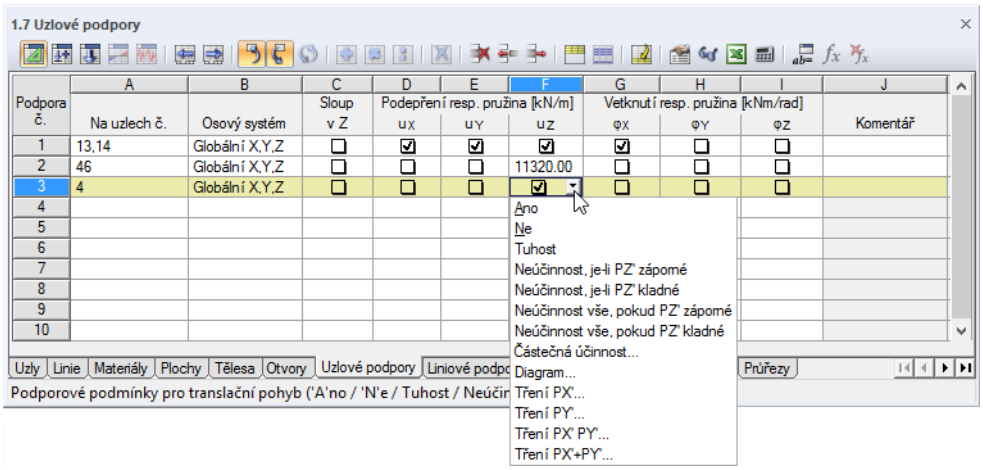
Z každé nosné konstrukce se zatížení přenášejí přes podpory do základů. Bez zadání podpory by byly všechny uzly volné a neomezené v posunu a otáčení. Pokud má určitý uzel působit jako podpora, musí se mu odebrat alespoň jeden stupeň volnosti nebo je třeba omezit ho pružinou. Dále musí být daný uzel součástí některé plochy nebo prutu. Přitom je třeba brát v úvahu okrajové podmínky prutů, a zabránit tak vzniku dvojitých kloubů na podepřených uzlech, kdy uzlová síla v určitém směru není přenášena ani na jeden z připojených prutů.

Uzlové podpory jsou předpokladem pro zadání vynucených deformací.

Uzlové podpory mohou mít nelineární vlastnosti, tzn. mohou být neúčinné v tlaku nebo tahu, a lze je definovat pomocí pracovních diagramů nebo diagramů tuhosti.

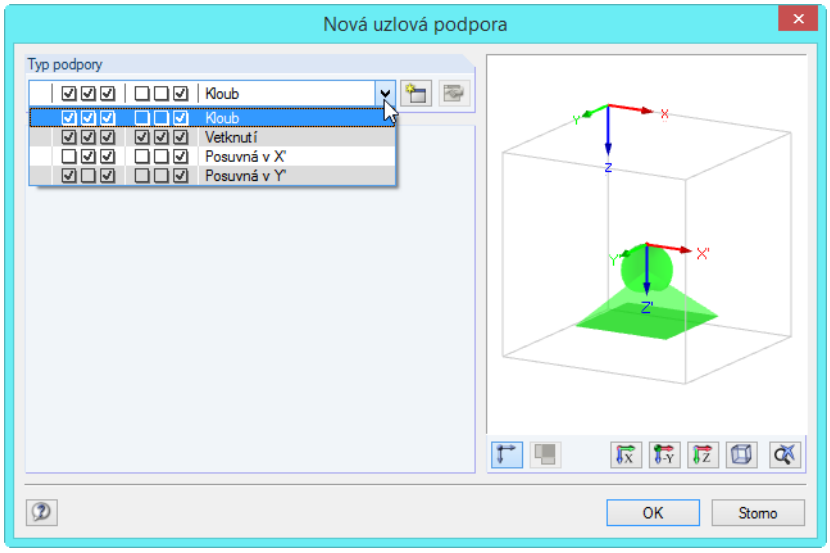


Obrázek 4.92 Dialog *Nová uzlová podpora*



Obrázek 4.93 Tabulka 1.7 *Uzlové podpory*

Z hlavní nabídky **Vložit** ⟶ **Údaje o modelu** ⟶ **Uzlové podpory** ⟶ **Graficky...** nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů vyvoláme následující dialog:



Obrázek 4.94 Dialog *Nová uzlová podpora*

V seznamu máme na výběr z následujících předem definovaných typů podpor :

- Kloub (AAA NNA)
- Vetknutí (AAA AAA)
- Posuvná v X' (NAA NNA)
- Posuvná v Y' (ANA NNA)

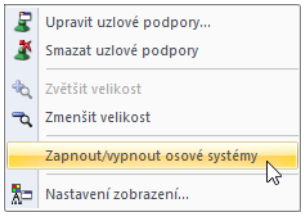
Po zvolení typu podpory v seznamu a kliknutí na tlačítko [OK] lze podporu graficky přiřadit vybraným uzlům.

Pomocí tlačítka [Nový typ uzlové podpory...] může uživatel vytvářet další typy podpor. Po kliknutí na tlačítko se zobrazí dialog, který vidíme na obr. 4.90.

Na uzlech č.

Bodové podpory lze zadat pouze na uzlech. Číslo požadovaného uzlu se vloží do příslušného sloupce v tabulce nebo do vstupního pole v dialogu, popř. uzel lze vybrat i graficky.

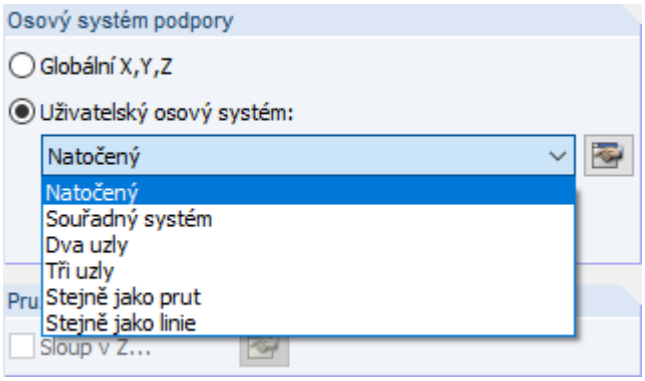
Osový systém



Místní nabídka uzlové podpory

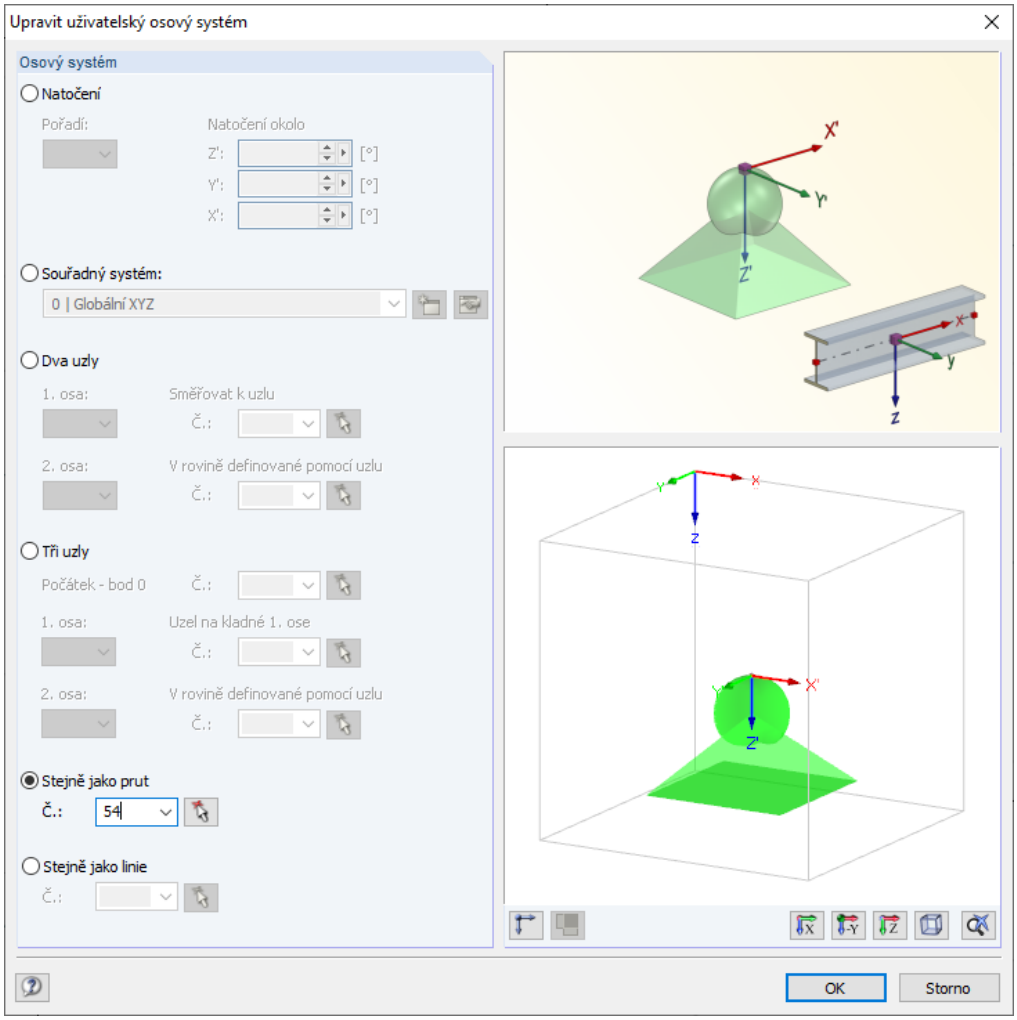
Každá uzlová podpora má lokální souřadný systém, jehož osy jsou obvykle souběžné s globálními osami X, Y a Z. Příkazem z místní nabídky uzlové podpory lze zobrazení souřadných systémů podpory aktivovat.

Volbou *Uživatelský osový systém* lze lokální souřadný systém podpory natočit. V seznamu jsou pak na výběr různé možnosti.



Obrázek 4.95 Osové systémy pro podporu

Podporu lze natáčet kolem os podpory X', Y' a Z' nebo ji lze určit pomocí systému souřadnic definovaného uživatelem či pomocí konkrétních uzlů. Kromě toho lze podporu umístit podle polohy prutu nebo linie. Objekty lze stanovit také graficky v pracovním okně pomocí .



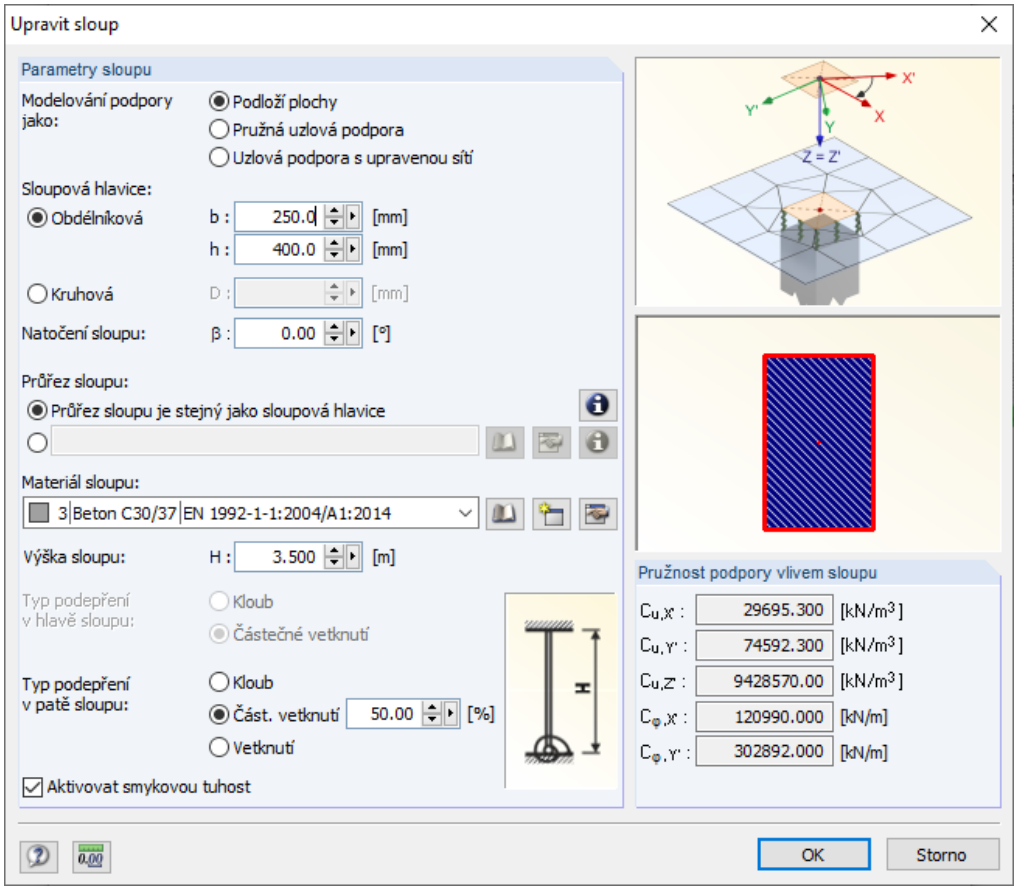
Obrázek 4.96 Dialog *Upravit uživatelský osový systém*

Na obrázku v dialogu se natočení podpory dynamicky zobrazí.

Po výpočtu lze reakce natočené uzlové podpory vztáhnout jak ke globálnímu tak k lokálnímu souřadnému systému.

Sloup v Z

Reálné podmínky podepření bývají často pomocí uzlové podpory interpretovány pouze velmi přibližně. Zejména má-li reálná podpora zpravidla nezanedbatelné geometrické rozměry. K dosažení lepšího přiblížení skutečnosti lze v RFEMu použít tzv. sloupové makroelementy. Program vypočítá tuhost a upraví podmínky podepření. Zároveň se tak lze vyhnout singularitám, které by pevné podepření v jediném uzlu sítě konečných prvků způsobilo.



Obrázek 4.97 Dialog *Upravit sloup*

Modelování sloupu je možné provést třemi různými způsoby, které jsou symbolizovány vždy v daném grafickém okně dialogu:

- U modelu *Podloží plochy* je interně vytvořena plocha o rozměrech sloupu a pružně podepřena. Koeficienty pro uložení jsou spočteny z geometrických a materiálových vlastností sloupu.
- Model *Pružná uzlová podpora*. Při této volbě je rovněž vytvořena dílčí plocha. Tato plocha je ale bodově podepřena. Bodová podpora je definována pružným podepřením s koeficienty pro uložení spočtenými z geometrických a materiálových vlastností sloupu. Pro zohlednění vyšší ohybové tuhosti desky v oblasti sloupu je interně tloušťka desky zdvojnásobena.
- Model *Uzlová podpora s upravenou sítí* odpovídá pružné uzlové podpoře, počítá se však vždy s tuhým kloubovým podepřením bez možnosti zadání pružného podepření.

V případě všech tří možností nebudou interně vytvořené dílčí plochy posuzovány v modulu RF-CONCRETE Surfaces. Uvažovány budou vnitřní síly na hraniční linii sloupu.

Při modelování podepření jako „Podloží plochy“ a „Pružná uzlová podpora“ musí být zadány další vlastnosti sloupu, které jsou vyžadovány pro stanovení tuhosti pružiny. Geometrie hlavy sloupu může být *obdélníková* nebo *kruhová*. Pokud je k dispozici ocelový průřez jako *Průřez sloupu*, je možné průřez po aktivaci zaškrtávacího políčka druhého řádku zadat v [Databáze].

Položku *Materiál sloupu* je možné vybrat ze seznamu zadaných materiálů, nebo vytvořit pomocí tlačítka [Nový] (viz kapitola 4.3). Také *Výška sloupu* H má vliv na konstanty svislých a rotačních pružin. *Typ podepření* v hlavě sloupu resp. patě sloupu má určitý vliv na stanovení lineárních a rotačních pružin podpory, stejně tak jako eventuální *smyková tuhost* sloupu.

Vpravo v dialogu se zobrazí konstanty tuhosti C vyplývající z parametrů sloupu.

Podepření resp. pružina

Podepření se zadá v dialogu nebo v tabulce zaškrtnutím příslušné volby. Zaškrtnutí políčka znamená, že daný stupeň volnosti je omezen a posun uzlu v příslušném směru není možný.

Pokud se nejedná o podepření, pak zaškrtávací políčko zůstane prázdné. V dialogu *Uzlová podpora* se v poli pro konstantu tuhosti v posunu uvede nula. Konstantu tuhosti lze kdykoli změnit. Lze tak modelovat pružné podepření uzlu. V tabulce se konstanta tuhosti uvede přímo do příslušného sloupce.

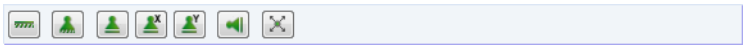
Hodnoty tuhosti je třeba chápat jako návrhové hodnoty.

Možnost zadání nelinearit je popsána níže.

Vetknutí resp. pružina

Vetknutí se zadávají obdobně. Zaškrtnutí políčka znamená, že daný stupeň volnosti je omezen a natočení uzlu okolo příslušné osy není možné. Po zrušení zaškrtnutí kontrolního políčka lze zadat konstantu rotační tuhosti. V tabulce se konstanta tuhosti uvede přímo do příslušného sloupce.

V dialogu *Nová uzlová podpora* (viz obr. 4.89) jsou k dispozici tlačítka pro jednotlivé typy podpor, které usnadňují zadání stupňů volnosti.



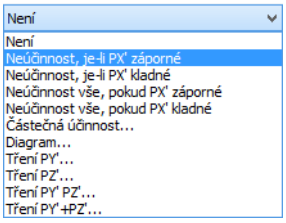
Obrázek 4.98 Tlačítka v dialogu *Nová uzlová podpora*

Tlačítka představují následující podporové vlastnosti:

Tlačítko	Typ podpory
	Vetknutí
	Kloub s vetknutím okolo Z'
	Posun v X' a Y' s vetknutím okolo Z'
	Posun v X' s vetknutím okolo Z'
	Posun v Y' s vetknutím okolo Z'
	Posun v Z' a Y' s vetknutím okolo Z'
	Volně

Tabulka 4.3 Tlačítka pro *uzlové podpory*

Nelinearity



Při detailním nastavení přenosu vnitřních sil lze uzlovým podporám přiřadit nelineární vlastnosti. Seznam nelinearit nabízí následující možnosti:

- Neúčinnost komponenty, je-li podporová síla či moment kladný, resp. záporný
- Úplná neúčinnost podpory, je-li podporová síla či moment kladný, resp. záporný
- Částečná účinnost
- Diagram

- Tření v závislosti na ostatních podporových silách

V dialogu i v tabulce lze nelineární vlastnosti nastavit v seznamu (viz obr. 4.90 a obr. 4.91). Pro každou složku podepření tak lze samostatně určit, zda se na podepřeném uzlu budou přenášet síly, resp. momenty a které.

Uzlové podpory, u nichž byla definována neúčinnost, se v grafickém zobrazení znázorní odlišnou barvou. V tabulce je složka podpory s nelineárními vlastnostmi vyznačena modrým čtverečkem.

Neúčinnost, je-li podporová síla či moment kladný, resp. záporný

Dané dvě volby umožňují jednoduchým způsobem u každé složky podepření určit, jestli se na podepřeném uzlu budou přenášet výlučně kladné nebo záporné síly. Působí-li síla nebo moment v zakázaném směru, tato složka podpory se stane neúčinnou. Pokud vnitřní síla (síla nebo moment) působí v nedovoleném směru, komponenta podpory vypadne. Ostatní vetknutí a podepření jsou účinná.

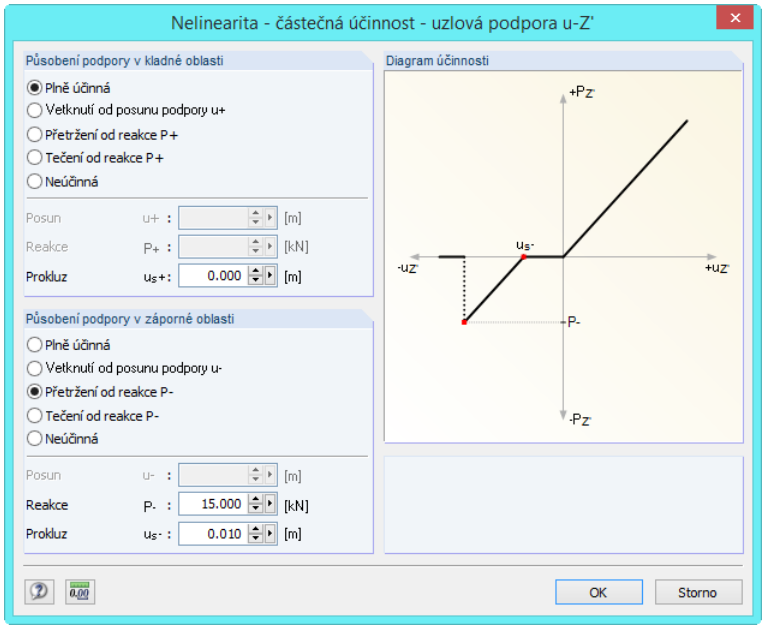
Kladný, resp. *záporný* směr se určuje u sil či momentů přenášených do uzlové podpory (tzn. **nikoli** reakcí ze strany podpory) vzhledem k příslušným osám. Znaménka tak vyplývají ze směru globálních os. Pokud směřuje globální osa Z dolů, pak například v důsledku zatěžovacího stavu ‚Vlastní tíha' vzniká kladná podporová síla P_Z.

Neúčinnost vše, pokud podporová síla či moment kladný, resp. záporný

Na rozdíl od výše popsané situace, kdy vypadne jediná komponenta, je v případě neúčinnosti komponenty neúčinná celá podpora.

Dialogy pro podrobnější nastavení jednotlivých typů nelinearity otevřeme pomocí tlačítka [Upravit nelinearitu uzlové podpory...] v dialogu, příp. v tabulce vpravo vedle seznamu.

Částečná účinnost

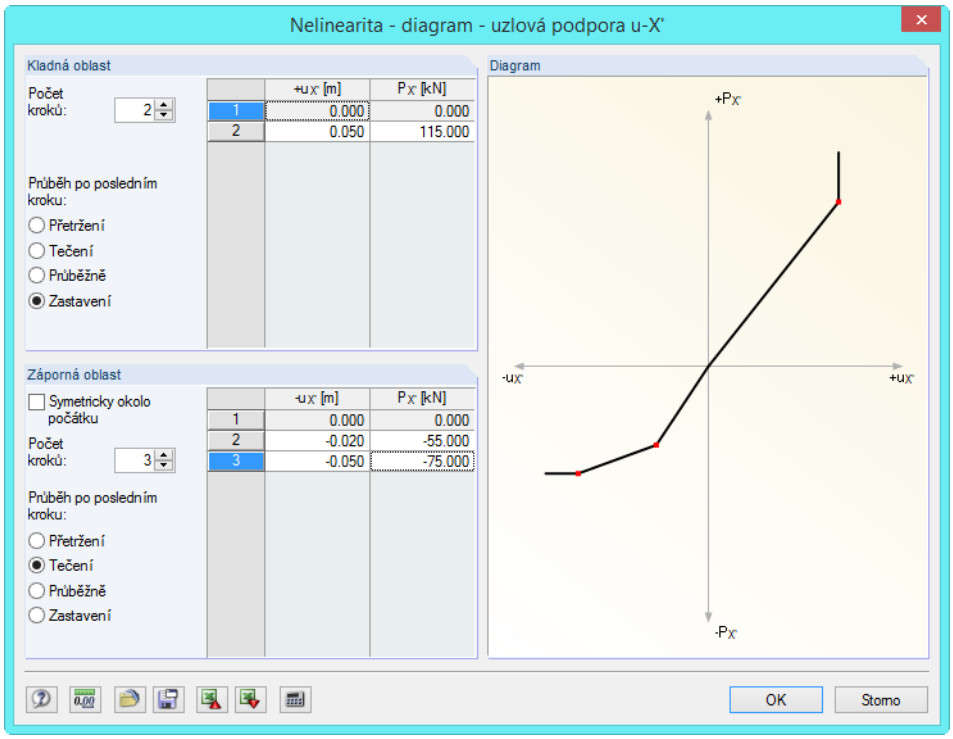


Obrázek 4.99 Dialog *Nelinearita - částečná účinnost*

Účinnost podpory lze definovat zvlášť pro *kladnou* a *zápornou oblast*. Pravidlo, jimiž se řídí znaménka, uvádíme v předchozím oddílu. Kromě plné účinnosti nebo celkové neúčinnosti lze nastavit účinnost podpory až od určitého posunu nebo natočení (k tomu je nejdříve třeba stanovit v dialogu pro zadání uzlové konstantu lineární, resp. rotační tuhosti). Dále lze definovat *přetržení* (neúčinnost podpory v případě překročení určité síly nebo momentu) nebo *tečení* (účinnost pouze do okamžiku dosažení určité síly nebo momentu) v kombinaci s *prokluzem*.

Dynamický *diagram účinnosti* v pravé části dialogu slouží ke kontrole vlastností podpory.

Diagram

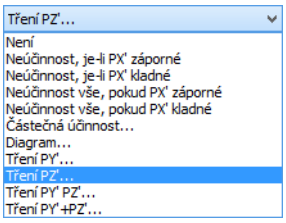


Obrázek 4.100 Dialog *Nelinearita - diagram*

Účinnost podpory lze definovat zvlášť pro *kladnou* a *zápornou oblast*. Nejdříve určíme *počet kroků* (tzn. bodů zadání) pracovního diagramu a následně uvedeme vpravo v seznamu úsečky posunů, resp. pootočení s přiřazenými podporovými silami, příp. momenty.

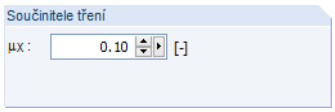
Pro zadání *průběhu po posledním kroku* máme několik možností: *přetržení* pro neúčinnost podpory při překročení určité hodnoty, *tečení* pro přenos omezený na maximální přípustnou podporovou sílu, resp. moment, *průběžně* pro stejný průběh jako v posledním kroku anebo *zastavení* pro vymezení maximálního přípustného posunu nebo pootočení, od kterého bude podpora působit jako pevné podepření nebo vetknutí.

Tření v závislosti na podporové síle



Dané čtyři volby dávají přenášené podporové síly do vztahu k tlakovým silám, které působí v jiném směru. V závislosti na výběru je tření závislé buď pouze na jedné podporové síle nebo na celkové síle ze dvou současně působících reakcí.

Tlačítkem otevřeme dialog, v němž lze zadat *součinitele tření* μ.

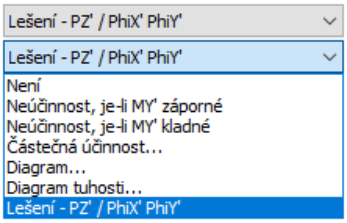


Obrázek 4.101 Dialog *Tření v μX'* (výřez)

Mezi normálovou a třecí silou na podpoře je dán následující vztah:

$$P_{\text{Support}} = \mu \cdot P_{\text{Axial force}}$$

Rovnice 4.16



Lešení

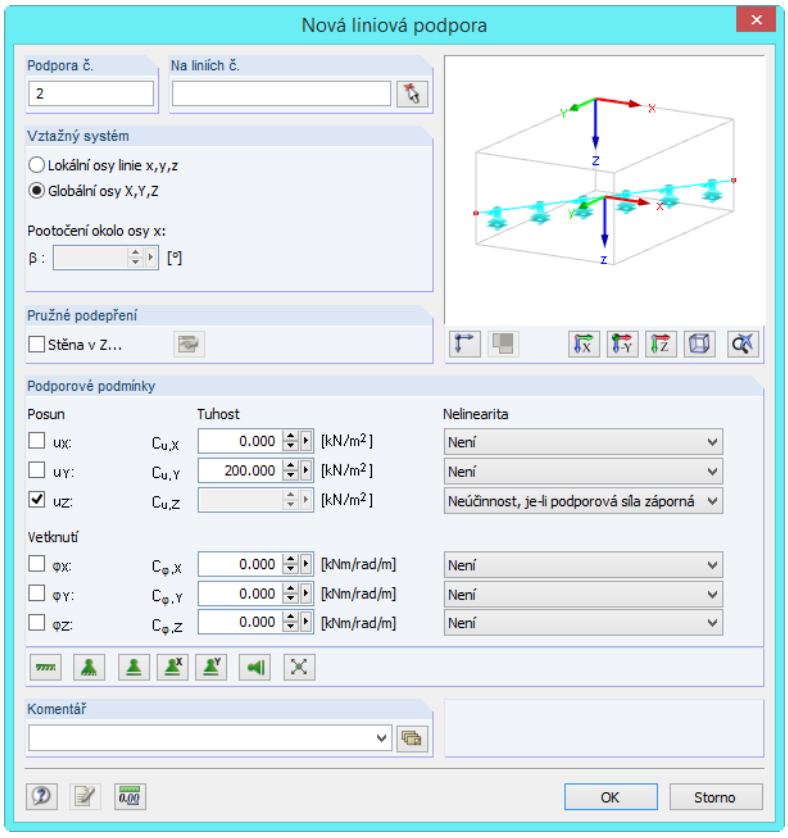
Pro vetknutí okolo os X' a Y' je v seznamu uvedena další položka *Lešení*. Tak lze modelovat účinky nosných desek, které jsou k dispozici pro pracovní lešení nebo pro konstrukční sloupy. Tato funkce je popsána v následujícím odborném článku:
https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000973

4.8 Liniové podpory

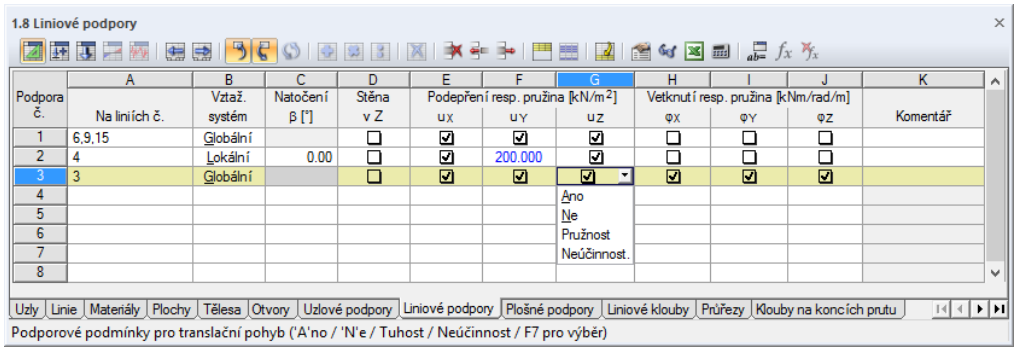
Obecný popis

Pomocí liniové podpory jsou definovány okrajové podmínky pro všechny uzly sítě KP ležící na dané linii. Těmto uzlům mohou být odebrány stupně volnosti v posunutí nebo pootočení, popř. mohou být omezeny definovanými lineárními nebo rotačními konstantami tuhosti.

U liniových podpor lze také zadat nelinearity — neúčinnost vtahu nebo tlaku.

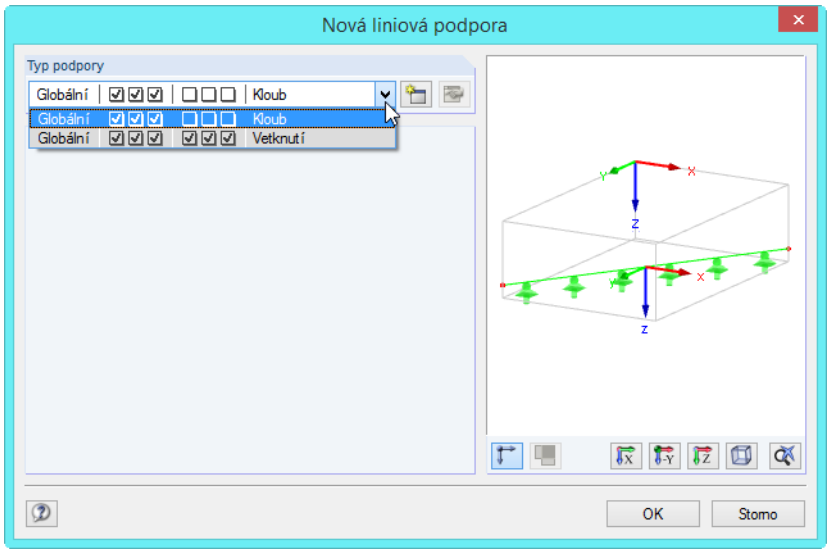


Obrázek 4.102 Dialog *Nová liniová podpora*



Obrázek 4.103 Tabulka 1.8 *Liniové podpory*

Z hlavní nabídky **Vložit** ⟶ **Údaje o modelu** ⟶ **Liniové podpory** ⟶ **Graficky...** nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů vyvoláme následující dialog:



Obrázek 4.104 Dialog *Nová liniová podpora*

Předem definovány jsou typy podpor *Kloub (AAA NNN)* a *Vetknutí (AAA AAA)*. Po zvolení typu podpory v seznamu a po kliknutí na tlačítko [OK] se podpora graficky přiřadí.

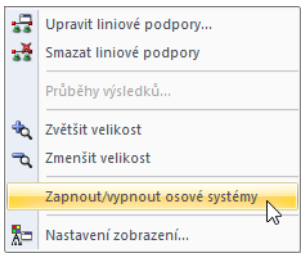
Pomocí tlačítka [Nový typ uzlové podpory...] může uživatel vytvářet další typy podpor. Po kliknutí na tlačítko se zobrazí dialog, který vidíme na obr. 4.100.

Na liniích č.

Tyto podpory lze zadávat pouze na liniích, které náleží do určité plochy nebo tělesa. Číslo linie uvedeme do příslušného sloupce v tabulce, popř. do pole v dialogu nebo linii vybereme myší v grafickém okně.

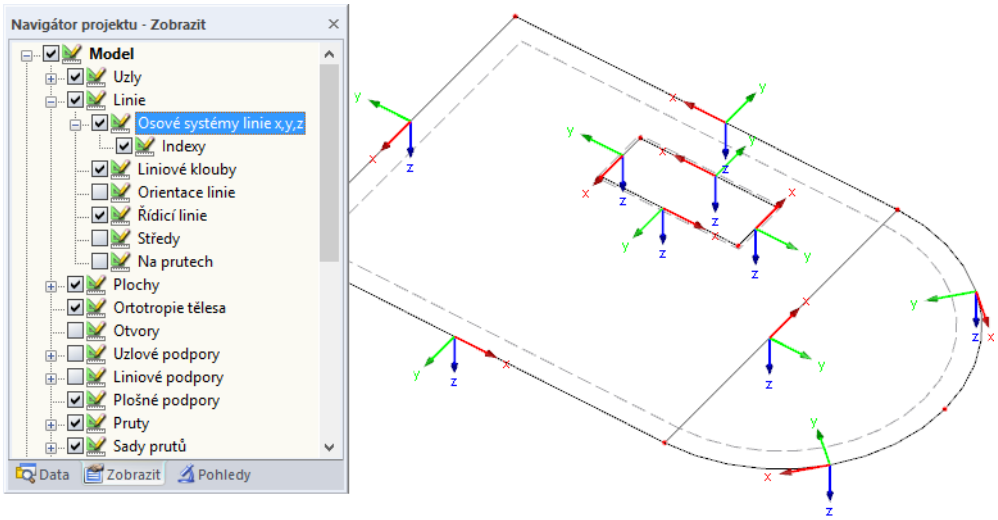
Vztažný systém

Podporu lze zadat v *lokálním* souřadném systému linie x,y,z nebo *globálním* souřadném systému X,Y,Z. Podle nastavení se mění indexy v sekci *Podporové podmínky* nebo v názvech sloupců tabulky E až J.



Místní nabídka liniové podpory

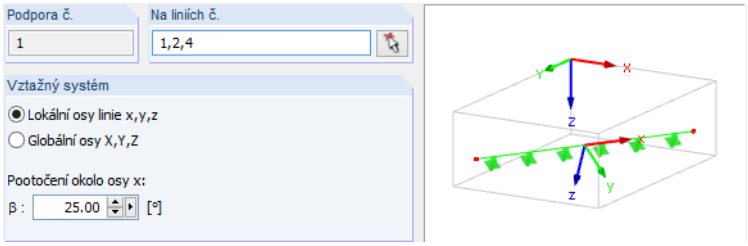
Zobrazení lokálního souřadného systému linie včetně číslování lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* nebo případně v místní nabídce liniové podpory.



Obrázek 4.105 Zapnutí lokálních osových systémů linií x,y,z v navigátoru *Zobrazit*

Osový systém

Lokální souřadný systém liniové podpory lze natočit. Podpora se natočí o kladný úhel β okolo kladné osy x liniového souřadného systému směrem doprava.



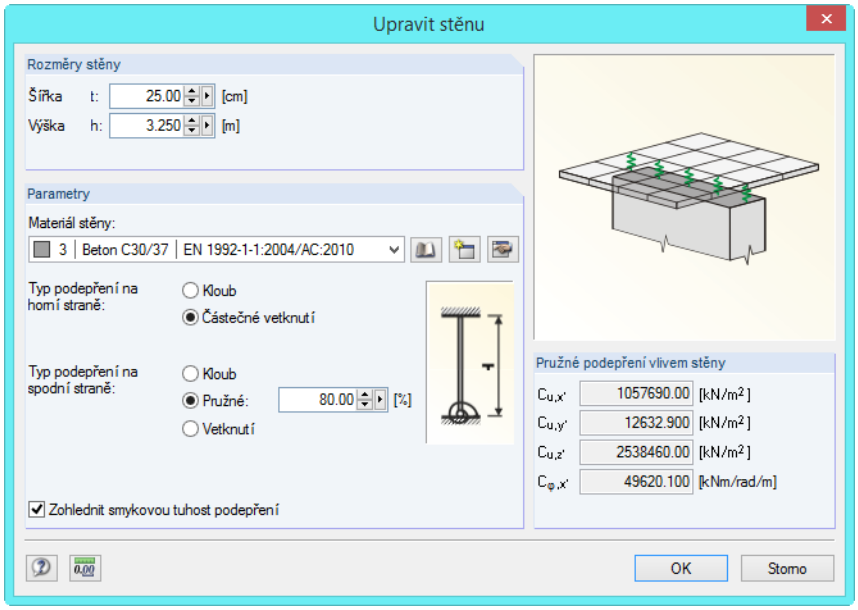
Obrázek 4.106 Natočení podpory

Na obrázku v dialogu se natočení podpory dynamicky zobrazí.

Po výpočtu lze reakce natočené liniové podpory vztáhnout jak ke globálnímu tak k lokálnímu souřadnému systému.

Stěna v Z

Pokud je plocha podepřena na stěně, jedná se o pružné podloží, které závisí na tuhosti stěny. K dosažení lepšího přiblížení skutečnosti lze v RFEMu použít tzv. stěnové podpory. Program vypočítá lineární a rotační konstanty tuhosti na základě materiálu a geometrie *stěny*. Zároveň se tak lze vyhnout singularitám, které by pevné liniové podepření způsobilo.



Obrázek 4.107 Dialog *Upravit stěnu*

V sekci *Rozměry stěny* určíme geometrii stěny. Lineární a rotační konstanty tuhosti ovlivňuje *šířka* t a *výška* h.

V sekci *Parametry* vybereme *materiál stěny* ze seznamu dosud zadaných materiálů nebo definujeme [Nový] materiál (viz kapitola 4.3).

Pro výpočet tuhosti musí být dále zadán *typ podepření na horní*, resp. *spodní straně*. Pokud se zohlední *smyková tuhost* stěny, je tato zahrnuta také do konstant pro *pružné podpory z důvodu stěny*.

Pro informaci se spočítané hodnoty konstant tuhosti zobrazí na pravé straně dialogu.

V grafickém zobrazení v RFEMu se na podepřené linii znázorní šířky stěny.

Podepření resp. pružina

Podepření se zadá v dialogu nebo v tabulce zaškrtnutím příslušné volby. Zaškrtnutí políčka znamená, že daný stupeň volnosti bude odebrán a posun linie v příslušném směru nebude možný.

Pokud se nejedná o podepření, pak zaškrtávací políčko zůstane prázdné. V dialogu *Liniová podpora* se v poli pro konstantu tuhosti v posunu uvede nula. Konstantu tuhosti lze kdykoli změnit. Lze tak modelovat pružné podepření linie. V tabulce se konstanta tuhosti uvede přímo do příslušného sloupce.

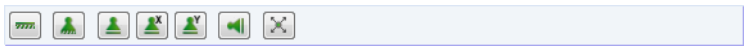
Hodnoty tuhosti je třeba chápat jako návrhové hodnoty.

Možnost zadání nelinearit je popsána níže.

Vetknutí resp. pružina

Vetknutí se zadávají obdobně. Zaškrtnutí políčka znamená, že daný stupeň volnosti bude odebrán a natočení linie okolo příslušné osy nebude možné. Po zrušení zaškrtnutí kontrolního políčka lze zadat konstantu rotační tuhosti. V tabulce se konstanta tuhosti uvede přímo do příslušného sloupce.

V dialogu *Nová liniová podpora* (viz obr. 4.100) máme k dispozici tlačítka pro jednotlivé typy podpor, která usnadňují zadání stupňů volnosti.



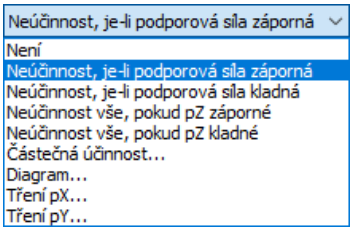
Obrázek 4.108 Tlačítka v dialogu *Nová liniová podpora*

Tlačítka představují následující podporové vlastnosti:

Tlačítko	Typ podpory
	Vetknutí
	Kloub s vetknutím okolo Z'
	Posun v X' a Y' s vetknutím okolo Z'
	Posun v X' s vetknutím okolo Z'
	Posun v Y' s vetknutím okolo Z'
	Posun v Z' a Y' s vetknutím okolo Z'
	Volně

Tabulka 4.4 Tlačítka pro *liniové podpory*

Nelinearity



Komponentám liniové podpory lze přiřadit různé nelineární vlastnosti:

- Neúčinnost komponenty, je-li podporová síla či moment kladný, resp. záporný
- Úplná neúčinnost podpory, je-li podporová síla či moment kladný, resp. záporný
- Částečná účinnost
- Diagram
- Tření v závislosti na ostatních podporových silách

Nelineární vlastnosti podstatně odpovídají nelinearitám, které jsou k dispozici pro uzlové podpory (viz kapitola 4.7).

V dialogu i v tabulce lze nelineární vlastnosti nastavit v seznamu (viz obr. 4.100 a obr. 4.101). Tímto způsobem lze pro každý stupeň volnosti podpory samostatně definovat, zda a jaké síly resp. momenty se přenesou na podepřené linii.

Kladný, resp. *záporný* směr se určuje u sil přenášených do liniové podpory (tzn. **nikoli** u reakcí ze strany podpory) vzhledem k příslušným osám. Znaménka tak vyplývají ze směru lokálních, resp. globálních os. Pokud směřuje u linie lokální osa z dolů, pak například v důsledku zatěžovacího stavu ‚Vlastní tíha' vzniká kladná podporová síla $p_{Z'}$.

Liniové podpory, u nichž byla definována neúčinnost, se v grafickém zobrazení znázorní odlišnou barvou. V tabulce je složka podpory s nelineárními vlastnostmi vyznačena modrým čtverečkem.

4.9 Plošné podpory

Teoretické pozadí

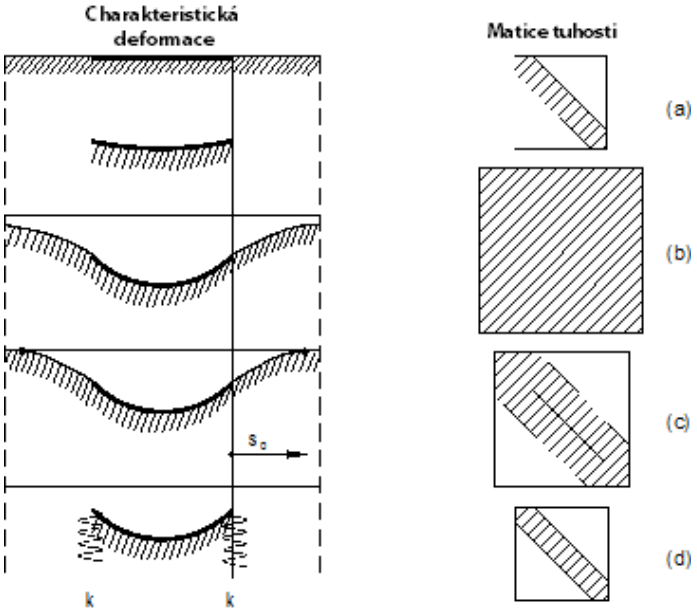
Podloží plochy představuje pružné podepření všech 2D prvků plochy.

Winklerův model podloží chápe podloží stavby jako ideální hustou kapalinu, na které základová deska jakoby plave. Velké rozdíly modulů pružnosti E desky (betonu) a podloží, dosahující obvykle poměru 1000:1 i více, by nás mohlo opravňovat k použití tohoto modelu. Matematicky lze tento model vyjádřit následovně:

$$p_z = C_z w_z$$

Rovnice 4.17

Vzorec udává vztah mezi kontaktním napětím p_z a poklesem w_z pomocí modulu přetvárnosti podloží C_z. Vzorec vychází ovšem z předpokladu, že každý bod základové spáry se pohybuje samostatně v závislosti na zatížení bez ohledu na okolní body. Pro přetvoření základu jako celku to má především ten důsledek, že okolí základu nemá vůbec žádný vliv na jeho sedání (obr. 4.107 a).



Obrázek 4.109 Závislost mezi tvarem deformace a šířkou pásu matice tuhosti

Tento model již neodpovídá dnešním požadavkům a možnostem výpočtu.

Další vývoj je založen na takzvané metodě *edometrického modulu přetvárnosti*: Podloží se rozumí pružný poloprostor, jehož body jsou v matematicko-mechanické interakci. Vytvoří se „nekonečná“ poklesová zóna, která umožní odeznění vlivu vzdálenějších oblastí půdy (viz obr. 4.107 b). Výhodu tohoto mechanicky lepšího modelu podloží však kompenzují numerické nevýhody v podobě výrazně větší systémové matice.

Algoritmus použitý v RFEMu využívající předpoklady teorie efektivního modelu podloží podle Koláře a Němce spojuje výhody obou výše uvedených modelů bez toho, aby přebíral jejich nevýhody. Nový model podloží je postaven na předpokladech Pasternaka [1] a rozvíjí se podle možností MKP.

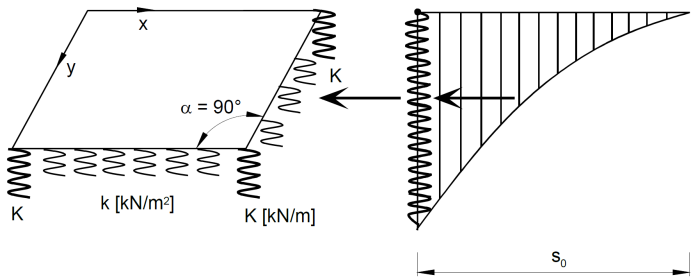
- Pro desku stýkající se se základovou zeminou jsou stanoveny mechanické vlastnosti obecně vrstevnatého a nelineárně elastického, resp. plastického poloprostoru na kontaktní spáře. Trojrozměrný problém založení je tak redukován pouze na základovou spáru, a tedy na 2D problém.
- Winklerův model provádí tuto 2D kondenzaci v podstatě také (viz rovnice 4.17), ale energeticky špatně. Zavedením druhého koeficientu C_v pro účinky smyku v základové půdě lze zajistit i spolupůsobení základové půdy za hranou desky. Vzniká poklesová zóna konečné velikosti, jak to lze pozorovat i ve skutečnosti.

- Vzniká dvouparametrický systém (C_u, C_v), kde $C_{u,z}$ zhruba odpovídá Winklerovu modulu přetvárnosti podloží a při praktických výpočtech lze tuto hodnotu i použít. Při přesném rozboru používá tento systém pět parametrů $C_{u,x}$, $C_{u,y}$, $C_{u,z}$, $C_{v,x}$ a $C_{v,y}$.

Obrázek 4.107 c ukazuje tento nový model podloží půdy pro srovnání s ostatními. Numericky je výpočet MKP založený na této metodě stejně stabilní jako winklerovský výpočet. Vzhledem k definování prvků v celé ploše poklesové zóny vzniká stále ještě rozsáhlá globální matice, což vede následně k delším časům potřebným pro řešení úlohy.

Model základové půdy podle Koláře a Němce byl ještě dále dopracován. Ukázalo se, že díky sjednocujícím podmínkám na hranách omezené oblasti lze ze systému eliminovat plochy mimo její půdorys. Výsledkem je do RFEMu implementovaný *technicky efektivní model podloží*, který je symbolicky znázorněn na obr. 4.107 d. Vidíme, že i poslední nevýhoda širokého pásu matice tuhosti byla odstraněna. KOLÁŘ/ NĚMEC [2] používání technicky efektivního modelu podloží podrobně vysvětlují.

Geometrické vyloučení okolní základové zeminy („zemního klínu“) z deskového modelu se dosahuje tak, že se tuhost zemního klínu přepočítá na ekvivalentní pružné podepření okrajových linií a rohových bodů.



Obrázek 4.110 Přepočet zemního klínu na liniové a uzlové podepření

Ve smyslu tzv. „prvního přiblížení“ se konstanty tuhosti k a K pro liniové nebo uzlové podepření stanoví pomocí následujících rovnic:

Konstanta tuhosti liniového podepření:

$$k = \sqrt{C_{u,z}\, C_{v,\perp}}$$

Rovnice 4.18

Konstanta tuhosti uzlového podepření:

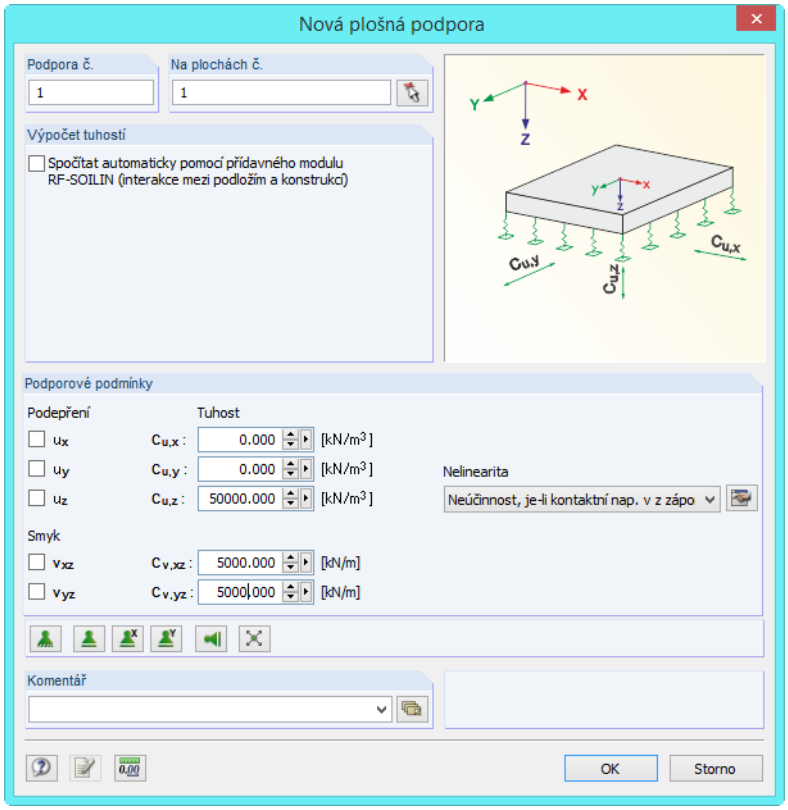
$$K = \frac{C_{v,x} + C_{v,y}}{4}$$

Rovnice 4.19

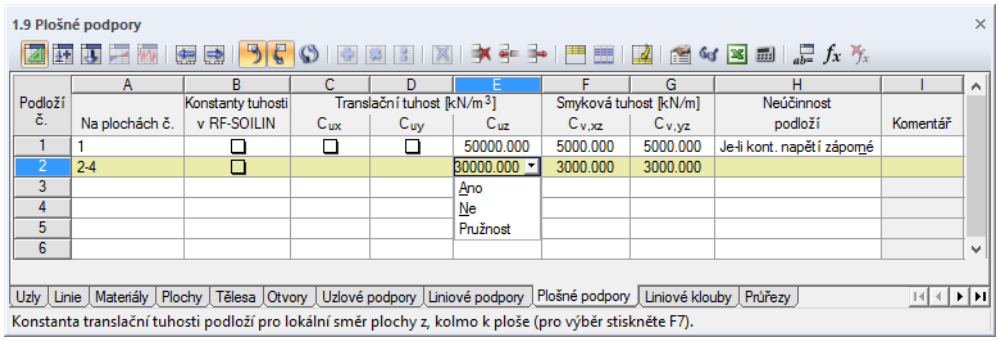
Do rovnice 4.18 se dosadí parametr C_v, který působí kolmo na okrajovou linii.

Rovnice 4.19 platí pro rohy s úhlem α = 90° (pro jiné velikosti úhlů viz [3]). Větším úhlům α přísluší menší hodnoty K; pro α = 0° je také ovšem K = 0.

Takto spočítané konstanty tuhosti se pak v modelu dodatečně připojí jako liniové a uzlové podpory k pružnému podloží plochy.



Obrázek 4.111 Dialog *Nová plošná podpora*



Obrázek 4.112 Tabulka 1.9 *Plošné podpory*

Na plochách č.

V tomto vstupním poli uvedeme čísla ploch s pružným podložím. Plochy lze také vybrat myší v grafickém okně.

Konstanty tuhosti v RF-SOILIN

Každé podloží má charakteristické nelineární pružné až plastické vlastnosti. Tyto hodnoty lze pohodlně spočítat v přídavném modulu RF-SOILIN. Pomocí tohoto programu lze provádět výpočty poklesu podloží na základě zatížení a výsledků zkušebních vrtů a z toho určit odpovídající hodnoty tuhosti podloží v každém bodě sítě konečných prvků. Přitom lze zohlednit několik různých půdních vrstev na více místech.

Pokud tuto volbu aktivujeme a v modulu RF-SOILIN žádné výsledky nejsou, pak se před vlastním výpočtem v RFEMu stanoví ještě charakteristické hodnoty podloží.

Podepření resp. translační tuhost $C_{u,x}$ / $C_{u,y}$ / $C_{u,z}$

Směr podepření či translační tuhosti se vztahuje k lokálním osám plochy x, y a z. Tyto lokální osy lze zapnout z navigátoru *Zobrazit* nebo z místní nabídky plochy (viz obr. 4.76).

Hodnoty tuhosti je třeba chápat jako návrhové hodnoty.

Pokud má podloží působit kolmo na plochu, pak je třeba uvést podepření, resp. koeficient podloží v poli **$C_{u,z}$**. Tento parametr prakticky odpovídá Winklerovu modulu přetvárnosti C_z a lze ho zjistit např. z posouzení geologických poměrů na staveništi.

Parametry $C_{u,x}$ a $C_{u,y}$ jsou lineární konstanty tuhosti, které vyjadřují odpor základové zeminy proti vodorovným posunům ve směru x, resp. y dané plochy. U podkladní desky se tak (na zatížení nezávislý) odpor podloží zadává ve vodorovných směrech.

V grafickém okně se konstanty tuhosti zadávají vždy ve směru kladné osy z dané plochy. Pokud chceme, aby symboly pro konstanty tuhosti ležely na opačné straně plochy, můžeme snadno změnit orientaci lokální osy z: klikneme na plochu pravým tlačítkem myši a v místní nabídce vybereme *Otočit lokální souřadný systém*. Tato volba je k dispozici pouze u 3D, tedy nikoli rovinných modelů konstrukce. Je třeba si přitom uvědomit, že se změní případně i směr působení kritéria neúčinnosti podloží.

Pevná uložení umožňují například modelovat v případě symetrických těles pouze část modelu. Lze tak výrazně zkrátit dobu výpočtu.

Smyková tuhost $C_{v,xz}$ / $C_{v,yz}$

Zadání této hodnoty znamená, že je brán v úvahu přenos smyku v podloží ve směru osy x, resp. y. PASTERNAKOVA konstanta C_v většinou nabývá hodnot mezi $0{,}1 \cdot C_{u,z}$ (omezený přenos smyku) a $0{,}5 \cdot C_{u,z}$ (střední přenos smyku). Ve většině případů lze předpokládat, že $C_{v,xz} = C_{v,yz}$.

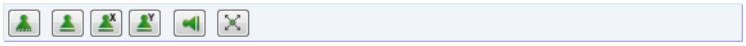
Pokud je podpora u_z neposuvná, automaticky se aktivují příslušné smykové prvky pro matici tuhosti.

Kolář [3] k tomu uvádí následující tabulku s orientačními hodnotami. Tato tabulka ovšem nemůže nahradit konkrétní hodnoty získané geologickým průzkumem nebo výpočtem v přídavném modulu RF-SOILIN!

Konzistence podloží	Podloží $C_{u,z}$ [kN/m^3]	Přenos smyku C_v [kN]	Přenos smyku C_v [kN]	Přenos smyku C_v [kN]
		žádný	střední	velký
velmi měkké	1,000	0	500	1 000
střední	10 000	0	5 000	10 000
velmi pevné	100 000	0	50 000	100 000

Tabulka 4.5 Orientační hodnoty $C_{u,z}$ a C_v

V dialogu *Nová plošná podpora* (viz obr. 4.109) máme k dispozici tlačítka pro jednotlivé typy podpor, která usnadňují zadání stupňů volnosti.



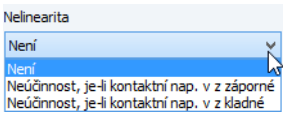
Obrázek 4.113 Tlačítka v dialogu *Nová plošná podpora*

Tlačítka představují následující podporové vlastnosti:

Tlačítko	Typ podpory
	Vetknutí
	Posuv v x a y
	Posuv v x
	Posuv v y
	Posuv v z
	Volně

Tabulka 4.6 Tlačítka pro *plošné podpory*

Nelinearita



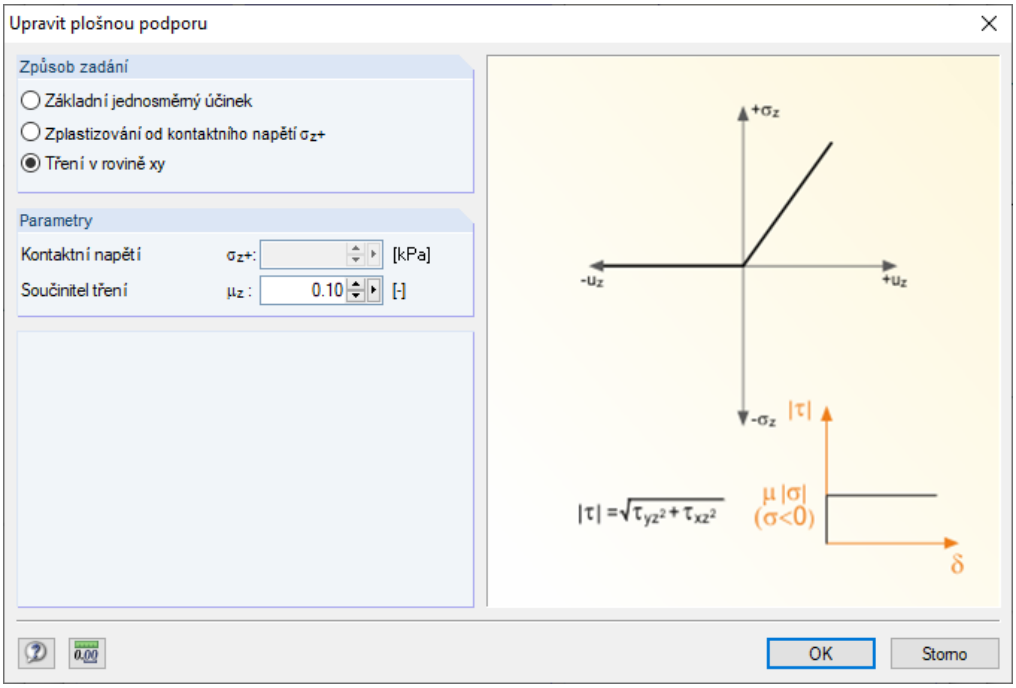
Podepření může být neúčinné v případě kladného nebo záporného kontaktního napětí ve směru posunu u_Z: uložení například ztrácí účinnost při působení odlehčujících sil. Neúčinnost můžeme vybrat ze seznamu v dialogu nebo v tabulce (viz obr. 4.110).

Zda je kontaktní napětí *kladné* či *záporné*, závisí na tom, zda působí ve směru nebo proti směru lokální osy z dané plochy: kladné kontaktní napětí vzniká, pokud je základová deska zatížena vlastní tíhou a globální osa Z i lokální osa z směřují dolů. Jestliže by osa z plochy směřovala nahoru, bylo by kontaktní napětí záporné.

Možnost zobrazení os plochy vidíme na obr. 4.76.

Plošné podpory, u nichž byla definována neúčinnost, se v grafickém zobrazení i v tabulce znázorní odlišnou barvou.

Po kliknutí na tlačítko [Upravit nelinearitu] v dialogu (viz obr. 4.109) lze zadat specifické nelineární vlastnosti jako *tečení* (omezení kontaktního napětí) a *tření*.



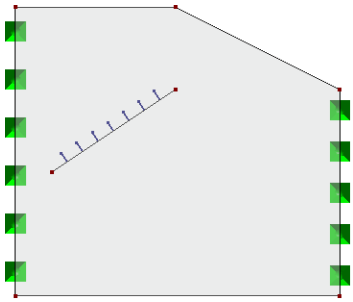
Obrázek 4.114 Dialog *Upravit plošnou podporu*

Pokud definujeme kritérium neúčinnosti podloží, počítá program deformace a vnitřní síly ve více iteracích, přičemž na místech, která splňují kritérium neúčinnosti, vždy ruší na podepření složky reakcí.

K tomu je ale třeba poznamenat, že vlivem takovéto neúčinnosti podepření nemusí být kombinace výsledků spočteny korektně, neboť se skládají výsledky zatěžovacích stavů s rozdílným průběhem neúčinnosti podloží. V těchto případech doporučujeme použít kombinace zatížení (viz příklad na obr. 5.28).

4.10 Liniové klouby

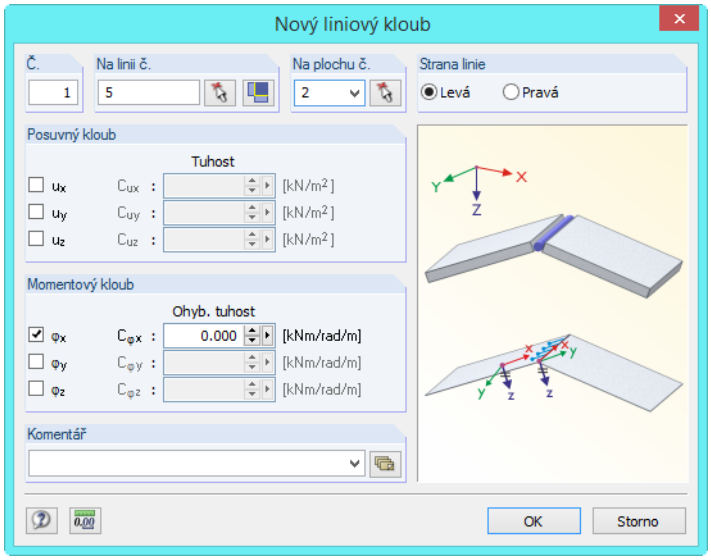
Obecný popis



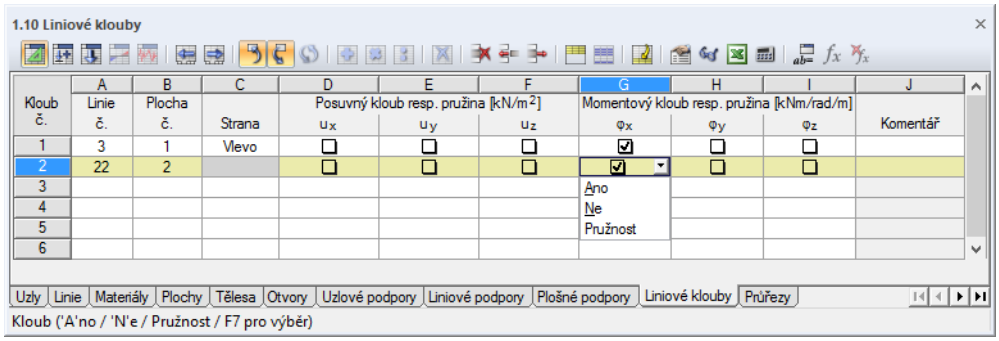
Spojení ploch na společné linii je standardně ohybově tuhé. Pokud chceme uvolnit některý ze stupňů volnosti, musíme na linii zadat liniový kloub.

Liniové klouby nemusí být zadávány pouze na hraničních liniích ploch, lze je zadat i na vnitřní integrované linii jedné plochy, jak je znázorněno na obrázku vlevo.

Liniový kloub je vlastností plochy, nikoli linie. Je proto třeba ho přiřadit konkrétní ploše. Přiřazení lze přitom provést i graficky zhlavní nabídky **Vložit → Údaje o modelu → Liniové klouby → Přiřadit liniím graficky...**.



Obrázek 4.115 Dialog *Nový liniový kloub* (pro integrovanou linii)



Obrázek 4.116 Tabulka 1.10 *Liniové klouby*

Linie č.

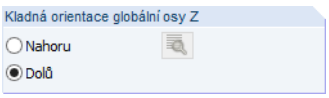
V tomto poli uvedeme číslo linie, na které bude kloub vytvořen. Linii lze také vybrat ze seznamu nebo myší v grafickém okně. Pokud v dialogu nejdříve vybereme plochu, lze pomocí tlačítka [Všechny hraniční linie] do tohoto pole převzít všechny okrajové linie dané plochy.

Plocha č.

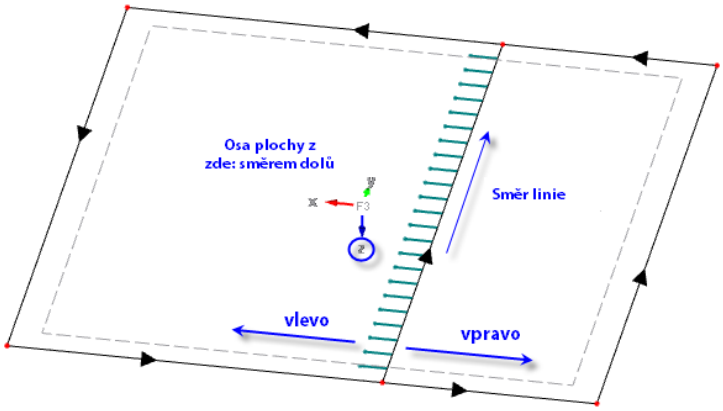
Liniový kloub přiřadíme určité ploše. Vzhledem k tomu, že kloub je vlastností plochy, lze ho dodatečně upravovat v dialogu *Upravit plochu*.

Strana

Tento přepínač v dialogu, resp. sloupec v tabulce je přístupný pouze v případě, že jsme vybrali linii integrovanou do plochy. Je tu třeba uvést, na které straně bude kloub vytvořen. Konečné prvky na této straně linie se pak zohlední při výpočtu tuhosti.



Pro umístění kloubu na *levé* nebo *pravé* straně linie je rozhodující směr linie (▲ na obrázku níže) a směr osy z dané plochy. Pokud globální osa Z směřuje **dolů**, platí následující pravidlo: „stojíme na linii, lokální osa z dané plochy směřuje k nohám, pohled ve směru linie, levá/pravá strana pak odpovídá pažím“. Jestliže osa Z směřuje **nahoru**, platí totéž pravidlo, pouze „pohled míří proti směru linie“.



Obrázek 4.117 Stanovení stran linie

Pokud má být kloub vytvořen na hraniční linii plochy, není tato volba přístupná. Jakmile totiž kloub přiřadíme určité ploše, je zřejmé, na které straně linie bude kloub působit.

Posuvný kloub resp. pružina

V těchto vstupních polích v dialogu, popř. ve sloupcích v tabulce se definují jednotlivé stupně volnosti pro normálové a posouvající síly. Zaškrtnutí kontrolního políčka znamená, že posun v daném směru bude možný, a síla se tak nebude přenášet. Lze tu také zadat hodnotu konstanty tuhosti pro pružné spolupůsobení v příslušném směru.

Stupně volnosti vycházejí z následujícího zadání osového systému: osa x míří ve směru linie; osa y představuje tečnu k rovině plochy, osa z pak kolmici k ploše.

Momentový kloub resp. pružina

Stupně volnosti momentů na linii se vztahují k lokálnímu souřadnému systému kloubu (osa x ve směru linie, osa y jako tečna a osa z jako kolmice k rovině plochy). Zaškrtnutí kontrolního políčka znamená, že pootočení je možné a příslušná vnitřní síla se nebude přenášet. Zadat lze také hodnotu konstanty ohybové tuhosti.

Obrázek v dialogu ukazuje lokální směry osy. Mezi dvěma plochami se vytvoří kloubové připojení pomocí kloubu φ_x. Tím vznikne momentový kloub okolo podélné osy linie.

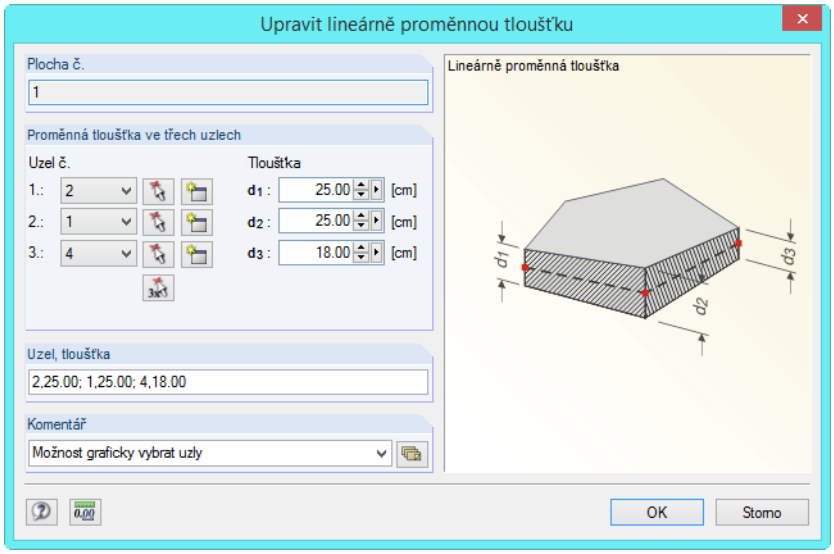
Pokud mají být liniovému kloubu přiřazeny nelineární vlastnosti, musí se kloub konvertovat na *liniové uvolnění* (viz kapitola 4.26). V místní nabídce liniového kloubu k tomu existuje speciální funkce, která je představena v následujícím příspěvku: https://www.dlubal.cz/cs/podpora-a-školení/podpora/databáze-znalostí/001143.

4.11 Proměnné tloušťky

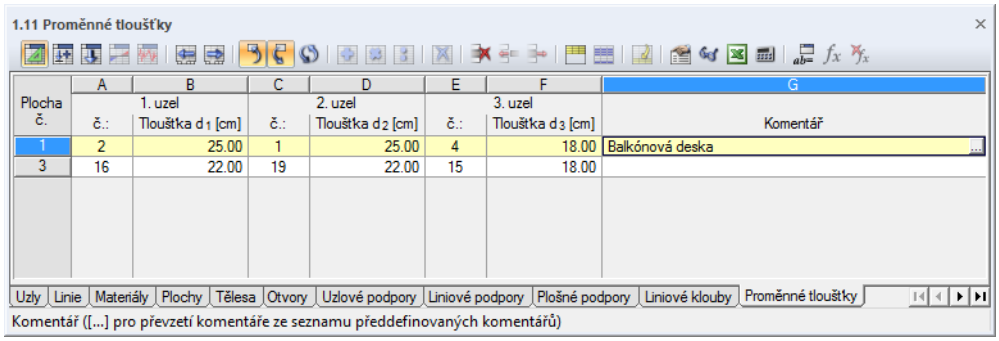
Obecný popis

Při zadání proměnné tloušťky se tloušťka rovinné plochy lineárně mění. Tímto způsobem lze modelovat plochy snáběhem. Tloušťka je v tomto případě vždy definována ve třech bodech. Mezi nimi jsou hodnoty lineárně interpolovány.

Novou proměnnou tloušťku nelze zadávat přímo, ale pouze jako parametr při zadávání plochy. Při vytváření nové plochy je třeba vybrat **proměnnou** *tloušťku* (viz kapitola 4.4). Zpřístupní se tak tlačítko [Upravit lineárně proměnnou tloušťku...] v dialogu, popř. v tabulce.



Obrázek 4.118 Dialog *Upravit lineárně proměnnou tloušťku*



Obrázek 4.119 Tabulka 1.11 *Proměnné tloušťky*

Plocha

Proměnné tloušťky lze použít jen v případě rovinných, čili nikoli například zakřivených ploch.

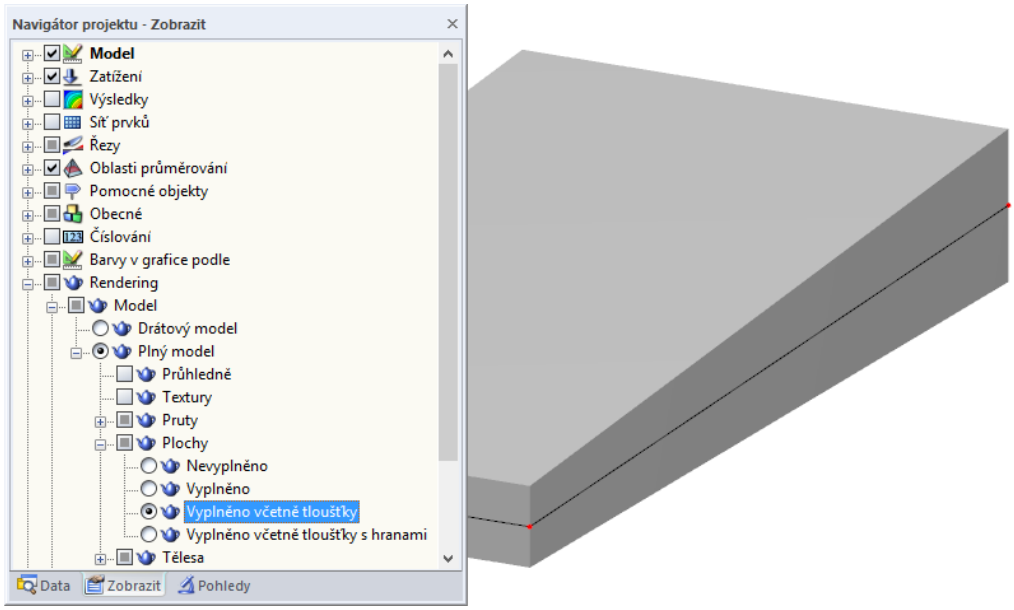
Proměnná tloušťka ve třech uzlech

Tloušťku stanovíme ve třech bodech. Mezi nimi bude provedena lineární interpolace. Pro definici tlouštěk lze použít libovolné tři uzly ležící v rovině plochy. Tyto body nemusí ležet přímo v ploše, musí být ovšem možné vygenerovat na nich body sítě konečných prvků.

Všechny tři *uzly* vybereme ze seznamu nebo myší v grafickém okně pomocí funkce , popř. . Zadat můžeme také nové uzly po kliknutí na tlačítko [Nový uzel...]. Ke každému uzlu pak přiřadíme příslušnou *tloušťku* d.

Ve vstupním poli v sekci *Uzel, tloušťka* se zobrazí přehledný souhrn zadání: číslo uzlu a jeho tloušťka jsou odděleny čárkou, jednotlivé dvojice pak středníkem.

Pro kontrolu můžeme proměnné tloušťky ploch zobrazit v grafickém okně v renderovacím režimu. V navigátoru *Zobrazit* stačí aktivovat volbu *Vyplněno včetně tloušťky*.



Obrázek 4.120 Navigátor *Zobrazit*: Rendering → Plný model → Plochy → Vyplněno včetně tloušťky

4.12 Ortotropní plochy a membrány

Obecný popis

Ortotropní plochy mají rozdílnou tuhost ve směru lokální osy x a y. Můžeme tak například modelovat nosníky z lepeného lamelového dřeva nebo žebrové stropy. Ortotropii lze použít nejen u rovinných ploch, ale také u zobecnělých čtyřúhelníků.

Ortotropní vlastnosti můžeme definovat při zadání materiálu (materiálová ortotropie s konstantní geometrií), při zadání geometrie (nejednotný tvar plochy u izotropního materiálu) nebo jako kombinaci obou možností.

Na následujícím obrázku je znázorněna obecná matice tuhosti ortotropní plochy v programu RFEM.

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & D_{26} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & D_{36} & D_{37} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & \text{sym} & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

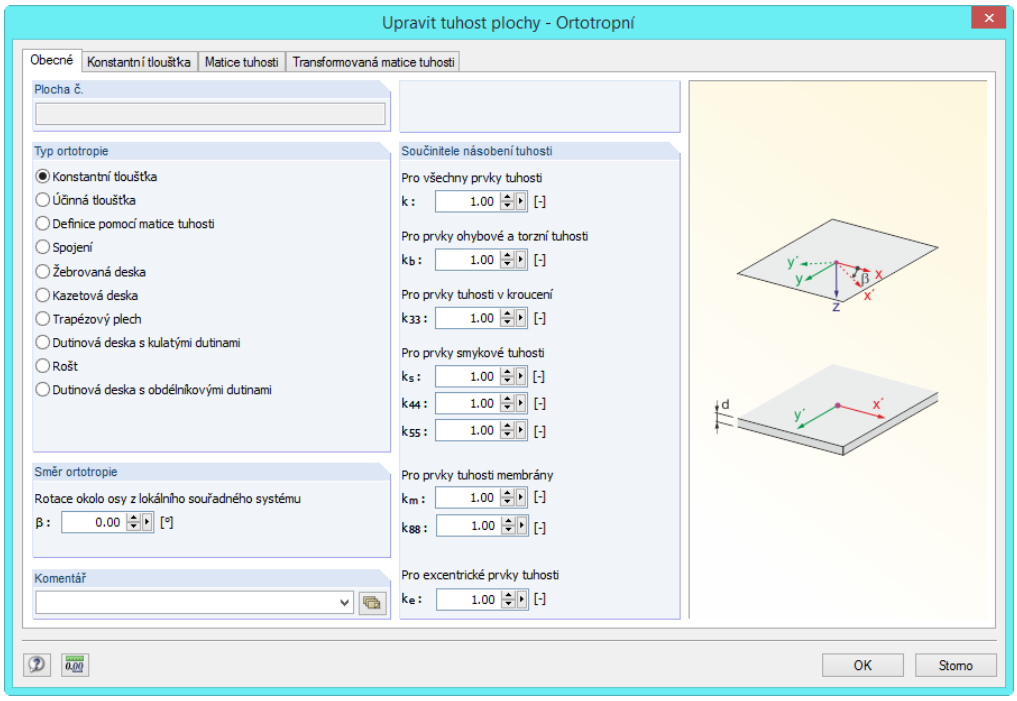
Rovnice 4.20

Ortotropní plochy lze počítat podle teorie I., II. nebo III. řádu. V případě matic s koeficienty čistě membránové tuhosti lze provést analýzu pouze podle teorie III. řádu.

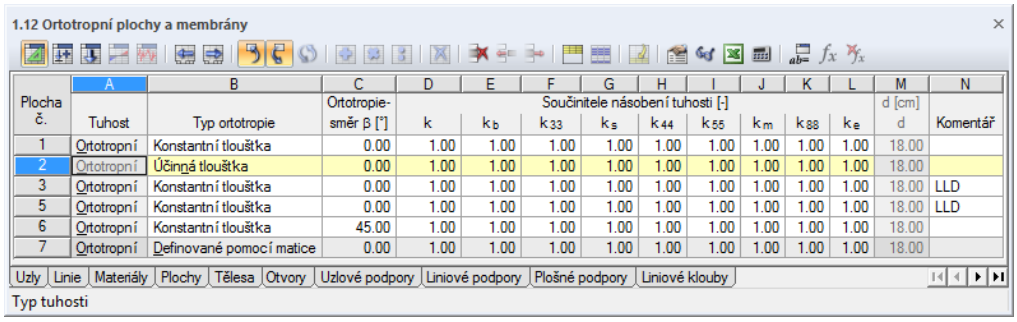
Podrobné informace k *ortotropii* lze najít v samostatném dokumentu (v angličtině), který si můžete u naší společnosti Dlubal Software vyžádat.

Ortotropii nelze zadávat přímo, ale pouze jako parametr při zadávání plochy. Při vytváření nové plochy je třeba vybrat v sekci *Typ plochy* pro zadání tuhosti volbu **ortotropní** nebo **ortotropní membrána** (viz kapitola 4.4). Zpřístupní se tak tlačítko [Upravit parametry typu plochy...] v

dialogu, popř. v tabulce.



Obrázek 4.121 Dialog *Upravit tuhost plochy - Ortotropní*



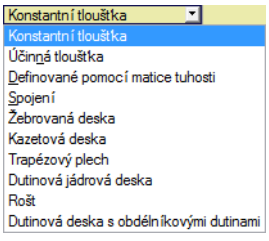
Obrázek 4.122 Tabulka 1.12 *Ortotropní plochy a membrány*

Otevře se dialog, který obsahuje v závislosti na zvoleném *typu ortotropie* několik záložek.

V sekci *Součinitele násobení tuhosti* lze tuhost redukovat buď celkově součinitelem K nebo jednotlivě u složky tuhosti v ohybu, v kroucení, ve smyku nebo u složky membránové tuhosti (viz Součinitele násobení tuhosti).

V záložce *Matice tuhosti* se vždy zobrazí příslušné prvky matice (viz obr. 4.121).

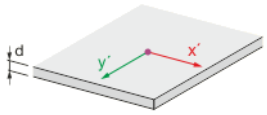
Při importu z RFEMu 4 se prvky matice tuhosti upraví pomocí rovnice 4.1 .



Typ ortotropie

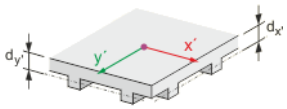
Ortotropní plochy lze zadat tak, že definujeme příslušné parametry při zadání materiálu či geometrie, nebo můžeme také přímo definovat součinitele lokální matice tuhosti. Podle vybrané možnosti se pak zobrazí či naopak zmizí určité záložky v dialogu.

Jednotlivé typy ortotropie popíšeme na následujících stránkách. Ať už je způsob zadání jakýkoli, je nezbytné uvést *ekvivalentní tloušťku*, která se má uvažovat při výpočtu vlastní tíhy.



Konstantní tloušťka

V programu se použijí vlastnosti materiálu, které uživatel zadal v dialogu *Materiálový model - ortotropní* (viz obr. 4.48). Tento typ je vhodný pouze pro homogenní plochy s rovnoměrnou tloušťkou z materiálu, který vykazuje zjevné ortotropní vlastnosti.



Účinná tloušťka

V záložce *Účinná tloušťka* můžeme zadat odlišnou tloušťku ve směru osy x' a y', což v důsledku vede k rozdílným hodnotám tuhosti.

Při výpočtu vlastní tíhy se nebudou uvažovat tloušťky zadané v tomto dialogu, ale zohlední se tloušťka plochy, kterou jsme uvedli v dialogu *Upravit plochu*, resp. v tabulce 1.4 *Plochy*.

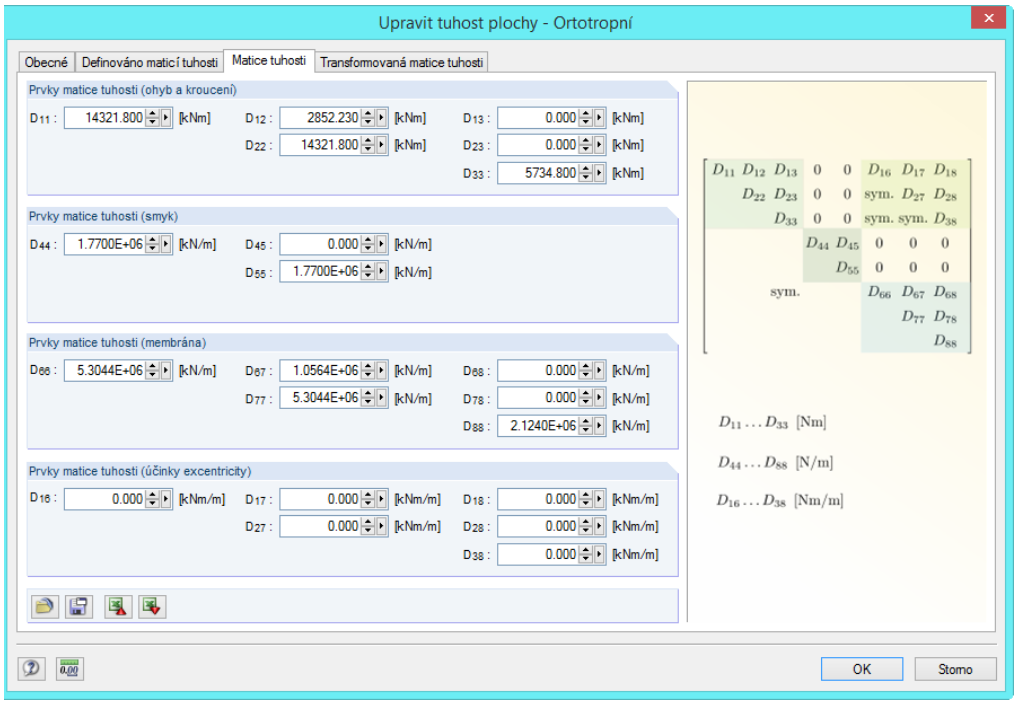
Pro kontrolu se zobrazí moduly pružnosti a smykové moduly použitého materiálu (viz kapitola 4.3). Další možností je definovat ortotropní vlastnosti při zadání materiálu a pro směry x' a y' nastavit stejnou tloušťku.

Pro ortotropní plochy se nespočítají žádná napětí: různé součinitele násobení tuhosti by vedly k „nepřesným výsledkům“, neboť se vychází z průměrné tloušťky. Daná napětí pak neodpovídají ortotropnímu modelu.

Matice tuhosti

Koeficienty lokální matice tuhosti lze stanovit také ručně.

Při tomto způsobu zadání může uživatel upravovat také již vygenerované součinitele (např. v případě spojení nebo žebrového stropu).



Obrázek 4.123 Dialog *Upravit tuhost plochy - Ortotropní*, záložka *Matice tuhosti*

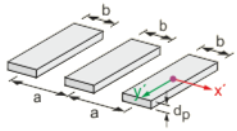
Pomocí tlačítka [Informace o prvcích matice tuhosti] zobrazíme informace o úloze jednotlivých součinitelů v matici tuhosti.

Pokud se osy ortotropie neshodují s osami souřadného systému daného prvku, musí se matice transformovat (viz [4] , str. 305 - 313).

Pokud se při kontrole před výpočtem ukáže, že matice tuhosti nebyla zadána v kladných hodnotách,

je potřeba příslušné součinitele upravit.

Spojení



Tato volba umožňuje modelovat spojení ploch nebo prutů spojovacími prvky z izotropního nebo ortotropního materiálu.

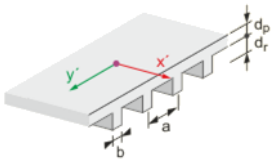
V záložce *Spojení* je třeba zadat tloušťku spojení d_p, vzdálenost mezi spojeními *a* a šířku spojení *b* podle uvedeného schématu. Realistického modelu spojení dosáhneme, pokud zadáme vzdálenost *a* větší, než je šířka *b* spojených prvků.

Účinná tloušťka *d** se spočítá pomocí následující rovnice:

$$d^* = d_p \frac{b}{a}$$

Rovnice 4.21

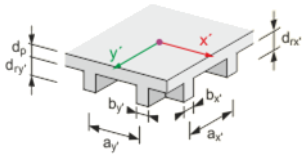
Žebrovaná deska



Ortotropie žebrového stropu je založena na principu jednoose napjatého deskového nosníku. Tuhosti se v RFEMu spočítají na základě tloušťky desky d_p, výšky žebra d_r, vzdálenosti mezi žebry *a* a šířky žebra *b*, tyto geometrické parametry je třeba zadat v záložce *Žebrovaná deska* podle uvedeného schématu.

Je třeba upozornit na to, že rozvoj trhlin (např. stav II u železobetonových ploch) se při výpočtu tuhostí **nezohledňuje**. Přípustné jsou pouze izotropní materiály.

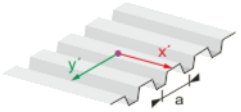
Kazetová deska

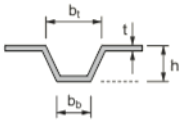


Tento typ stropu je charakterizován trámy v obou navzájem kolmých směrech, které se kříží v pravidelných vzdálenostech, a tak vznikají čtvercová nebo obdélníková pole. Ortotropní vlastnosti lze popsat stejně jako u žebrového stropu (viz výše) pomocí příslušných geometrických parametrů. V tomto případě je třeba zadat tuhostní charakteristiky ve dvou směrech.

V záložce *Kazetová deska* stanovíme tloušťku desky d_p a dále výšku žebra d_r, vzdálenost mezi žebry *a* a šířku žebra *b* vždy pro směr x' a y' podle uvedeného schématu.

Trapézový plech

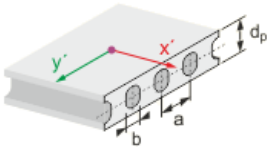


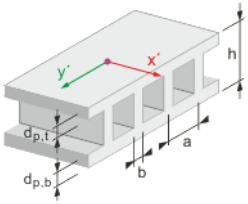


Možnost modelovat trapézové plechy jako plochy s ortotropními vlastnostmi výrazně usnadňuje modelování konstrukce. RFEM stanoví součinitele tuhosti na základě geometrických parametrů profilu. Přípustné jsou pouze izotropní materiály.

V záložce *Trapézový plech* je třeba zadat tloušťku plechu *t*, celkovou výšku průřezu *h*, vzdálenost mezi žebry *a*, šířku horní pásnice b_t a šířku dolní pásnice b_b podle uvedeného schématu.

Dutinová deska s kulatými/obdélníkovými dutinami

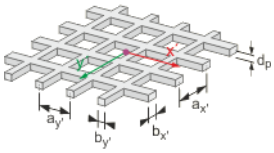




Dutinové stropní vložky snižují vlastní tíhu desky, přispívají ovšem k ortotropnímu chování. RFEM stanoví tuhosti na základě tloušťky desky d_p, resp. výšky průřezu *h* a šířky horní/dolní pásnice d_p, vzdálenosti dutého tělesa, resp. vzdálenosti mezi žebry *a* a dále průměru dutého tělesa, resp. šířky žebra *b*. Tyto parametry je třeba zadat v záložce *Dutinová deska* podle uvedeného schématu.

Stejně jako u ostatních typů geometrické ortotropie (účinná tloušťka, žebrovaná deska, trapézový plech, kazetová deska, rošt) jsou přípustné pouze izotropní materiály.

Rošt

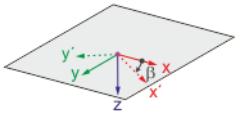


Rošt můžeme modelovat nejen jako prutovou konstrukci, nýbrž také jako ortotropní plochu. Stejně jako u ostatních typů geometrické ortotropie jsou přípustné pouze izotropní materiály.

RFEM stanoví součinitele tuhosti na základě tloušťky desky d_p, vzdálenosti mezi žebry $a_{x'}$ a $a_{y'}$ dále šířky žebra $b_{x'}$ a $b_{y'}$, tyto parametry se zadávají v záložce *Rošt* tohoto dialogu podle uvedeného schématu.

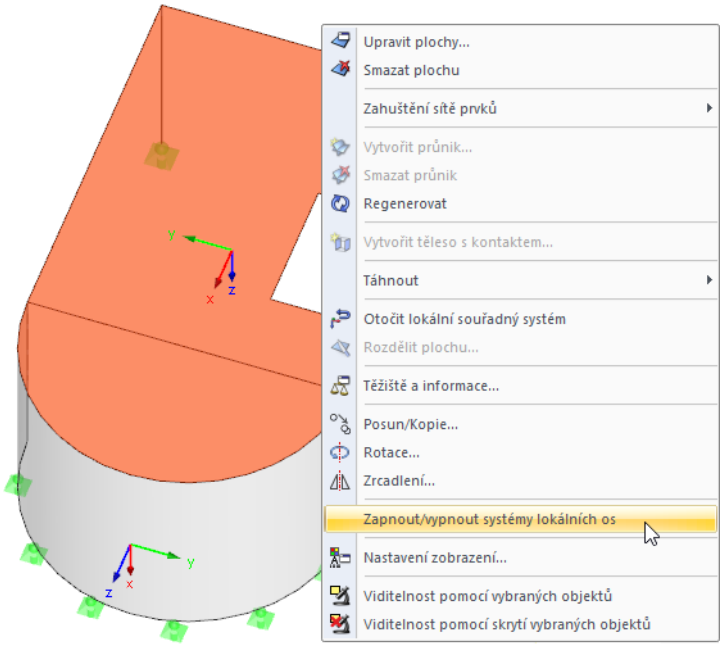
Podrobné informace o výpočtu jednotlivých složek tuhosti na základě zadaných geometrických údajů poskytuje dokument v angličtině, který si můžete vyžádat u naší společnosti Dlubal Software.

Směr ortotropie β



Směr ortotropie je vztažen k lokálním osám plochy x a y. Úhel β udává natočení osy x' okolo lokální osy x dané plochy. Na něm závisí, zda dojde k transformaci matic, příslušné údaje se zobrazí v záložce *Transformovaná matice tuhosti*.

Souřadné systémy ploch můžeme zobrazit zaškrtnutím příslušné položky v navigátoru *Zobrazit* nebo příkazem z místní nabídky plochy (viz obr. 4.122).



Obrázek 4.124 Místní nabídka plochy s příkazem pro zobrazení lokálního osového systému plochy

Kladný úhel β je definován jako pravotočivý okolo kladné lokální osy z dané plochy.

Součinitele násobení tuhosti

Tuhost lze redukovat buď celkově součinitelem k, nebo můžeme redukovat jednotlivé složky tuhosti v ohybu, v kroucení, ve smyku nebo složky membránové tuhosti (viz rovnice 4.20).

Pro všechny prvky tuhosti

Všechny koeficienty matice tuhosti se vynásobí tímto součinitelem.

Pro prvky ohybové a torzní tuhosti

Součinitelem k_b lze upravit koeficienty D_{11}, D_{12}, D_{22} a D_{33}, které v matici tuhosti představují složky ohybové tuhosti. Přípustná je hodnota součinitele v rozmezí 0 (žádná tuhost v ohybu) a 1 (naprostá tuhost v ohybu).

Pro prvky tuhosti v kroucení

V políčku k_{33} se zadává součinitel pro tuhost v kroucení D_{33} okolo osy x' a y'. Rozmezí přitom sahá od 0 (žádná tuhost v kroucení) do 1 (naprostá tuhost v kroucení). Menší hodnotu doporučujeme zadat např. v případě spřažených konstrukcí s polotuhými spoji.

Pro prvky smykové tuhosti

Součiniteli k_{44} a k_{55} lze ovlivnit koeficienty D_{44} a D_{55} v matici tuhosti (složky smykové tuhosti).

Prvky tuhosti membrány

Součinitelem k_m lze upravit koeficienty D_{66}, D_{77}, D_{67} a D_{88}, které v matici tuhosti představují složky normálových sil. Přípustná je hodnota součinitele v rozmezí 0 (žádná membránová tuhost) a 1 (naprostá membránová tuhost).

4.13 Průřezy

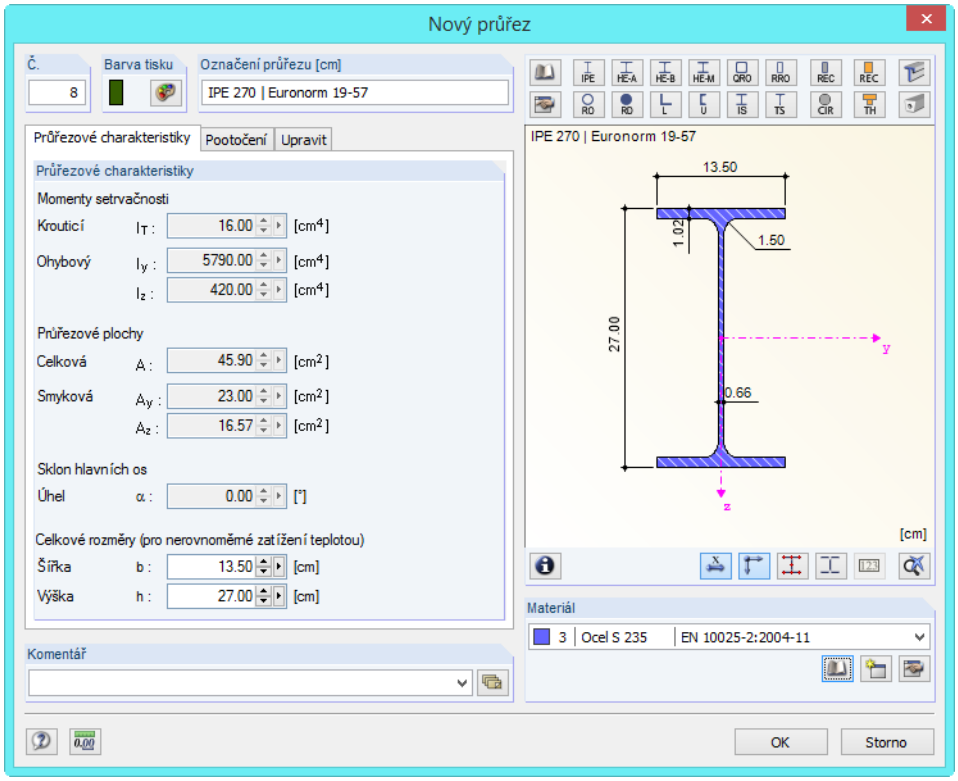
Obecný popis

Před vytvořením prutu v programu je třeba definovat průřez. Průřezové charakteristiky a vlastnosti materiálu určují tuhost prutu.

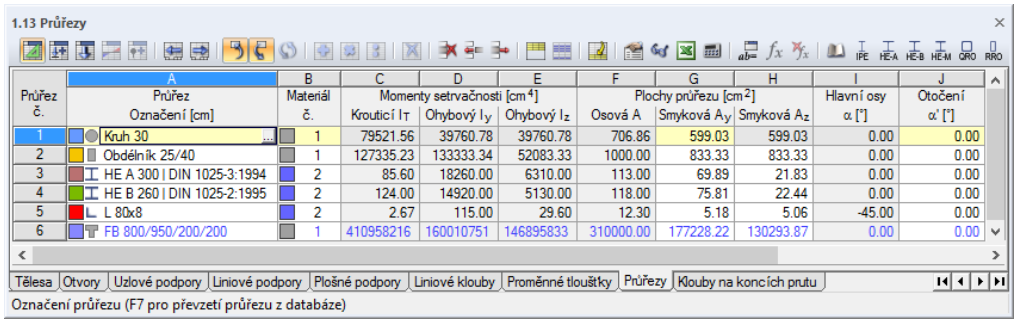
Každý průřez má přiřazenou určitou *barvu*, což umožňuje rozlišit na první pohled v modelu různé profily. Zobrazení lze nastavit v navigátoru *Zobrazit* v položce *Barvy v grafice podle* (viz kapitola 11.1.9).

Ne každý definovaný průřez se musí v modelu použít. Při modelování konstrukce tak lze experimentovat bez nutnosti mazat průřezy. Je ovšem třeba upozornit na to, že průřezy nelze přečíslovat.

Nosník s náběhy uživatel namodeluje tak, že definuje rozdílný průřez na počátku a na konci prutu. RFEM pak automaticky spočítá proměnnou tuhost po celé délce prutu.



Obrázek 4.125 Dialog *Nový průřez*, záložka *Průřezové charakteristiky*



Obrázek 4.126 Tabulka 1.13 *Průřezy*

Průřezové charakteristiky není třeba zadávat ručně. K dispozici je rozsáhlá databáze průřezů, kterou lze dále rozšiřovat, a průřezy lze do programu také importovat.

Označení průřezu

Uživatel může zvolit pro průřez libovolné *označení*. Pokud se vyplněný název shoduje s některou položkou v databázi průřezů, načte RFEM parametry průřezu. Hodnoty *momentů setrvačnosti* a osové *plochy A* průřezu nelze v tomto případě upravovat. Pokud uživatel zadá dosud neznámé označení průřezu, může v těchto polích hodnoty vyplnit ručně.

Průřezové charakteristiky se automaticky přebírají i v případě parametrických profilů. Pokud zadáme např. „Obdélník 80/140“, načtou se parametry daného profilu do příslušných polí. Výběr průřezů z databáze popisujeme níže.

Pro modelování vazby lze použít také tuhý „dummy“ průřez, u něhož se spočítá tuhost stejně jako v případě spojovacího prutu. V poli pro označení průřezu uvedeme „Dummy Rigid“ a pak již nemusíme definovat žádné hodnoty. Lze tak používat pruty s vyšší tuhostí a přitom zohlednit klouby a jiné vlastnosti prutu. RFEM 5 ovšem nabízí nově také typ prutu Tuhý prut; zadání *Dummy Rigid* průřezu je pak zbytečné.

Materiál č.

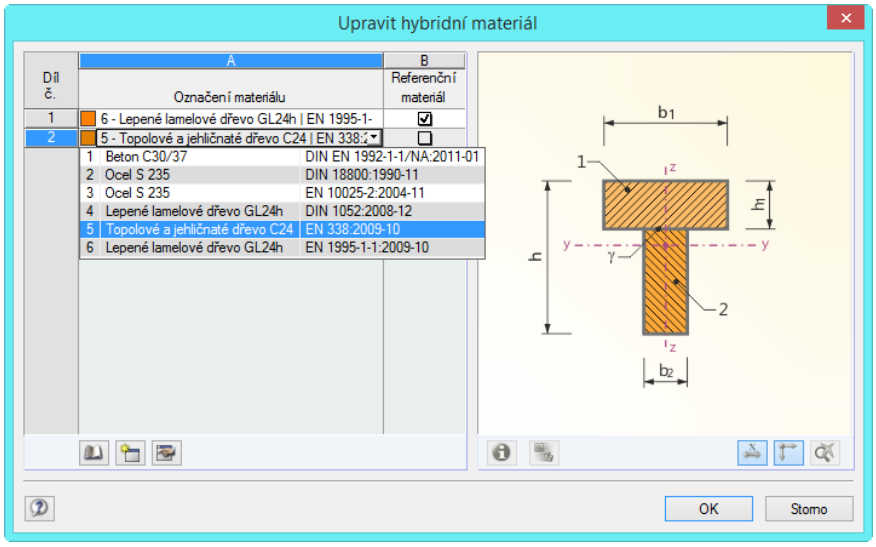
Uživatel může vybrat některou položku ze seznamu již definovaných materiálů. Přiřadit požadovaný materiál je snazší díky barvám, které se standardně používají k zobrazení jednotlivých materiálů v grafickém zobrazení v renderovacím režimu.

V dialogu *Nový průřez* se pod seznamem materiálů nacházejí tři tlačítka. Slouží k otevření databáze materiálů, k založení nového nebo úpravě již zadaného materiálu.

Materiály jsou podrobně popsány v kapitole 4.3.

Hybridní materiál lze použít pouze v případě parametrických dřevěných průřezů. Určitým částem průřezu tak lze přiřadit specifické materiálové vlastnosti, pokud se jakost materiálu liší (např. dřevo nižší třídy stojinám).

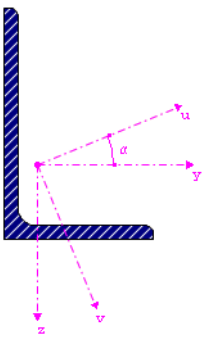
Pomocí vlevo znázorněného tlačítka [Upravit] otevřeme dialog *Upravit hybridní materiál*.



Obrázek 4.127 Dialog *Upravit hybridní materiál*

Materiály přiřadíme jednotlivým částem průřezu podle grafického schématu. Můžeme je vybrat ze seznamu. Jeden ze zvolených materiálů pak stanovíme jako *referenční materiál* pro výpočet ideálních průřezových hodnot.

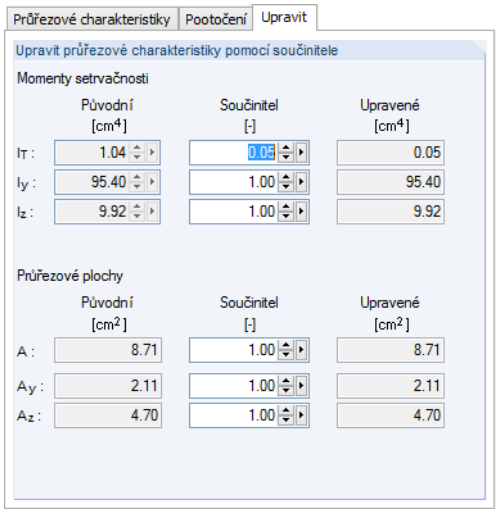
Momenty setrvačnosti



Tuhost průřezu je definována momenty setrvačnosti. Moment setrvačnosti v kroucení I_T udává tuhost při kroucení okolo podélné osy, plošné momenty 2. stupně I_y a I_z tuhost při ohybu okolo lokálních os y a z. Osa y je chápána jako hlavní - „silná“ osa. V grafickém okně v dialogu *Nový průřez* jsou znázorněny lokální osy průřezu.

U nesymetrických profilů se uvádějí momenty setrvačnosti okolo hlavních os u a v průřezu.

Momenty setrvačnosti a průřezové plochy můžeme pomocí součinitelů změnit v záložce *Upravit*. Z tabulky nám do této záložky umožňuje přístup tlačítko ..., které se zobrazí po kliknutí do příslušné buňky. Součinitel, kterým se upraví průřezová plocha A, přitom nebude mít žádný vliv na tíhu průřezu.



Obrázek 4.128 Dialog *Nový průřez*, záložka *Upravit*

V případě zadání, které vidíme na obr. 4.126, se moment setrvačnosti zohlední pouhými 5%.

Multiplikační faktor průřezových hodnot se standardně zohledňuje pouze u kombinací zatížení (viz obr. 21).
U zatěžovacích stavů jsou všechny součinitele násobení tuhosti automaticky deaktivovány, takže je v případě potřeby nutné zaškrtnout příslušné *Možnosti*.

Plochy průřezu

V této sekci parametrů průřezu se uvádějí následující plochy průřezu: celková osová *A*, *smyková* A_y a *smyková* A_z.

Smyková plocha A_y souvisí s momentem setrvačnosti I_z, smyková plocha A_z s momentem setrvačnosti I_y. Vztah mezi smykovými plochami A_y a A_z a celkovou plochou A lze pomocí korekčního faktoru κ vyjádřit následovně:

$$A_y = \frac{A}{\kappa_y}; \quad A_z = \frac{A}{\kappa_z}$$

Rovnice 4.22

$$\kappa_{y/z} = \frac{A}{I_{z/y}^2} \cdot \iint_A \frac{S_{z/y(x)}^2}{t_{(x)}^2} dA$$

Rovnice 4.23

kdy

A : celková plocha průřezu

$I_{z/y}$: momenty setrvačnosti průřezu

$S_{z/y(x)}$: průřezové statické momenty v daném místě x

$t_{(x)}$: šířka průřezu v daném místě x

Smykové plochy A_y a A_z mají vliv na smykové přetvoření, které je třeba zohlednit především v případě krátkých, masívních průřezů. Pokud se smykové plochy nastaví na nulovou hodnotu, k vlivu smyku se nepřihlíží. Příslušné údaje lze nastavit v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Globální parametry výpočtu* (viz obr. 7.27). Uvedeme-li u smykových ploch velmi malé hodnoty, můžou při výpočtu nastat problémy, protože smykové plochy jsou obsaženy ve jmenovateli příslušných rovnic.

Další informace o smykových plochách najdete v následujícím odborném článku:
https://www.dlubal.cz/cs/podpra-a-školení/podpora/databáze-znalostí/000966

Hodnoty průřezových ploch je třeba zvolit realisticky. Při extrémních rozdílech v průřezových plochách vznikají velké rozdíly v tuhosti, které mohou způsobit problémy při řešení soustavy rovnic.

Úhel hlavních os α

Hlavní osy u symetrických průřezů se označují jako y a z, u nesymetrických průřezů jako u a v (viz výše). Úhel sklonu hlavních os α udává polohu hlavních os vzhledem ke standardnímu osovému systému symetrických průřezů. U nesymetrických průřezů se jedná o úhel, který svírá osa **y** a osa **u** (viz obrázek výše na okraji). Úhel je definován jako kladný ve směru hodinových ručiček. Pro symetrické průřezy platí α = 0°. Sklon hlavních os u průřezů z databáze nelze měnit.

Úhel natočení hlavních os se počítá pomocí následující rovnice:

$$\tan 2\alpha = \frac{2 I_{yz}}{I_z - I_y}$$

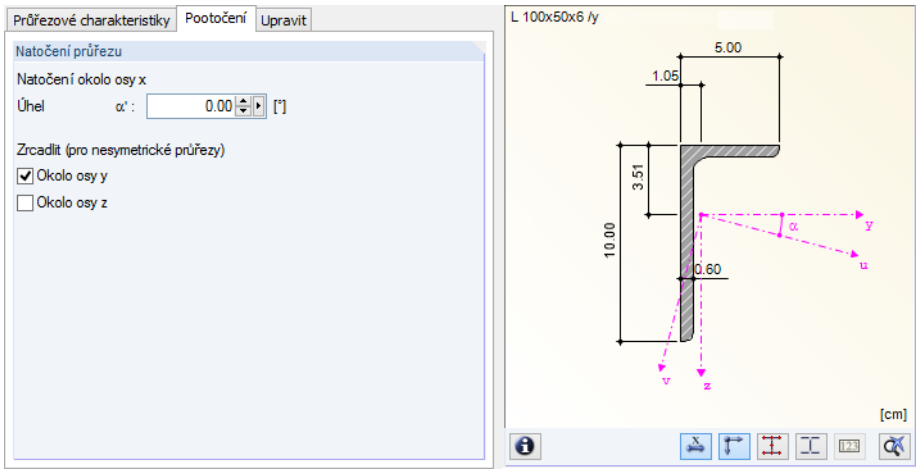
Rovnice 4.24

U 2D modelů je přípustný pouze úhel natočení průřezu 0° či 180°.

Otočení α'

Úhel natočení α' udává úhel, o který jsou natočeny profily všech prutů s daným průřezem. Jedná se tak o globální úhel natočení průřezu. Každý prut zvlášť pak může být dále natočen o úhel β.

V záložce *Pootočení* (viz obr. 4.127) může uživatel dále vybrat v případě nesymetrických průřezů volbu *Zrcadlit*. Tímto způsobem můžeme například uvést do správné polohy průřez L.



Obrázek 4.129 Dialog *Nový průřez*, záložka *Pootočení*

Pokud přebíráme průřez z databáze průřezů nebo z modulu SHAPE-THIN, nemusíme se o úhel α' starat. RFEM načte tento úhel spolu s ostatními průřezovými hodnotami automaticky. V případě uživatelsky definovaných průřezů musí ovšem uživatel úhel vypočítat sám a ručně zadat do programu.

Celkové rozměry

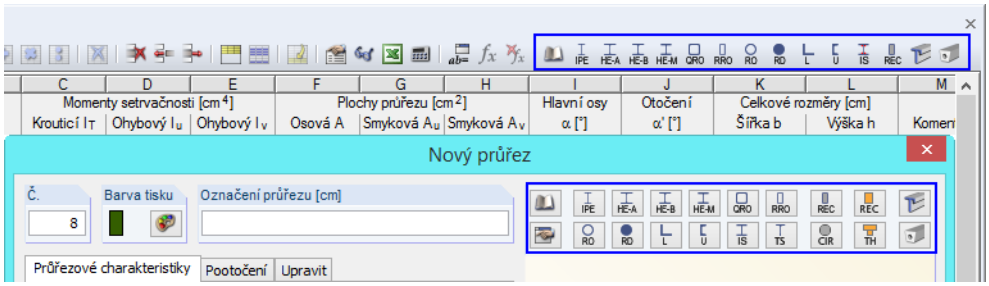
Šířka b a *výška* h průřezu mají význam pro zatížení teplotou.

Databáze průřezů

Databáze obsahuje značný počet průřezů.

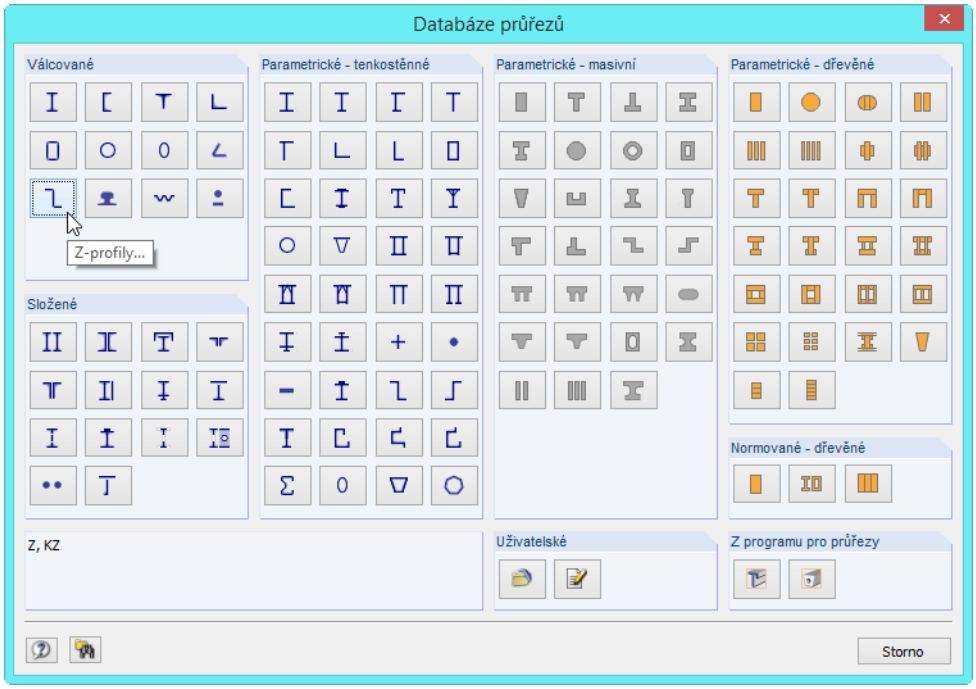
Otevření databáze

Vpravo v horní části dialogu *Nový průřez* i v tabulce 1.13 *Průřezy* se nacházejí tlačítka, která nabízí přímý přístup k často používaným řadám průřezů.



Obrázek 4.130 Tlačítka často používaných řad průřezů v tabulce (výše) a v dialogu (níže)

Celou databázi průřezů vyvoláme kliknutím na tlačítko [Převzít průřez z databáze...]. V tabulce můžeme dále databázi otevřít tak, že umístíme kurzor myši do sloupce A a následně klikneme na tlačítko nebo stiskneme klávesu [F7].



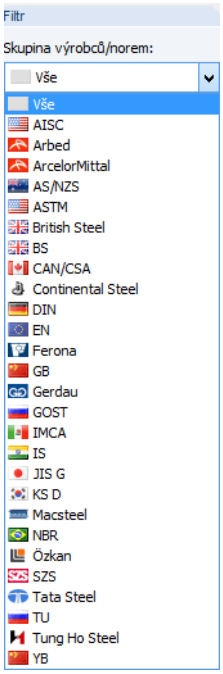
Obrázek 4.131 Databáze průřezů

Databáze průřezů je rozdělena do několika částí, o kterých se blíže zmíníme na následujících stránkách.

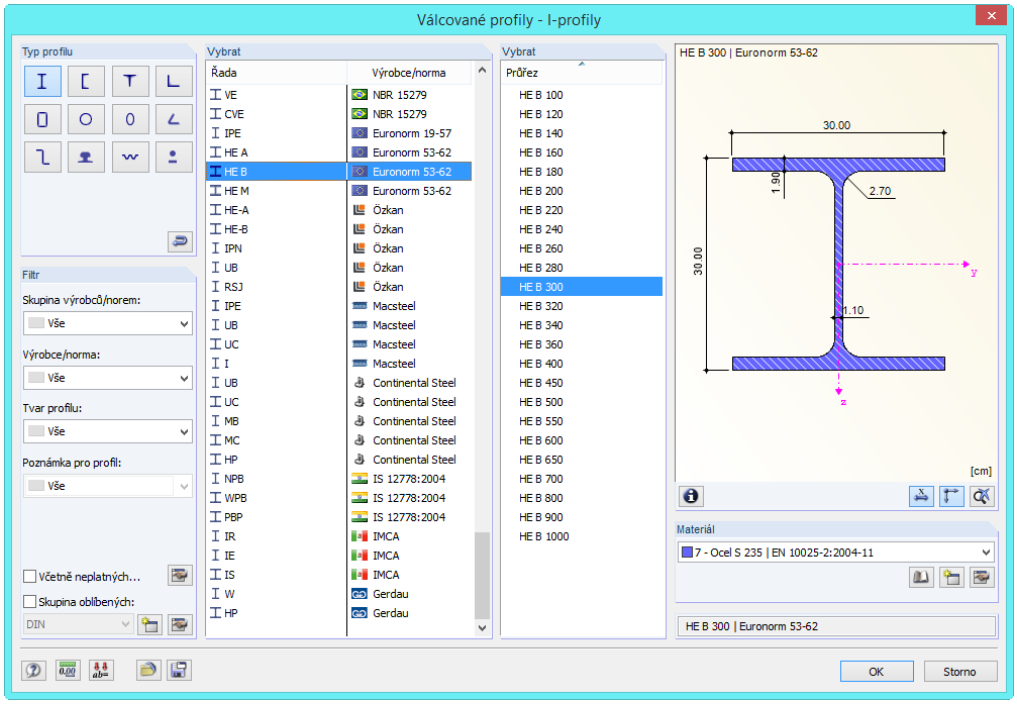
Válcované průřezy

Tabelované hodnoty mnoha válcovaných průřezů jsou uloženy v databázi.

Kliknutím na některé z příslušných 12 tlačítek nejdříve vybereme *typ průřezu*. Otevře se okno, v jehož střední části stanovíme řadu průřezů a z ní pak vybereme vhodný *průřez*.



Filtrování podle *skupiny výrobců/norem*

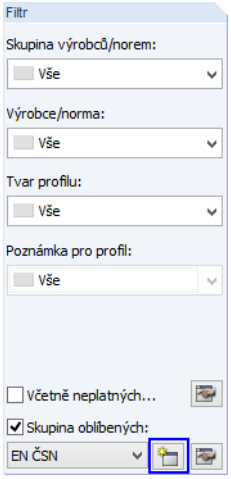


Obrázek 4.132 Výběr válcovaného profilu

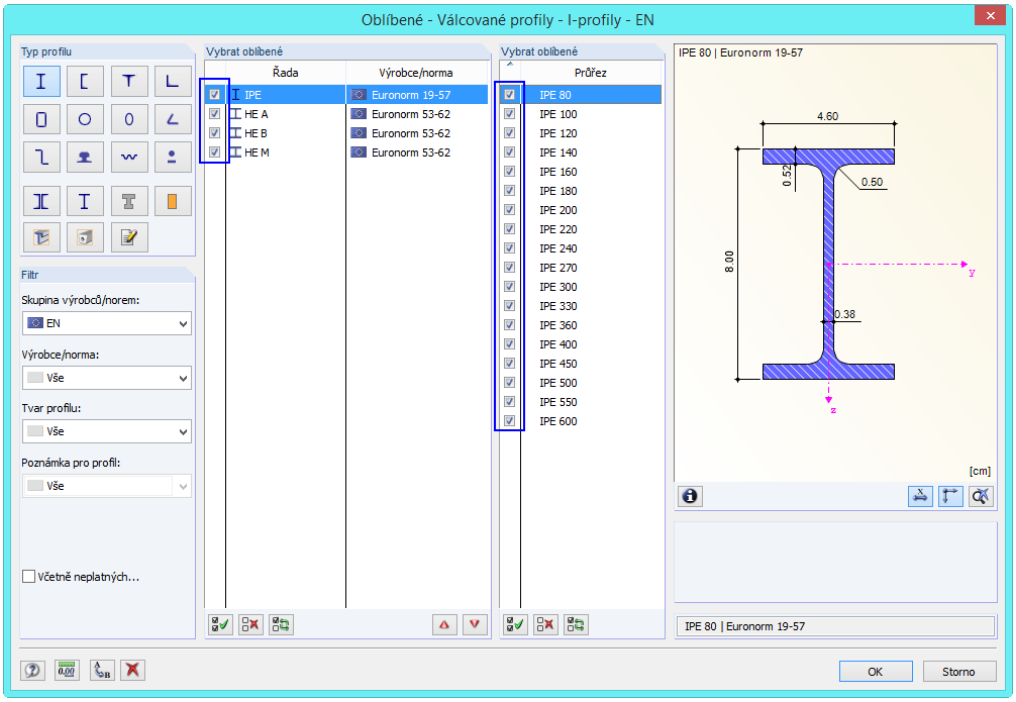
V sekci *Filtr* lze nastavit filtrování položek v databázi podle kritérií *Skupina výrobců/norem*, *Výrobce/norma*, *Tvar profilu* a *Poznámka pro profil*. Nabídka řad a jednotlivých průřezů se tím zpřehlední. Průřezy lze roztřídit po kliknutí na nadpisy sloupců.

Jestliže potřebujeme zobrazit průřezy ze starších norem, zaškrtneme v sekci *Filtr* políčko *Včetně neplatných...*

Určení oblíbených průřezů



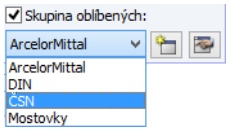
Určité průřezy může uživatel označit za oblíbené. Dialog, v němž můžeme založit oblíbené průřezy, vyvoláme kliknutím na tlačítko [Vytvořit novou skupinu oblíbených...]. Tlačítko se nachází v pravé dolní části sekce *Filtr*. Po pojmenování nové skupiny oblíbených průřezů se otevře následující dialog:



Obrázek 4.133 Dialog *Oblíbené - Válcované profily - I-profily*

Dialog má stejnou strukturu jako databáze průřezů. Po levé straně máme k dispozici filtry, které jsme již popsali výše. V sekcích *Vybrat oblíbené* můžeme háčkem označit preferované řady a průřezy.

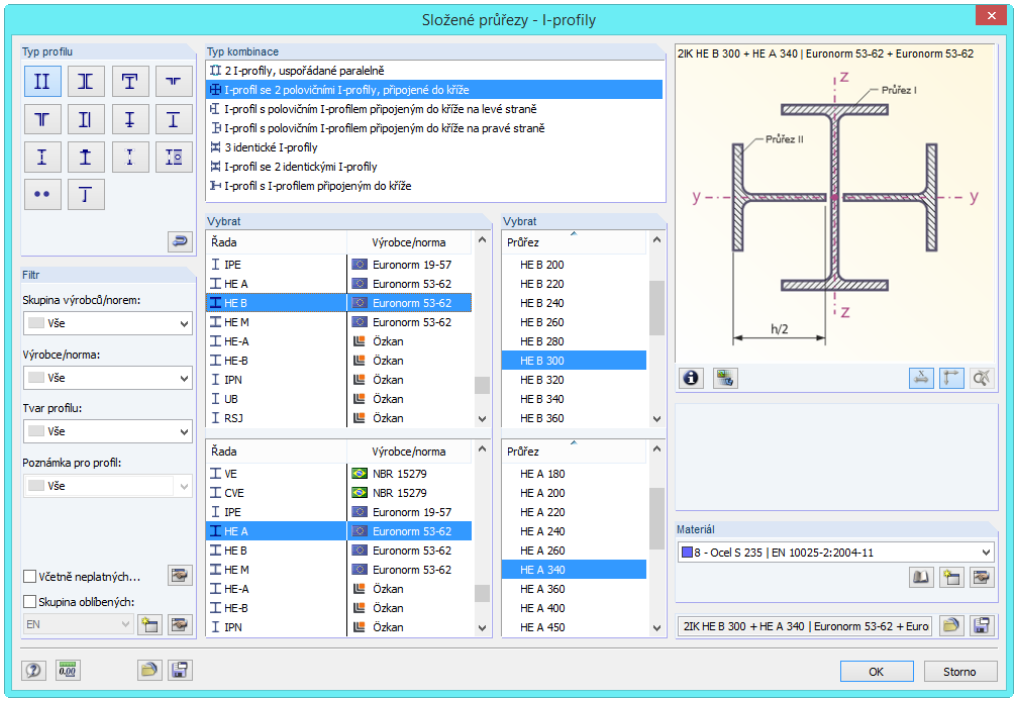
Jakmile tento dialog zavřeme a v databázi průřezů aktivujeme zaškrtávací políčko *Skupina oblíbených...*, bude seznam průřezů mnohem přehlednější.



Tímto způsobem můžeme vytvářet různé skupiny oblíbených průřezů, které pak budeme mít k dispozici v seznamu v dolní části sekce *Filtr*.

Složené průřezy

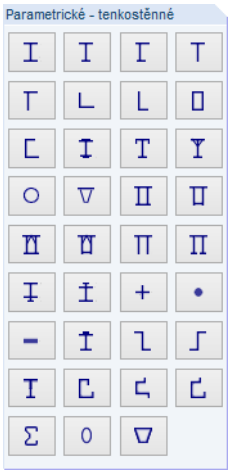
Několik válcovaných profilů lze spojit příslušným nastavením parametrů.



Obrázek 4.134 Dialog *Složené průřezy - I-profily*

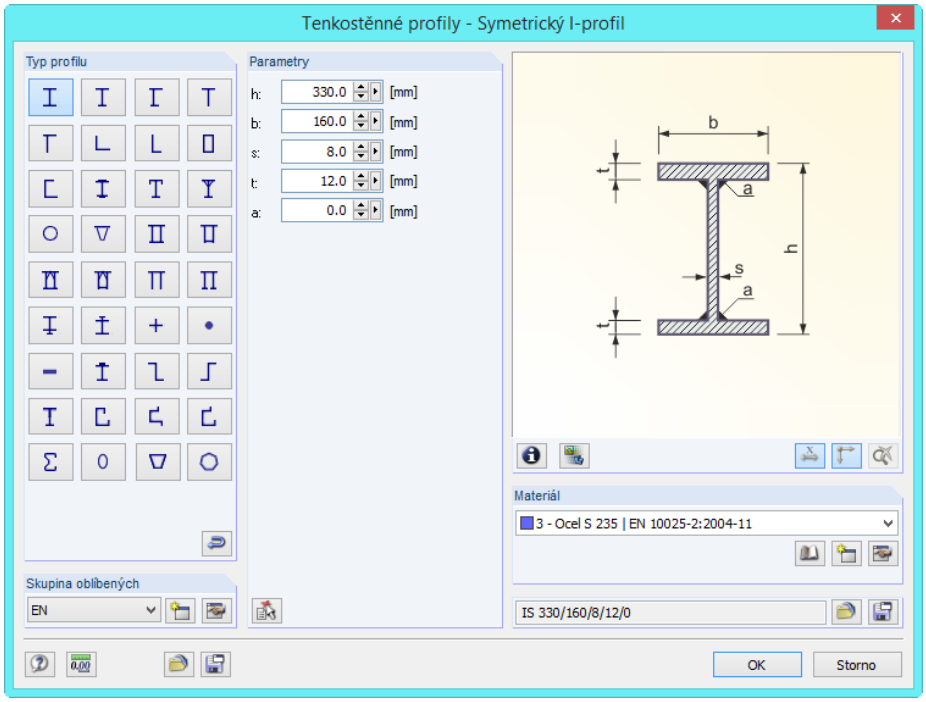
Kliknutím na tlačítko [Uložit průřez jako uživatelsky zadaný] lze spojený průřez uložit pod přesným označením (na obrázku výše se například uloží jako 2IK HE-B 300 + HE-A 340).
Průřez se zařadí do kategorie Uživatelské, z které ho lze později načíst.

Parametrické průřezy - tenkostěnné



U průřezů složených z plechů lze parametry ve vstupních polích zadávat libovolně. Průřezové hodnoty se vypočítají podle teorie pro tenkostěnné průřezy. Platí to ovšem pouze u průřezů, jejichž jednotlivé prvky vykazují podstatně menší tloušťku než délku. Pokud tato podmínka není splněna, měl by být průřez pokud možno definován jako *masivní* (viz obr. 4.134).

Parametr a udává rozměr kořene svaru, ne poloměr zaoblení (viz obr. 4.133). Rozměry svarů mají vliv pouze na délku c/t částí. Neovlivňují však průřezové charakteristiky.



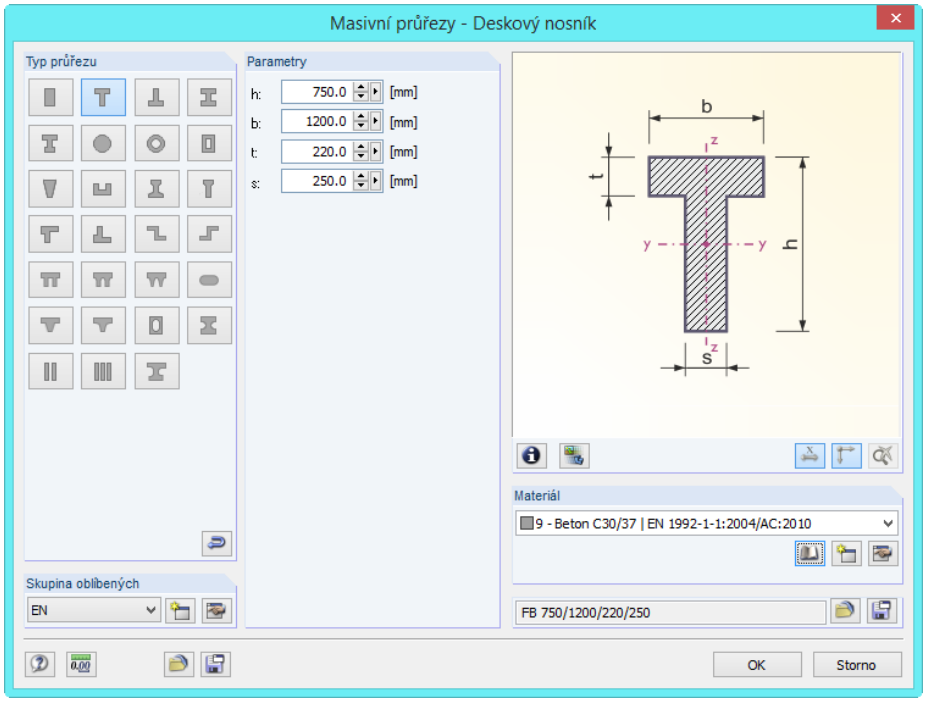
Obrázek 4.135 Vstupní dialog parametrického tenkostěnného průřezu

Pomocí tlačítka vlevo lze převzít parametry určitého válcovaného průřezu a poté případně některé údaje upravit. Často se tak můžeme vyhnout zdlouhavému zadávání mnoha parametrů.

Kliknutím na tlačítko [Uložit průřez jako uživatelsky zadaný] se parametrizovaný průřez uloží pod přesným označením (na obrázku výše se například uloží jako *IS 330/160/8/12/0*). Kliknutím na tlačítko [Načíst uložené parametry průřezu ze souboru...] ho lze znovu načíst.

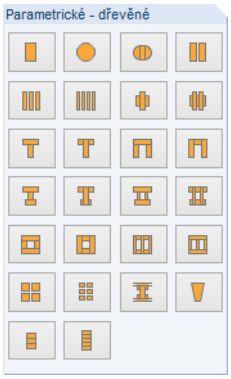
Parametrické průřezy - masivní

Parametry pro zadání masivních průřezů (např. železobetonových průřezů) lze ve vstupních polích definovat libovolně. Hodnoty těchto průřezů se spočítají podle teorie pro tlustostěnné profily. Předpokladem jsou prvky s výraznou tloušťkou stěn.

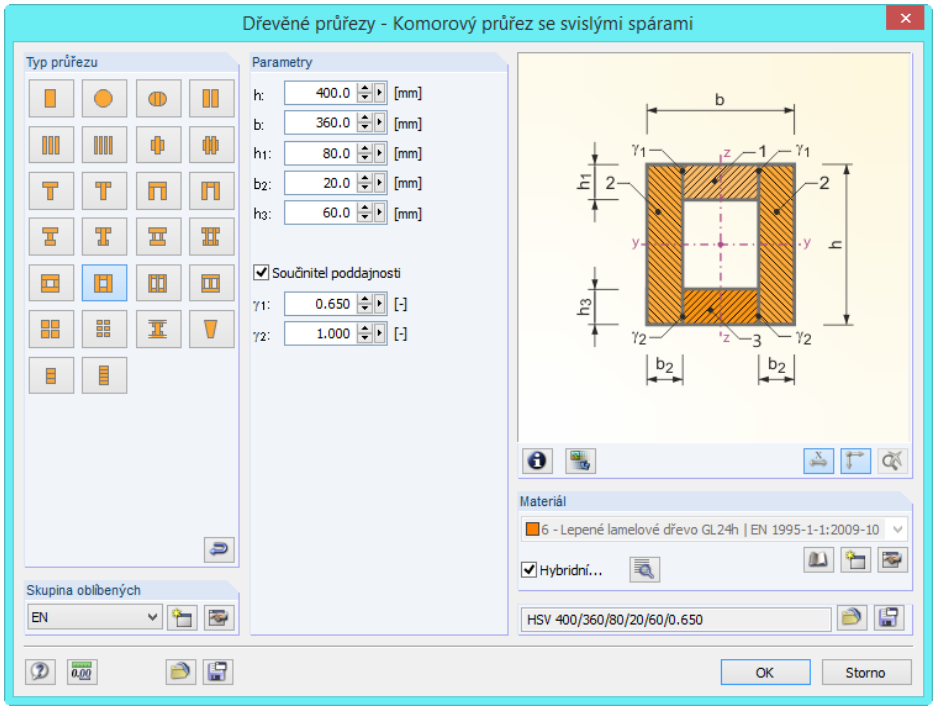


Obrázek 4.136 Vstupní dialog masivního průřezu

Parametrické průřezy - dřevěné



Parametry pro zadání dřevěných průřezů lze ve vstupních polích definovat libovolně. Průřezové hodnoty těchto masivních nebo také složených průřezů se spočítají podle teorie pro tlustostěnné profily.



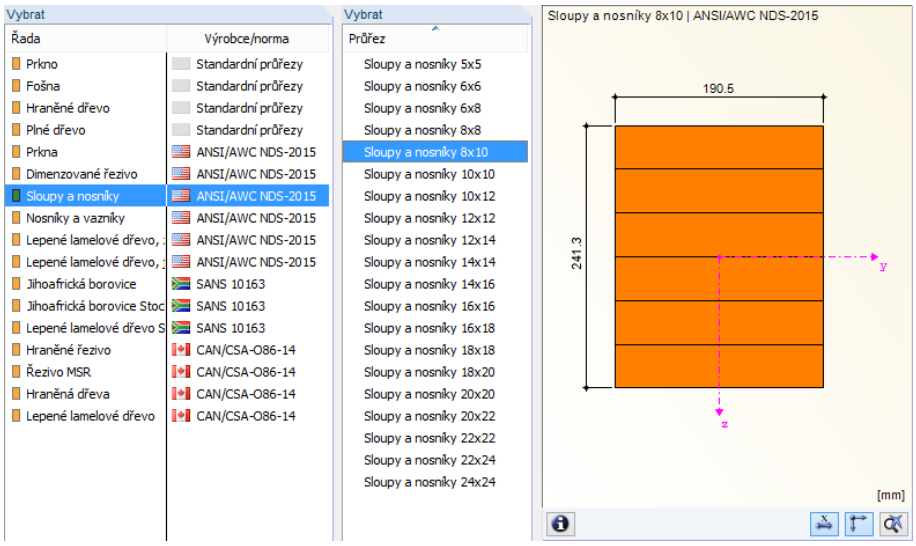
Obrázek 4.137 Vstupní dialog dřevěného průřezu

Pokud se průřez skládá z *polotuhých spojů*, je možné použít účinné tuhosti ohýbaného prutu podle normy EN 1995-1-1 Příloha B.2. Je třeba zadat příslušné redukční součinitele γ. Pro modelování platí omezení podle přílohy B.1.2. Složené tlakové pruty podle Přílohy C tato volba **ne**zahrnuje!

Pokud je typ materiálu *hybridní*, můžeme použít tlačítko [Upravit hybridní materiály...] a přiřadit příslušné vlastnosti jednotlivým částem průřezu (viz obr. 4.125).

Normované průřezy - dřevěné

V dialogu *Normované dřevěné průřezy* můžeme vybírat ze standardních obdélníkových průřezů - prken, fošen, hraněného či plného dřeva. K dispozici tu jsou také normované americké dřevěné průřezy pro posouzení podle AWC či CSA.

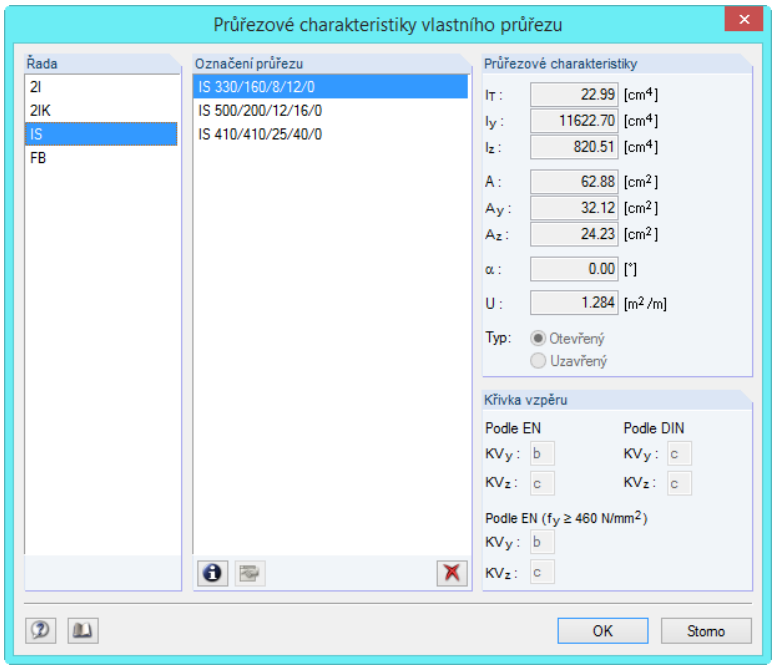


Obrázek 4.138 Normované dřevěné průřezy (výřez z dialogu)

Uživatelské průřezy

- Načtení uloženého průřezu

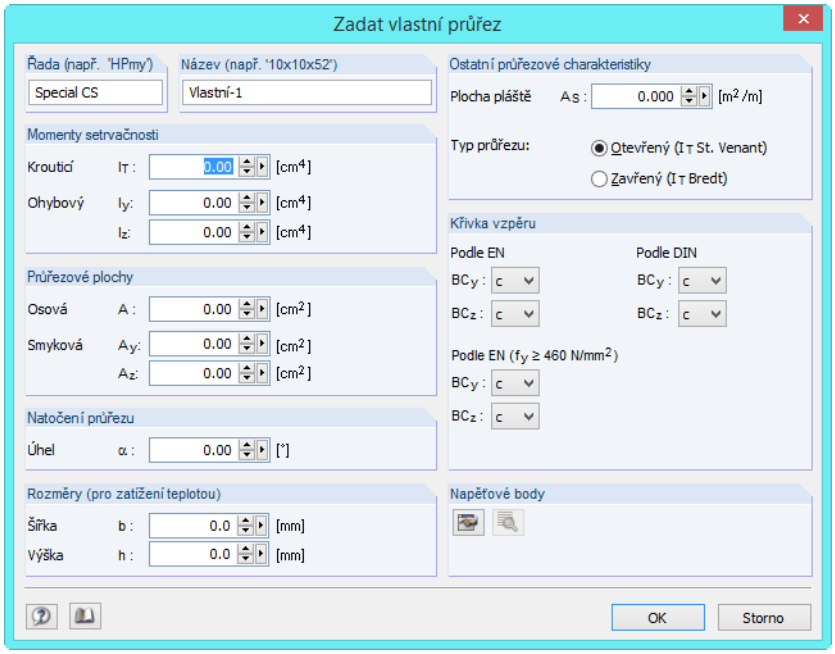
Po kliknutí na tlačítko [Načíst uložené uživatelské průřezy...] se otevře dialog, v němž se zobrazí všechny průřezy, které uživatel.



Obrázek 4.139 Dialog *Průřezové charakteristiky vlastního průřezu*

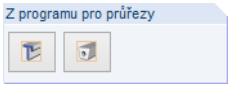
- Zadání vlastního průřezu uživatelem

Po kliknutí na tlačítko [Vytvořit nový uživatelský průřez...] se otevře dialog, v němž lze libovolně definovat průřezové hodnoty.



Obrázek 4.140 Dialog *Zadat vlastní průřez*

Nejdříve zadáme *řadu*, do které bude průřez náležet, a ve vstupním poli *Název* uvedeme označení nového průřezu. Následně v příslušných vstupních polích stanovíme průřezové charakteristiky a vzpěrné křivky.



Průřezy z programů SHAPE

Průřezy lze importovat i z programů **SHAPE-THIN** a **SHAPE-MASSIVE** od naší firmy Dlubal Software.

Před načtením průřezových hodnot musí být průřezy v programu SHAPE-THIN nebo SHAPE-MASSIVE spočteny a uloženy.

Import řady průřezů ze souboru ASCII

Program umožňuje importovat kompletní řady průřezů ze souborů ASCII. Slouží k tomu tlačítko v levé dolní části databáze průřezů. Soubor však musí být ve formátu CSV. Jedná se o textový soubor, v němž jsou jednotlivé sloupce tabulky odděleny středníkem (;). Každý soubor Excel může být uložen v tomto formátu. Důležité ovšem je, aby se syntax řady v souboru ASCII shodovala se zadáním příslušné řady průřezů v RFEMu.

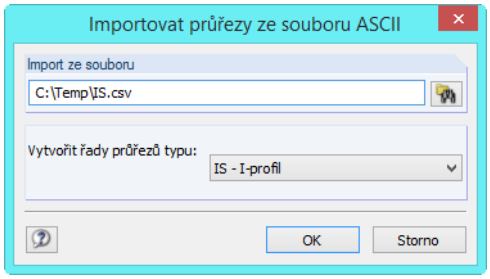
Příklad: Chceme importovat dvouosé symetrické průřezy I.

Tyto průřezy jsou vedeny v programu jako řada **IS** (srov. obr. 4.133). Pro IS průřezy je potřeba zadat tyto parametry: h, b, s, t, a. Tabulka v souboru Excel tedy musí vypadat takto:

	A	B	C	D	E	F
1	Označení	h	b	s	t	a
2	Profil 1	400,00	200,00	10,00	10,00	0,00
3						
4						
5						

Obrázek 4.141 Tabulka Excel s průřezovými parametry

V dialogu pro import průřezů nejdříve uvedeme složku souboru CSV. Poté vybereme v seznamu řadu průřezů, do které budou importované průřezy zařazeny.



Obrázek 4.142 Dialog *Importovat průřezy ze souboru ASCII*

Importované průřezy budou následně k dispozici v kategorii *Uživatelské průřezy* (viz obr. 4.137).

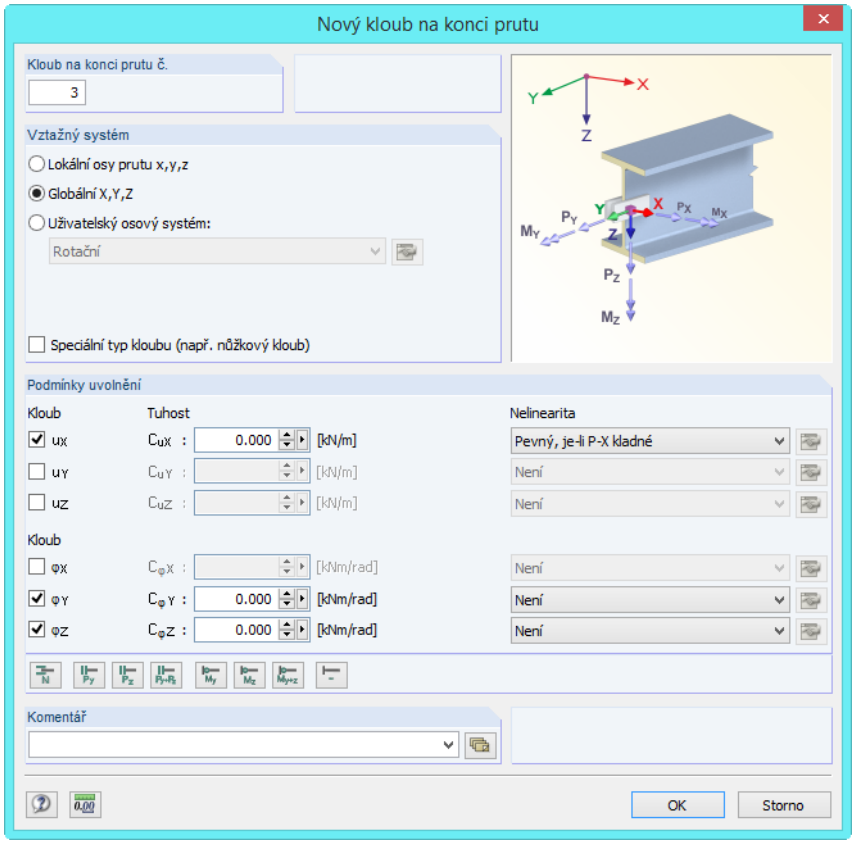
Při importu se spočítají průřezové hodnoty a napěťové body. Bude tak možné provádět i posouzení napětí na průřezech.

4.14 Klouby na koncích prutu

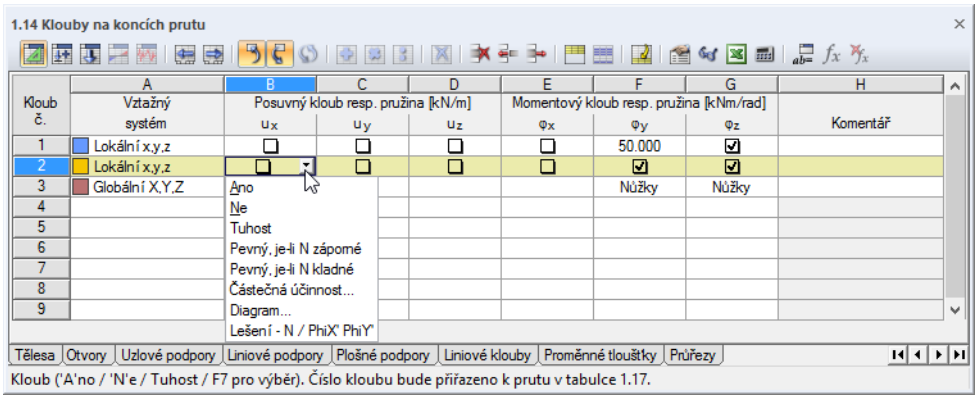
Obecný popis

Koncové klouby prutů omezují vnitřní síly, které se přenášejí z prutu na okolní části konstrukce. Tyto klouby se přiřazují pouze na konce (koncové uzly) prutů čili nelze je přiřadit na jiná místa jako např. na střed prutu.

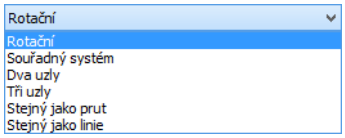
Některé typy prutů jsou již vnitřně opatřeny klouby. Příhradový prut například nepřenáší žádné momenty, lanový prut nepřenáší ani momenty ani posouvající síly. Při zadání prutů to znamená, že prutům tohoto typu již nelze přiřazovat klouby.

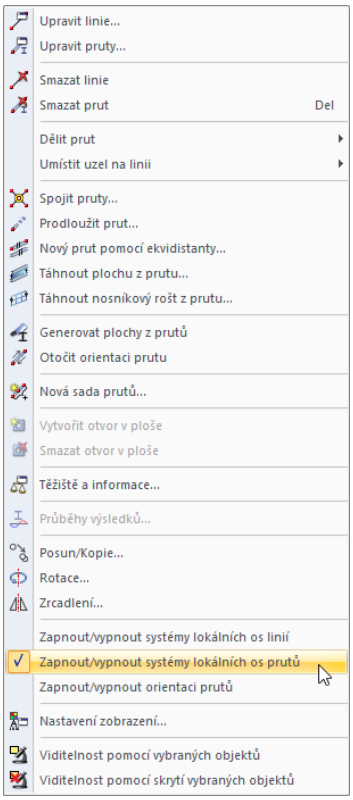


Obrázek 4.143 Dialog *Nový kloub na konci prutu*



Obrázek 4.144 Tabulka 1.14 *Klouby na koncích prutu*





Místní nabídka prutu

Vztažný systém

Koncové klouby prutu lze vztáhnout k následujícím osovým systémům:

- Lokální osový systém prutu x,y,z
- Globální souřadný systém X,Y,Z (volba pro nůžkové klouby)
- Uživatelem zadaný osový systém X',Y',Z'

Lokální osy prutu lze zobrazit z navigátoru *Zobrazit* (viz obr. 4.169) nebo z místní nabídky prutu, kterou vidíme na levém okraji.

Detailní informace k uspořádání lokálních os prutu x,y,z vzhledem ke globálnímu souřadnému systému XYZ najdeme v kapitole 4.17.

Zpravidla jsou klouby vztaženy k *lokálnímu osovému systému x,y,z*. Nůžkové klouby (viz obr. 4.144) je ovšem třeba vztáhnout ke globálnímu souřadnému systému nebo k osovému systému zadanému uživatelem.

Posuvný kloub resp. pružina

Kloub pro normálovou nebo posouvající sílu zadáme v dialogu nebo v tabulce zaškrtnutím příslušného posunu. Označení políčka přitom znamená, že daná normálová, resp. posouvající síla na konci prutu se nebude přenášet, protože tu bude umístěn kloub. V dialogu pro zadání či úpravu se v poli vpravo vedle zaškrtnutého políčka uvede nula pro konstantu tuhosti.

Konstantu tuhosti lze kdykoli upravit např. pro modelování pružného přípoje. V tabulce se konstanta tuhosti uvede přímo do příslušného sloupce. Hodnoty tuhosti je třeba chápat jako návrhové hodnoty.

Momentový kloub resp. pružina

Klouby pro krouticí nebo ohybové momenty se zadávají podobně. I v tomto případě zaškrtnutí políčka znamená, že natočení je možné a příslušná vnitřní síla se nebude přenášet.

Pružné přípoje lze modelovat tak, že zadáme odpovídající konstanty tuhosti. Lze je vyplnit přímo do příslušných polí. Neměly by se přitom používat extrémní hodnoty tuhosti, aby později při výpočtu nenastaly problémy. Místo extrémně velkých či malých konstant tuhosti se doporučuje zadat tuhá spojení (políčko se nezaškrtne) nebo klouby (políčko se zaškrtne).

Možnost definovat nelineární vlastnosti u kloubů popisujeme na konci této kapitoly.

Grafické zadání kloubů

Koncové klouby lze přiřadit prutům také přímo v grafickém okně pomocí nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Klouby na koncích prutu ⟶ Přiřadit prutům graficky...

nebo

Úpravy ⟶ Údaje o modelu ⟶ Klouby na koncích prutu ⟶ Přiřadit prutům graficky...

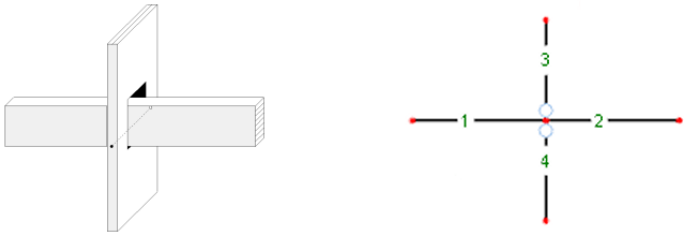
Nejdříve vybereme ze seznamu určitý typ kloubu nebo vytvoříme typ nový. Po kliknutí na tlačítko [OK] se zobrazí pruty rozdělené graficky na třetiny.

Obrázek 4.145 Grafické umístění koncových kloubů na prutu

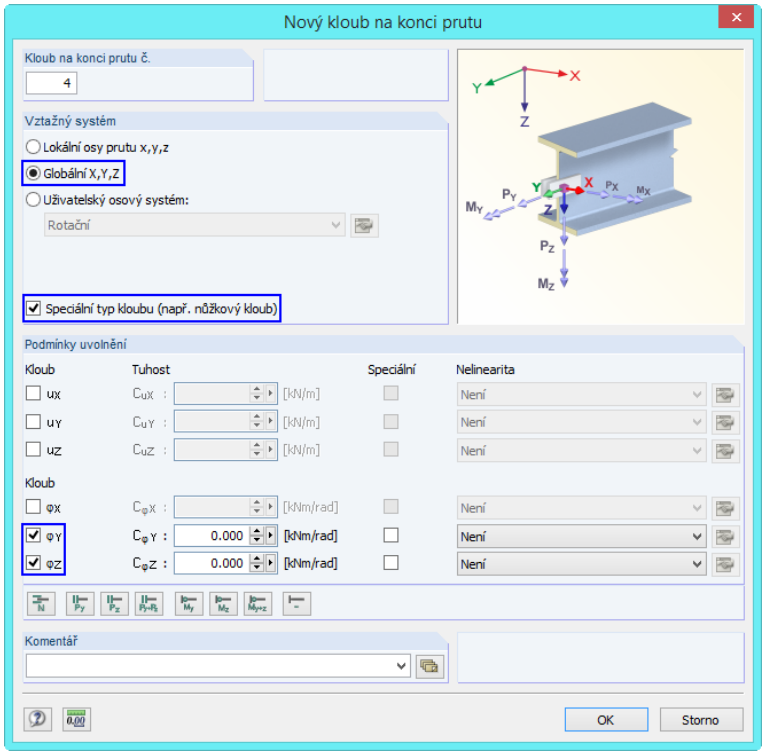
Nyní můžeme myší kliknout na tu stranu prutu, na níž má být umístěn kloub. Pokud klikneme na prut v jeho střední části, přiřadí se kloub oběma koncovým uzlům prutu.

Nůžkový kloub

Nůžkovými klouby lze modelovat místa křížení nosníků. Do jednoho uzlu jsou například připojeny čtyři pruty, z nichž dva přenáší momenty ve svém „průběžném směru“, nepřenáší však žádné momenty na druhý pár prutů. V uzlu se přenáší pouze normálové a posouvající síly.



Obrázek 4.146 Křížení nosníků

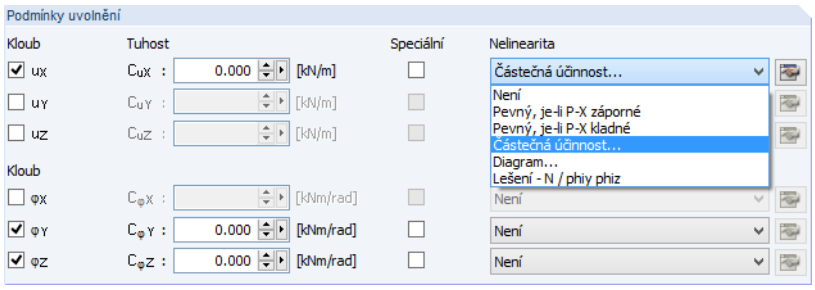


Obrázek 4.147 Dialog *Nový kloub na konci prutu*

Kloub tak přiřadíme buď prutům 1 a 2 **nebo** prutům 3 a 4. Druhý křížící se pár prutů budeme modelovat bez kloubu jako ohybově tuhé spojení.

Nelinearity

Kloubům na koncích prutů lze přiřadit nelineární vlastnosti. Lze tak podrobně nastavit přenos vnitřních sil. Seznam nelinearit nabízí různé možnosti.



Obrázek 4.148 Seznam nelineárních vlastností

V tabulce se typy kloubů s nelineárními vlastnostmi vyznačí modře.

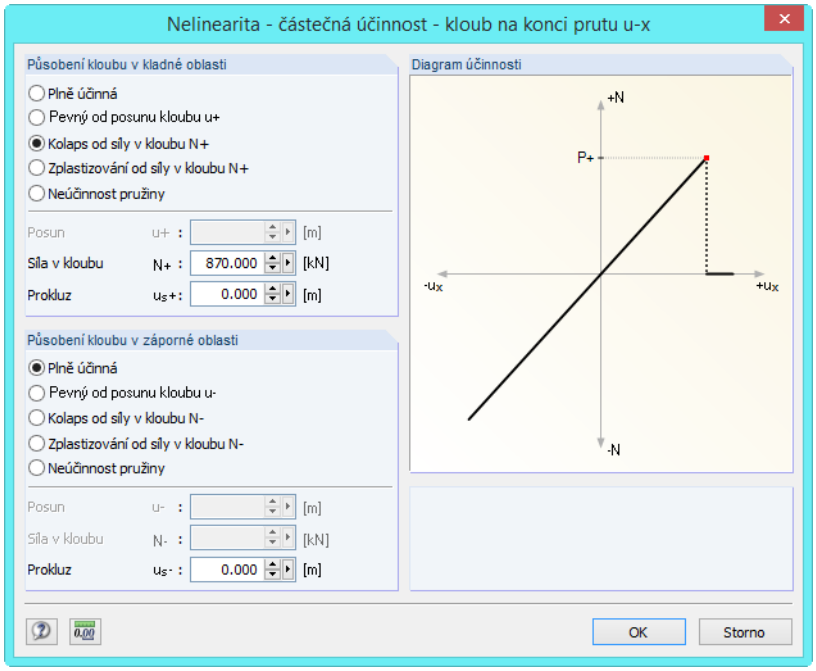
Pevný, je-li vnitřní síla záporná, resp. kladná

Tyto dvě volby umožňují nastavit účinnost kloubu u jednotlivých vnitřních sil v závislosti na směru. V případě normálové síly například kloub s nelinearitou *Pevný, je-li kladná* znamená, že na konci prutu se budou přenášet tahové (kladné) síly, ovšem nikoli tlakové (záporné) síly. V případě záporných normálových sil je kloub účinný.

Vnitřní síly se vztahují k lokálnímu osovému systému prutu xyz.

Ostatní položky ze seznamu umožňují detailně modelovat vlastnosti kloubu. Slouží k tomu tlačítko [Upravit nelinearitu kloubu...] v dialogu, resp. v tabulce (viz obr. 4.142).

Částečná účinnost

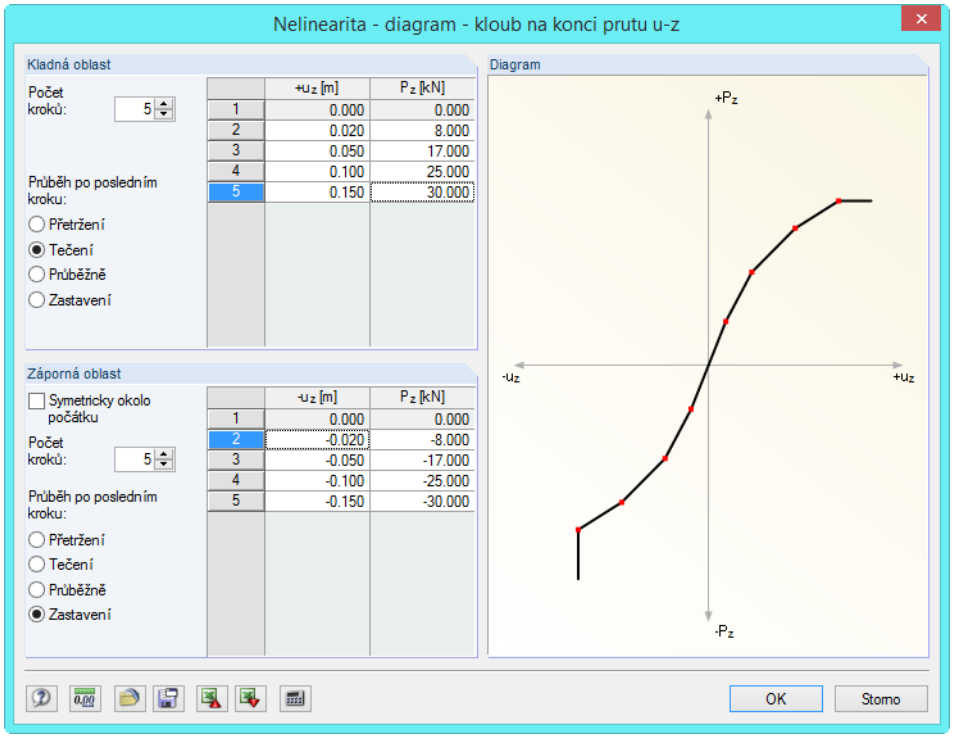


Obrázek 4.149 Dialog *Nelinearita - částečná účinnost*

Účinnost kloubu lze definovat zvlášť pro *kladnou* a *zápornou oblast*. Kromě plné účinnosti nebo celkové neúčinnosti lze nastavit neúčinnost kloubu až od určitého posunu nebo natočení. Kloub pak působí jako pevný či tuhý spoj. Dále lze definovat *kolaps* (po překročení určité hodnoty se již žádná vnitřní síla nepřenáší) nebo *tečení* (vnitřní síly se i při větších deformacích přenáší pouze do okamžiku dosažení určité hodnoty) v kombinaci s *prokluzem*.

Příslušné mezní hodnoty lze stanovit ve vstupních polích v dolní části jednotlivých sekcí. Vlastnosti, které u kloubu definujeme, se dynamicky zobrazí v *diagramu účinnosti* v pravé části dialogu.

Diagram



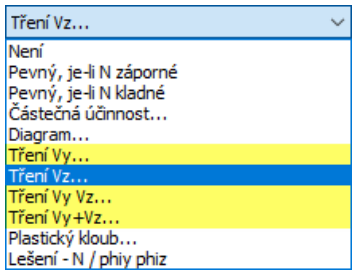
Obrázek 4.150 Dialog *Nelinearita - diagram*

Účinnost kloubu lze definovat zvlášť v *kladné* a v *záporné oblasti*. Nejdříve určíme *počet kroků* (tzn. bodů zadání) v pracovním diagramu. Následně můžeme v seznamu vpravo uvést úsečky posunů, resp. pootočení s příslušnými vnitřními silami.

Pro zadání *průběhu po posledním kroku* máme několik možností: *přetržení* v případě plné účinnosti kloubu (již se nebude přenášet žádná vnitřní síla), *tečení* pro omezení přenosu na maximální přípustnou hodnotu vnitřní síly, *průběžně* pro stejný průběh jako v posledním kroku anebo *zastavení* při stanovení maximálního přípustného posunu nebo natočení, po kterém bude kloub působit jako pevný, resp. tuhý spoj.

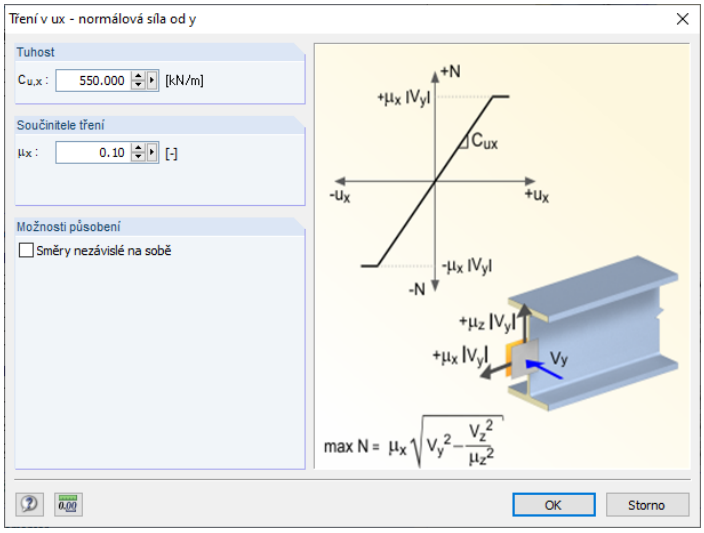
Vlastnosti, které u kloubu definujeme, se dynamicky zobrazí v *diagramu* v pravé části dialogu.

Tření závislé na síle



U těchto čtyř možností se síly přenášené kloubem vztahují k tlakovým silám působícím v jiném směru. V závislosti na výběru závisí tření pouze na jedné normálové síle nebo na celkové síle dvou současně působících sil. Například třecí sílu pro směr x tak lze spočítat pouze ze složky y nebo pouze ze složky z, ale také z obou společně nebo dokonce ze sečtení obou sil.

Pomocí tlačítka se otevře dialog, v němž je možné definovat konstantu tuhosti C a součinitel tření μ.



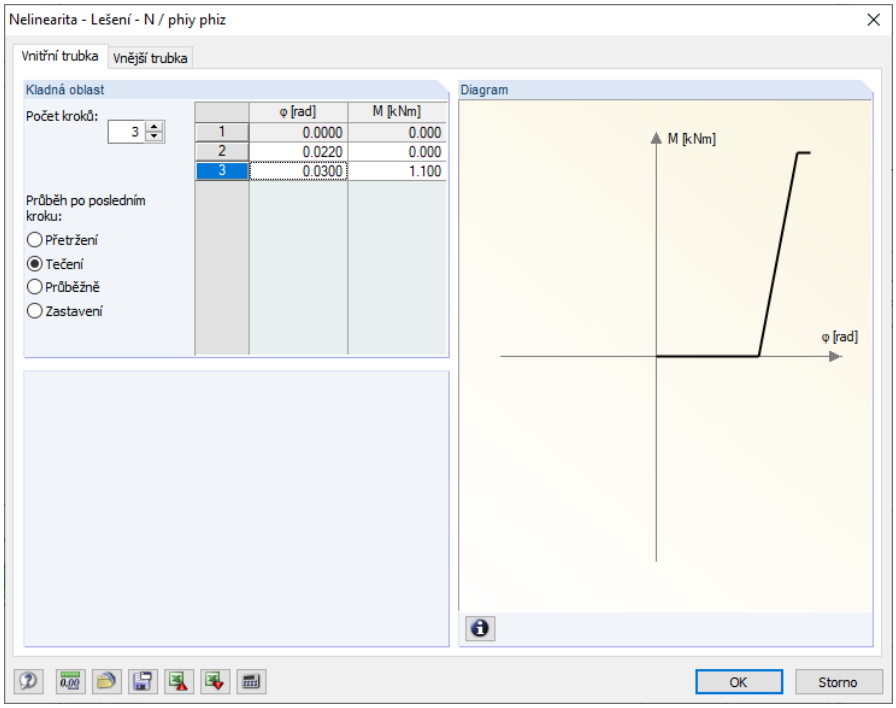
Obrázek 4.151 Dialog *Tření v ux - Normálová síla od y*

Plastický kloub

Plastické vlastnosti kloubu lze zadat v samostatném dialogu.

Lešení

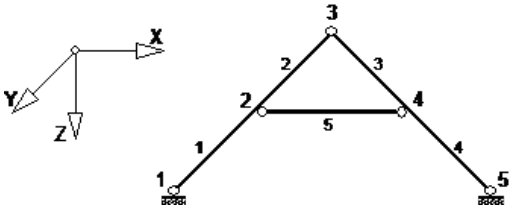
Tento typ nelinearity umožňuje mechanickou simulaci vloženého trubkového spoje s vnitřním trubkovým spojením mezi dvěma pruty. Náhradní model - v závislosti na tlakovém namáhání na konci prutu - přenáší ohybový moment přes tlačenou vnější trubku a po kladném zablokování dodatečně přes vnitřní trubku. Pomocí tlačítka se otevře dialog, v němž je možné odděleně zadat parametry pro *vnitřní trubku* a *vnější trubku*.



Obrázek 4.152 Dialog *Nelinearita - Lešení - N / phiy phiz*, záložka *Vnitřní trubka*

Nelinearity lešení jsou popsány v následujících odborných článcích:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000973
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001116

Příklad: Krokvová střecha



Obrázek 4.153 Krokvová střecha

Jedná se o rovinnou konstrukci. Kloub je třeba zadat následovně:

1.14 Klouby na koncích prutu

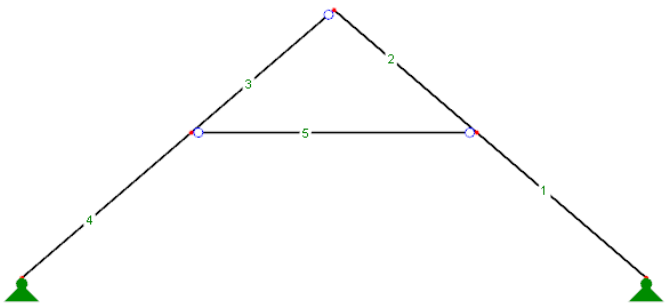
Kloub č.	A Vztažný systém	B Kloub resp. pružina [kN/m] [kNm/rad] u_x	C u_z	D φ_y	E Komentář
1	Lokální x,y,z			☑	
2					
3					

Plochy | Otvory | Uzlové podpory | Liniové podpory | Liniové klouby | Průřezy | Klouby na koncích prutu | Excentricity prutu | Dělení prutu

Kloub ('A'no / 'N'e / Tuhost / F7 pro výběr). Číslo kloubu bude přiřazeno k prutu v tabulce 1.17.

Obrázek 4.154 Tabulka 1.14 *Klouby na koncích prutu*

Tento typ kloubu pak můžeme přiřadit prutům.



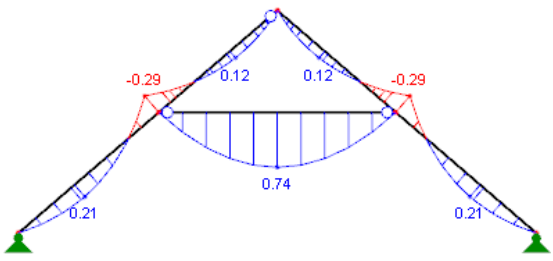
1.17 Pruty

Prut č.	A Linie č.	B Typ prutu	C Průřez č. Začátek	D Konec	E Natočení prutu Typ	F β [°]	G Kloub č. Začátek	H Konec	I Excentr. č.	J Dělení č.	K Náběh nárůst	L Délka L [m]	M Hmotnost W [kg]
1	1	Nosník	1	1	Úhel	0.00	0	0	0	0		5.000	72.0
2	2	Nosník	1	1	Úhel	0.00	0	0	0	0		4.220	60.8
3	3	Nosník	1	1	Úhel	0.00	1	0	0	0		4.220	60.8
4	4	Nosník	1	1	Úhel	0.00	0	0	0	0		5.000	72.0
5	5	Nosník	1	1	Úhel	0.00	1	1	0	0		6.407	92.3

Plochy | Otvory | Uzlové podpory | Liniové podpory | Liniové klouby | Průřezy | Klouby na koncích prutu | Excentricity prutu | Dělení prutu | Pruty

Číslo linie, na kterou bude přiřazen prut.

Obrázek 4.155 Grafické znázornění a tabulka 1.17 *Pruty*

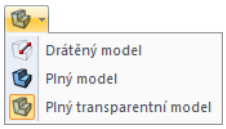


Obrázek 4.156 Průběhy momentů v zatěžovacím stavu Vlastní tíha

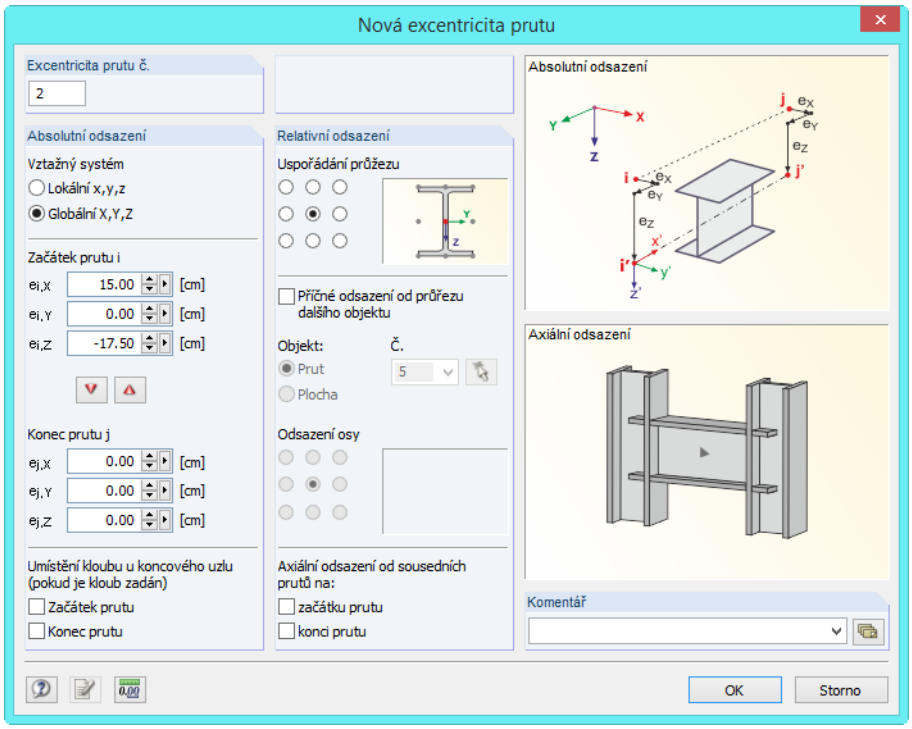
4.15 Excentricity prutu

Obecný popis

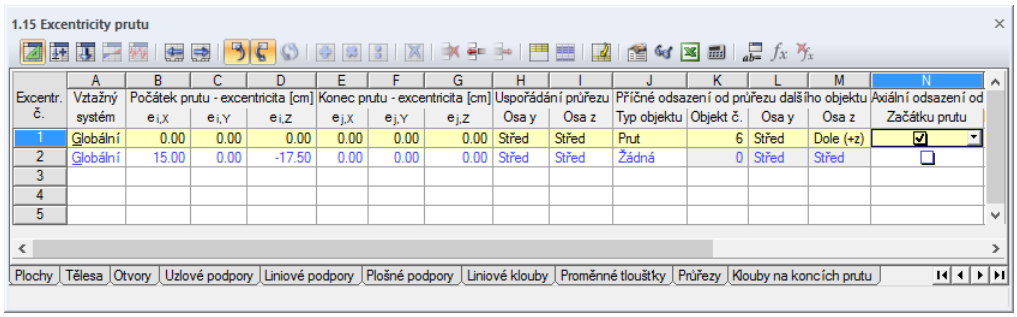
Délka prutu odpovídá v programu RFEM vzdálenosti mezi dvěma uzly, kterými je linie prutu definována. U některých přípojů nebo průvlaků odpovídá tento model skutečnosti pouze zhruba, protože vznikají přesahy. RFEM tak nabízí možnost definovat specifické koncové úseky u prutů, a připojit je tak excentricky. Můžeme tak například u rámu s velkými průřezy sloupů redukovat příslušné momenty na okraji příčle. Excentricity prutu zohledníme tak, že stupně volnosti transformujeme v lokální matici tuhosti prvků.



Fotorealistické zobrazení při 3D renderování poskytuje výbornou kontrolu zadaných excentricit.



Obrázek 4.157 Dialog *Nová excentricita prutu*



Obrázek 4.158 Tabulka 1.15 *Excentricity prutu*

Vztažný systém

Excentricity prutu lze vztáhnout na některý z následujících osových systémů:

- Lokální osový systém prutu x,y,z
- Globální souřadný systém X,Y,Z

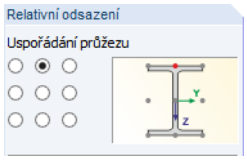
Lokální osy prutu xyz lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* nebo z místní nabídky prutu (viz obr. 4.169).

Excentricity počátku / konce prutu

V sekci dialogu *Absolutní odsazení*, příp. ve sloupcích B až G v tabulce se stanoví excentricity pro *začátek prutu* i a *konec prutu* j. Vzdálenosti jsou vztaženy ke zvolenému osovému systému. Rozpoznáme ho i podle toho, zda jsou indexy za symboly psány malým či velkým písmem.

V dialogu lze pomocí tlačítek a hodnoty excentricity definované na jedné straně převzít i na druhou stranu.

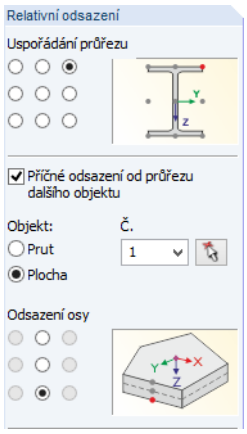
Uspořádání průřezu



V sekci *Relativní odsazení* v dialogu lze pomocí 9 kontrolních políček nastavit, který bod na průřezu je pro výpočet excentricity určující. V tabulce se poloha daného bodu zadává ve sloupcích H a I. Tento bod udává vzdálenost, o kterou se průřez posune vzhledem k počátečnímu či koncovému uzlu.

Pokud například zvolíme bod uprostřed na horní pásnici tak, jak vidíme na obrázku vlevo, připojí se prut příčle na sloup bez přesahu na horním okraji.

Příčné odsazení od průřezu dalšího objektu



Volba *Příčné odsazení* umožňuje umístit prut v určité vzdálenosti rovnoběžně s určitým objektem (prut na ploše, stejnolehlý prut). Číslo daného objektu — buď *prutu* nebo *plochy* — vybereme ze seznamu nebo pomocí funkce v pracovním okně programu. Excentricita se stanoví na základě výše zadaného *uspořádání průřezu* a *odsazení* osy (geometrie profilu, resp. tloušťky plochy), které určíme pomocí 9, příp. 3 kontrolních políček. V tabulce se odsazení osy zadává ve sloupcích L a M.

Pokud například vybereme body na okraji horní pásnice a na dolní straně plochy, jak je znázorněno na obrázcích vlevo, umístí se ocelový profil bez přesahu na okraji pod deskou.

Axiální odsazení od sousedních prutů

Poslední volba v sekci *Relativní odsazení* například umožňuje snadno připojit prut excentricky na pásnici sloupu. Odsazení lze stanovit zvlášť na *začátku* i *konci prutu*. Excentricita se spočítá automaticky na základě geometrie průřezu sousedních prutů. V tabulce se axiální odsazení zadává ve sloupcích N a O.

Obrázek v pravé části dialogu *Axiální odsazení* je se zadáním v levé části dialogu interaktivní; okamžitě se v něm znázorní, jaký účinek má zaškrtnutí kontrolních políček.

Výhodou zadání v sekci *Relativní odsazení* je to, že v případě změny průřezu se také ihned upraví excentricity. RFEM zohlední upravené rozměry ploch či profilů automaticky.

Grafické zadání excentricit

Excentricity lze prutu přiřadit i přímo v grafickém okně. Vybereme v hlavní nabídce

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Excentricity prutu ⟶ Přiřadit prutům graficky...

resp.

Úpravy ⟶ Údaje o modelu ⟶ Excentricity prutu ⟶ Přiřadit prutům graficky...

Nejdříve určíme vztažný systém a definujeme excentricitu prutu.

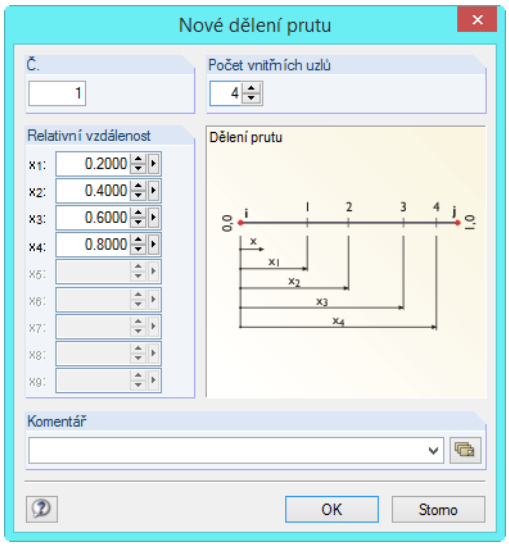
Po kliknutí na tlačítko [OK] se zobrazí pruty rozdělené graficky na třetiny. Nyní můžeme kliknout myší na ty strany prutů, kterým má být daná excentricita přiřazena (viz obr. 4.143). Pokud klikneme na prostřední část prutu, pak budou excentrické přípoje přiřazeny oběma koncům prutu.

4.16 Dělení prutu

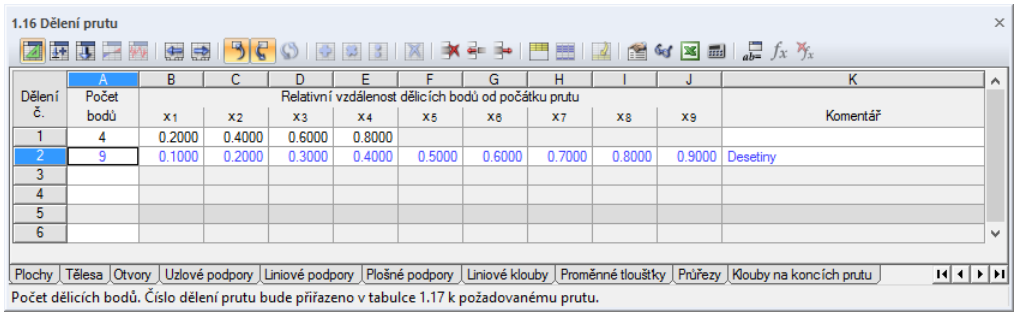
Obecný popis

Pomocí dělení prutu lze na pruty vložit mezilehlé body, jejichž vnitřní síly a deformace se zobrazí v tabulkách výsledků a v číselných výstupech. Dělení prutu se neodrazí ve výpočtu extrémních hodnot ani v grafickém znázornění průběhu výsledků (RFEM v tomto případě používá interně jemnější dělení). Většinou proto není nutné dělení prutu zadávat.

Dělení prutu se nesmí zaměňovat s dělením prutů pro MKP. Konečné prvky na „volných" liniích (tzn. liniích nenáležejících k žádné ploše), které mají vlastnosti prutu, se vygenerují pouze v případě, že na těchto liniích bylo provedeno zahuštění sítě konečných prvků (viz kapitola 4.23).



Obrázek 4.159 Dialog *Nové dělení prutu*



Obrázek 4.160 Tabulka 1.16 *Dělení prutu*

Počet bodů

Maximálně lze na prut vložit 99 dělicích bodů. Po zadání uzlů se prut nejdříve rovnoměrně rozdělí podle požadovaného počtu bodů.

Relativní vzdálenost dělicích bodů od počátku prutu

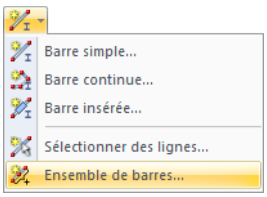
Při zadávání nového dělení se v dialogu zobrazí vzdálenosti mezi prvními vnitřními uzly. Jedná se o relativní vzdálenosti v intervalu od 0,000 (počátek prutu) do 1,000 (konec prutu).

Dělicí body mohou být na prutu umístěny i v nepravidelných rozestupech, stačí upravit hodnoty vzdáleností. Je třeba přitom pouze dávat pozor na pořadí úseků, neboť platí: $x_1 < x_2 < x_3$ ...

Graficky lze cíleně vyhodnotit libovolné místo x na prutu (viz kapitola 9.5). Ve většině případů je tedy zbytečné zadávat ručně dělení prutu a relativní vzdálenosti pracně počítat.

4.17 Pruty

Obecný popis

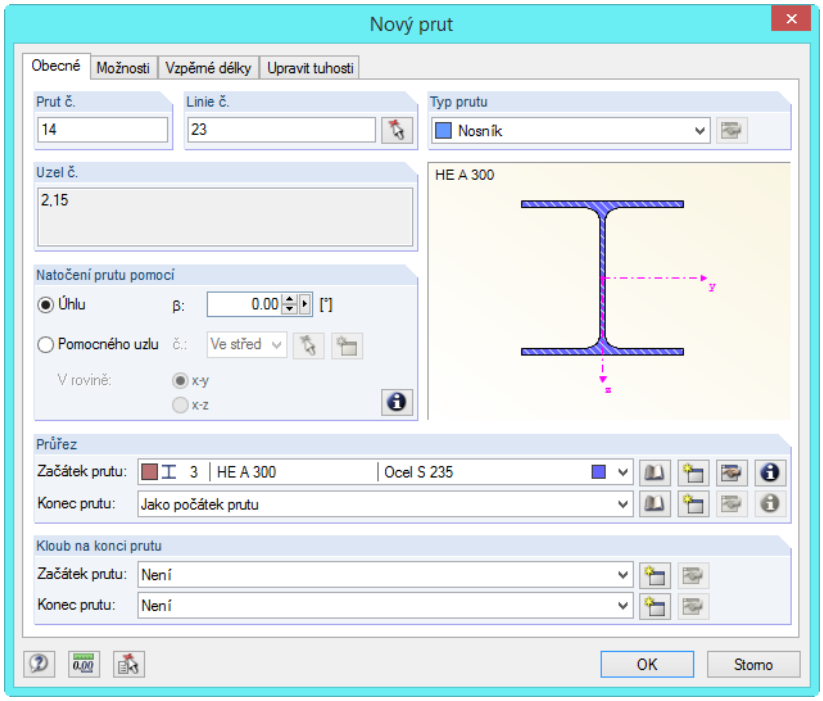


Rozbalovací tlačítko pro zadání *prutů*

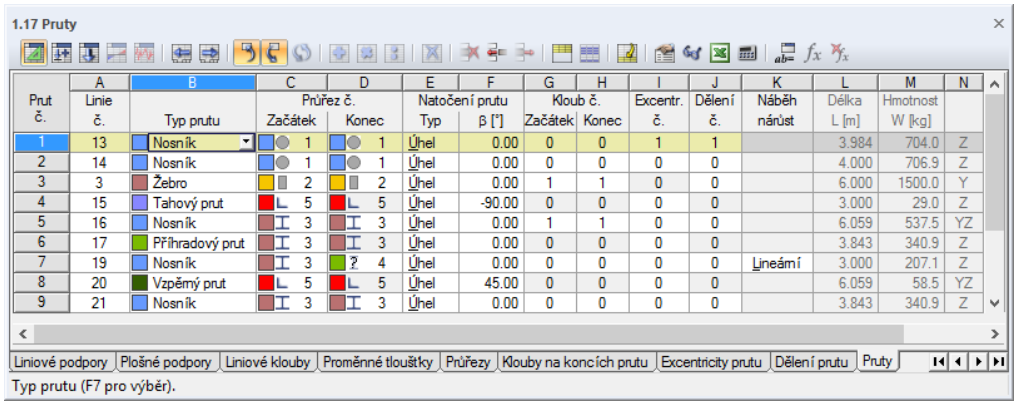
Pruty jsou vlastností linií. Definováním průřezu (a k němu přiřazeného materiálu) získá prut svou tuhost. Při generování sítě KP jsou na prutu vytvořeny 1D konečné prvky.

Pruty lze na sebe napojit pouze v uzlu. To znamená, že RFEM nevyhodnotí zkřížení prutů bez společného uzlu jako spojení, a v daném bodě tak nejsou přenášeny žádné vnitřní síly.

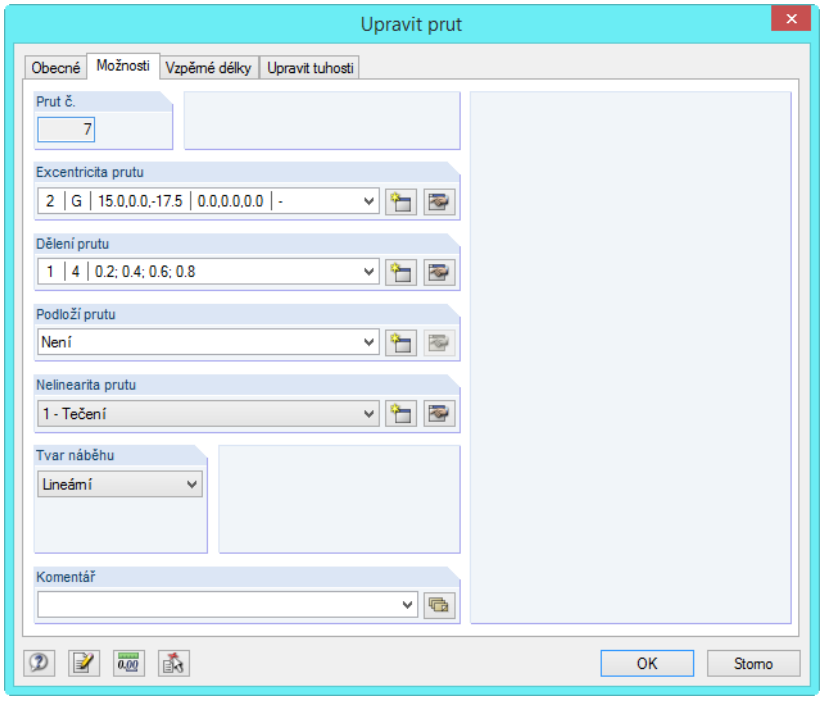
Graficky lze pruty zadávat *jednotlivě*, průběžně ve *sledu prutů* nebo na již existujících *liniích*. Možnost vytvořit *vložený prut* popisujeme v kapitole 11.4.13.



Obrázek 4.161 Dialog *Nový prut*, záložka *Obecné*



Obrázek 4.162 Tabulka 1.17 *Pruty*



Obrázek 4.163 Dialog *Nový prut*, záložka *Možnosti*

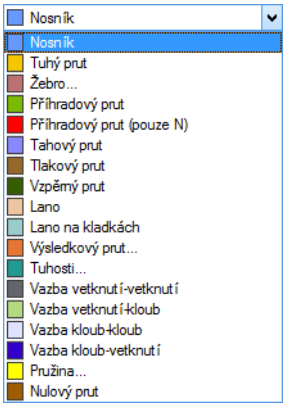
Linie č.

V tomto vstupním poli, resp. ve sloupci v tabulce přiřadíme prutu číslo linie. V dialogu *Nový prut* lze zadat linii i graficky.

Počáteční a koncový uzel linie určují směr prutu. Orientace prutu pak má vliv na lokální souřadný systém prutu (viz dále oddíl „Natočení prutu“). Orientaci prutu lze rychle změnit v grafickém okně: klikneme na prut pravým tlačítkem myši a v místní nabídce vybereme položku *Otočit orientaci prutu*.

Typ prutu

Typ prutu určuje, jakým způsobem se mohou přenášet vnitřní síly a jaké vlastnosti se pro prut předpokládají.



Níže uvádíme seznam možných *typů prutu*, který máme k dispozici v dialogu i v tabulce. Každý typ prutu má přiřazenou určitou *barvu*, což umožňuje rozlišit na první pohled v modelu různé typy prutů. Zobrazení lze nastavit v navigátoru *Zobrazit* v položce *Barvy v grafice podle* (viz kapitola 11.1.9).

Typ prutu	Krátký popis
Nosník	Ohybově tuhý prut, který je schopen přenášet všechny vnitřní síly.
Tuhý prut	Prut s nekonečně velkou tuhostí.
Žebro	Prut působící společně s deskou a zohledňující její spolupůsobící šířku.
Příhradový prut	Nosník s momentovými klouby na obou koncích.
Příhradový prut (pouze N)	Prut, který má pouze osovou tuhost E · A.

Tahový prut	Příhradový prut (pouze N), který je neúčinný v tlaku.
Tlakový prut	Příhradový prut (pouze N), který je neúčinný v tahu.
Vzpěrný prut	Příhradový prut (pouze N), který je neúčinný v tlaku > N_{cr}
Lano	Prut, který přenáší pouze tahové síly. Výpočet probíhá podle teorie velkých deformací (III. řád).
Lano na kladkách	Prut ležící na polylinii, který se může posunout pouze v podélném směru a může přenášet výlučně tahové síly (kladkostroj).
Výsledkový prut	Prut, který umožňuje integrovat výsledky na plochách, tělesech či prutech.
Tuhosti	Prut s uživatelsky zadanými hodnotami tuhosti.
Vazba vetknutí-vetknutí	Tuhé spojení s ohybově tuhým připojením na obou koncích.
Vazba vetknutí-kloub	Tuhé spojení s ohybově tuhým připojením na počátku a kloubovým připojením na konci prutu.
Vazba kloub-kloub	Tuhé spojení s kloubovým připojením na obou koncích (přenášejí se pouze normálové a posouvající síly, nikoli momenty).
Vazba kloub-vetknutí	Tuhé spojení s ohybově tuhým připojením na počátku a kloubovým připojením na konci prutu.
Pružina	Prut s pružnou tuhostí, s volitelnými oblastmi účinnosti a součiniteli tlumení.
Tlumič	Prut s viskózními vlastnostmi tlumení pro RF-DYNAM Pro
Nulový prut	Prut, který se při výpočtu neuvažuje.

Tabulka 4.7 Typy prutů

Nosník

Nosník nemá na koncích klouby. Navazují-li na sebe dva nosníky, pak je jejich připojení ohybově tuhé, pokud nebyl v bodě připojení výslovně definován kloub. Nosník lze zatížit všemi typy zatížení.

Tuhý prut

Tento typ prutu představuje tuhé spojení mezi posuny dvou uzlů. V principu tak odpovídá typu prutu Vazba. Pomocí tohoto typu lze zadat pruty s vysokou tuhostí a přitom zohlednit klouby, u nichž můžeme definovat také pružinové konstanty a nelineární vlastnosti. S výpočtem nebývají problémy, protože hodnoty tuhosti jsou přizpůsobeny konstrukci. Pro tuhé pruty se zobrazí také vnitřní síly.

U tohoto typu prutu se uvažují následující hodnoty tuhosti (platí i pro spoje a pruty s průřezem *Dummy Rigids*):

- Osová tuhost a tuhost v kroucení:

$E \cdot A$ a $G \cdot I_T$: $10^{13} \cdot \ell$ [jednotka SI] (ℓ = délka prutu)

Rovnice 4.25

- Tuhost v ohybu:

$E \cdot I$: $10^{13} \cdot \ell^3$ [jednotka SI]

Rovnice 4.26

- Tuhost ve smyku (pokud je aktivována):

G_{Ay} resp. G_{Az} : $10^{16} \cdot \ell^3$ [jednotka SI]

Rovnice 4.27

Díky tomuto typu prutu již není nutné zadávat průřez *Dummy Rigid* (viz kapitola 4.13) a přiřazovat ho požadovanému prutu.

Žebro

Žebra popisujeme v kapitole 4.18.

Příhradový prut (pouze N)

Tento typ příhradového prutu přenáší pouze normálové síly. Interně jsou příhradové pruty definovány jako pruty s momentovými klouby na obou koncích. Proto již program uživateli nedovolí zadat kloub na konci tohoto typu prutu. Do okolní prutové konstrukce se přenášejí pouze vnitřní síly uzlu. Na samotném prutu můžeme sledovat lineární průběh vnitřních sil (výjimkou je osamělé břemeno na prutu). V důsledku vlastní tíhy nebo spojitého zatížení tak nelze pozorovat žádný průběh momentů. Okrajové momenty jsou vlivem kloubu nulové. Síly v uzlu se nicméně spočítají ze zatížení na prut.

Důvod pro zvláštní zpracování tohoto typu prutu je, že v konstrukci zpravidla přenáší příhradový prut pouze normálové síly. Momenty zde nemají význam. Proto se úmyslně nevykazují a nejsou brány v potaz ani při posouzení. Pokud se přesto momenty na příhradových prutech v důsledku zatížení na prut objeví, pak použijeme typ *Příhradový prut*.

U typu prutu *Příhradový prut (pouze N)* není možné vybočení kolmo k hlavním osám. Proto nejsou ve výpočtu zohledněny účinky vybočení prutů!

Tahový prut / Tlakový prut

Tahový prut je schopen přenášet pouze tahové síly, zatímco tlakový prut pouze síly tlakové. Výpočet prutové konstrukce složené z těchto typů prutu probíhá iteračně: v prvním iteračním kroku se spočítají vnitřní síly všech prutů. Pokud je výsledkem záporná normálová síla (tlak) u tahových prutů, popř. kladná normálová síla (tah) u tlakových prutů, spustí se další iterační krok, při němž se již podíly těchto prutů na tuhosti nezohledňují - tyto pruty z výpočtu vypadnou. Tento iterační proces se provádí tak dlouho, dokud již nevypadává žádný tahový, příp. tlakový prut. V závislosti na modelu a zatížení se může určitá konstrukce stát v důsledku neúčinnosti tahových či tlakových prutů nestabilní.

Vypadlý tahový, popř. tlakový prut lze znovu zohlednit v matici tuhosti, pokud při některém dalším iteračním kroku nabude opět účinnosti po redistribuci v dané konstrukci. Z hlavní nabídky **Výpočet** → **Parametry výpočtu...** lze otevřít dialog, v jehož záložce **Globální parametry výpočtu** můžeme nastavit *reaktivaci vypadlých prutů*. Popis příslušných funkcí najdeme v kapitole 7.3.

Vzpěrný prut

Vzpěrný prut neomezeně přenáší tahové síly, zatímco tlakové síly přenáší pouze do dosažení kritického Eulerova zatížení.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{\ell_{cr}^2} \quad kde\ \ell_{cr} = \ell$$

Rovnice 4.28

Tímto typem prutu lze často předejít ztrátě stability konstrukcí, ke které může dojít při výpočtu podle teorie II. nebo III. řádu v důsledku vybočení příhradových prutů. Pokud příhradové pruty nahradíme vzpěrnými pruty, jak se často uvažuje v praxi, pak se v mnoha případech zvýší kritické zatížení.

Lano

Lano lze namáhat pouze tahem. Při iteračním výpočtu podle teorie velkých deformací (teorie III. řádu, viz kapitola 7.3.1) lze zohlednit lanové řetězce s podélnými a příčnými silami. K tomu je nezbytné definovat celé lano jako řetězec složený z několika lanových prutů.

Řetězce lze rychle vytvářet z hlavní nabídky **Nástroje** ⟶ **Generovat model - pruty** ⟶ **Obecný oblouk...** (viz kapitola 11.7.2). Čím přesněji odpovídá výchozí tvar řetězce skutečnému lanu, tím je výpočet stabilnější a rychlejší.

Doporučujeme lanové pruty předpínat, aby nevznikly žádné tlakové síly, které by vedly k vypadnutí prutu. Lana by se měla používat také pouze v případě, kdy mají deformace podstatný podíl na změnách vnitřních sil, tzn. pokud mohou nastat velké deformace. Při jednoduchém přímkovém ukotvení jako například u visuté střechy jsou tahové pruty plně dostačující.

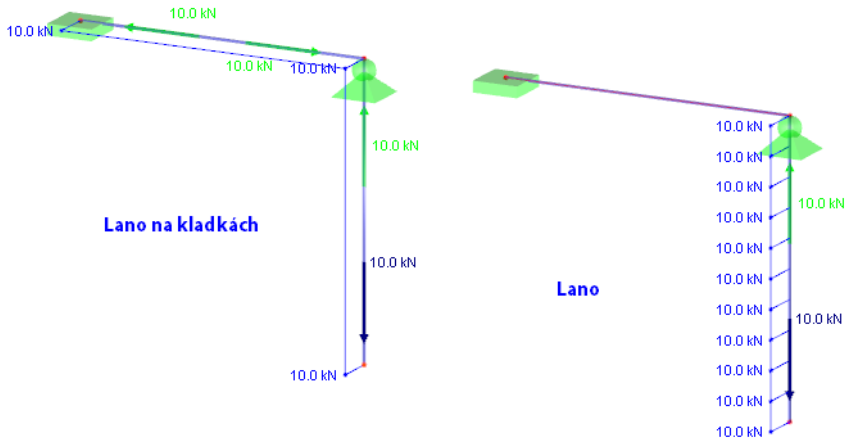
Při vyhodnocení tvaru deformace lanových prutů by měl být faktor zvětšení v řídicím panelu (viz obr. 3.19) nastaven na „1“, aby napínací účinky působily realisticky.

Lano na kladkách

Také tento typ lanového prutu přenáší pouze tahové síly a počítá se podle teorie velkých deformací (teorie III. řádu). Lano na kladkách lze ovšem zadat pouze na polylinii, která je dána alespoň třemi uzly. Je vhodné použít tento typ prutu pro kladkostrojové systémy, kdy se podélné síly přenáší přes vodicí kladky.

Na rozdíl od běžného lanového prutu je možný pouze posun ve vnitřních uzlech v podélném směru u_x. Prut tak nesmí být namáhán prutovým zatížením působícím ve směru lokální osy y nebo z.

Na koncích lanového prutu je třeba odebrat stupeň volnosti pro posun v podélném směru.



Obrázek 4.164 Konstrukce s lanem na kladkách a s lanovým prutem — normálové síly a reakce

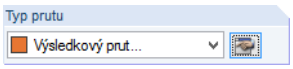
Nehraje žádnou roli, zda jsou vnitřní uzly polylinie podepřeny uzlovými podporami nebo jestli je prut spojen s jinou konstrukcí: vyšetří se celá konstrukce lanového prutu po celé délce polylinie.

U prutů typu *Lano na kladkách* se uvažují pouze posuny u_x a normálové síly N.

Výsledkový prut

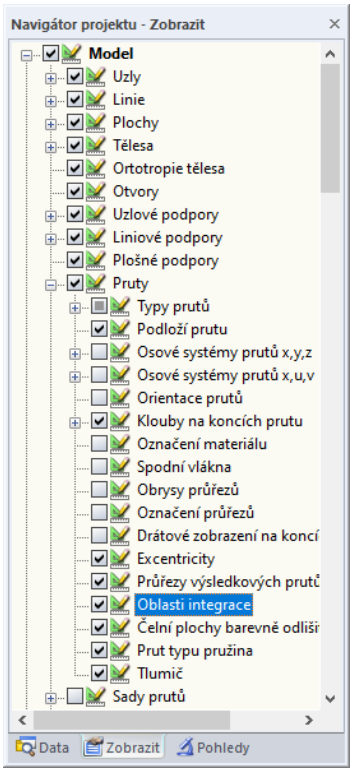
Výsledkový prut je fiktivní prut, který můžeme umístit - jako řez - na libovolné místo v modelu konstrukce. Umožňuje uživateli prohlédnout si vnitřní síly na plochách, prutech či tělesech v ucelené formě. Můžeme tak například zobrazit výsledné smykové síly na určité ploše pro posouzení zdiva.

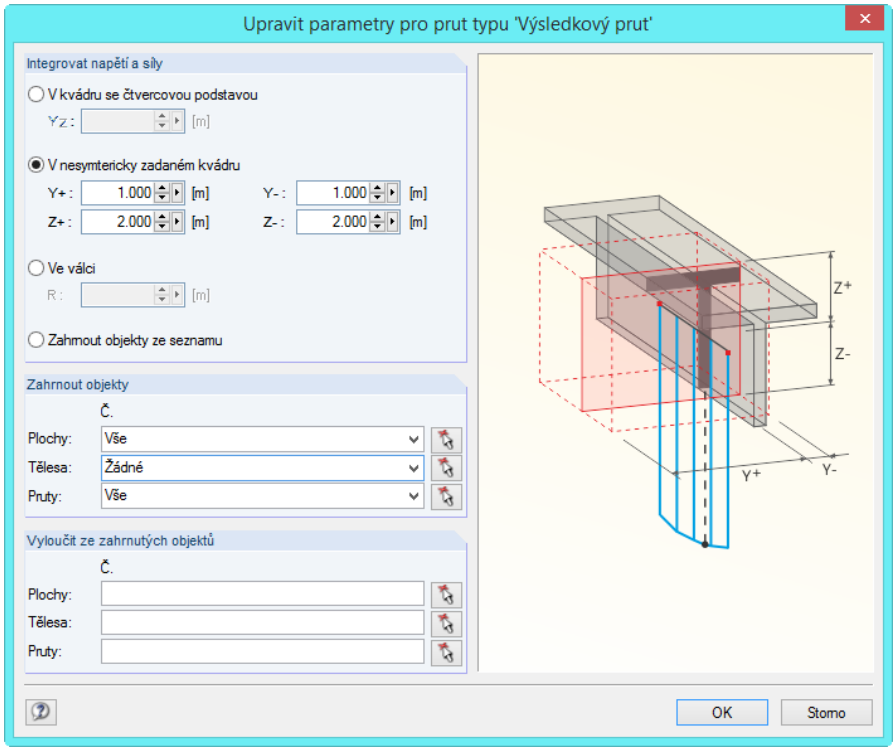
Daný typ prutu nevyžaduje ani podepření ani napojení na model konstrukce. Na výsledkový prut nemůžeme zadávat žádná zatížení.



Příslušné parametry definujeme v dialogu (viz obr. 4.163), který otevřeme pomocí tlačítka [Upravit typ prutu...].

V sekci *Integrovat napětí a síly* stanovíme oblast pro integraci hodnot. V obrázku v pravé části dialogu vidíme názornou grafiku, která se mění podle zvolené možnosti.





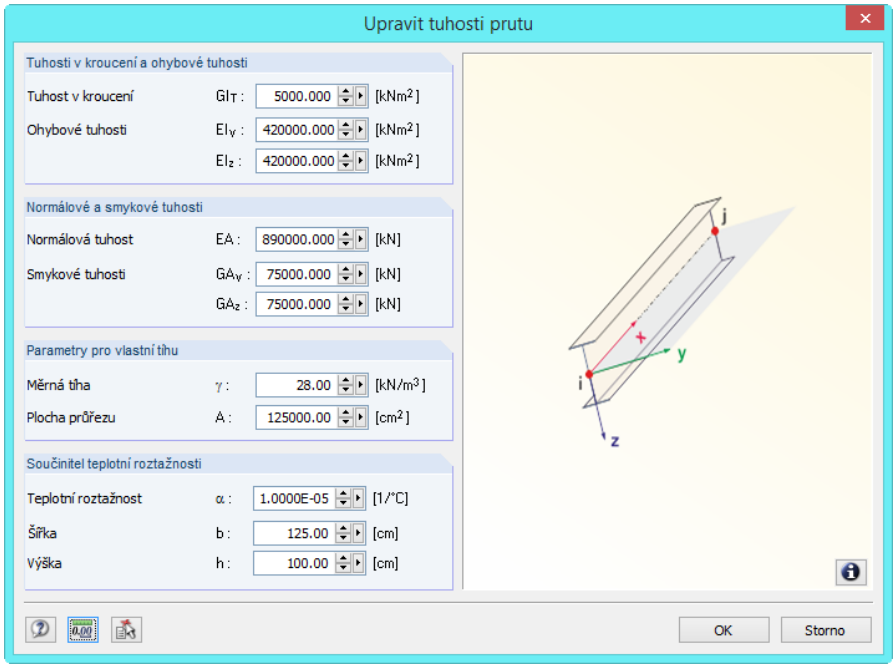
Obrázek 4.165 Dialog *Upravit parametry pro prut typu 'Výsledkový prut'*

Sekce *Zahrnout objekty* slouží k výběru konkrétních prvků v modelu konstrukce, jejichž výsledky se mají při integraci zohlednit: Může se jednat o plochy, tělesa či pruty.

Jakmile jsme výsledkový prut zadali, můžeme zobrazit oblast integrace z navigátoru *Zobrazit* (viz obrázek vlevo).

Tuhosti

Hodnoty tuhosti prutu můžeme zadat přímo v dialogu, který otevřeme tlačítkem [Upravit typ prutu...]. Není pak potřeba přiřazovat průřez.



Obrázek 4.166 Dialog *Upravit tuhosti prutu*

Zadání matice tuhosti lze zobrazit pomocí tlačítka [Informace k definici matice tuhosti].

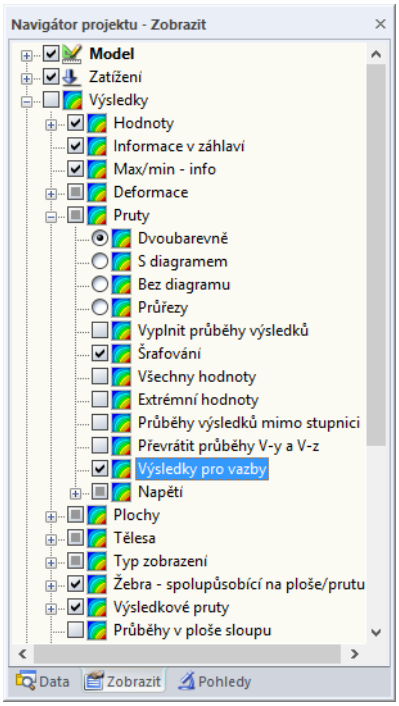
Spojení

Prut typu Vazba je virtuální, velmi tuhý prut, u něhož lze definovat tuhé nebo kloubové vlastnosti. K dispozici jsou čtyři možná napojení počátečních a koncových uzlů s různými stupni volnosti. Normálové a posouvající síly, případně krouticí a ohybové momenty se přenášejí přímo z uzlu na uzel. Pomocí vazeb lze modelovat speciální situace pro přenos sil a momentů.

Tuhosti vazeb se počítají v závislosti na konstrukci; lze tak předejít případným numerickým problémům.

Volba Tuhý prut umožňuje zadávat vazby a zohlednit přitom kloubové pružiny a nelinearity.

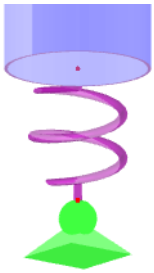
V navigátoru *Zobrazit* můžeme nastavit, zda se mají výsledky pro vazby zobrazit.

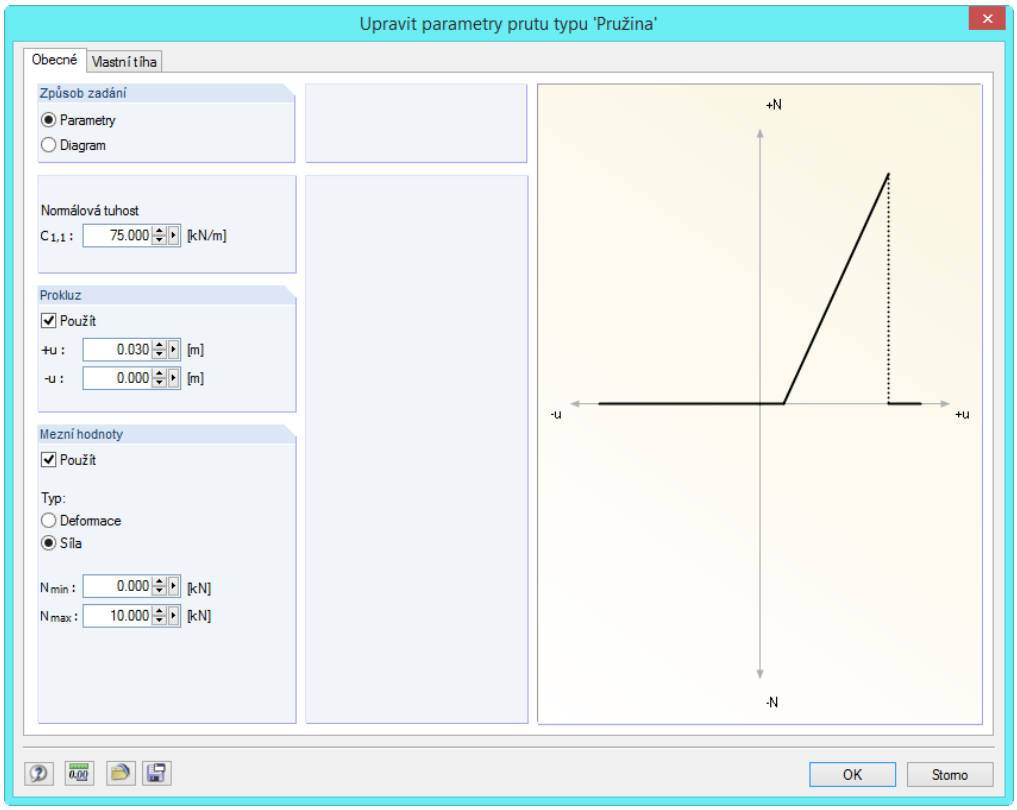


Obrázek 4.167 Zapnutí zobrazení výsledků pro vazby v navigátoru *Zobrazit*

Pružina

Při výběru prutu typu *Pružina* lze tlačítkem [Upravit typ prutu...] v dialogu, resp. tlačítkem ... lze v tabulce otevřít další dialog.





Obrázek 4.168 Dialog *Upravit parametry prutu typu ‚Pružina'*

Vlastnosti pružiny definujeme tak, že stanovíme příslušné *parametry* nebo použijeme pro jejich zadání

diagram. Pérová konstanta $C_{1,1}$ udává tuhost prutu ve směru jeho lokální osy. Platí přitom následující vztah:

$$k = \frac{E\,A}{\ell}$$

Rovnice 4.29

Prokluz stanoví rozmezí deformace, v kterém pružina nepřenáší žádné síly.

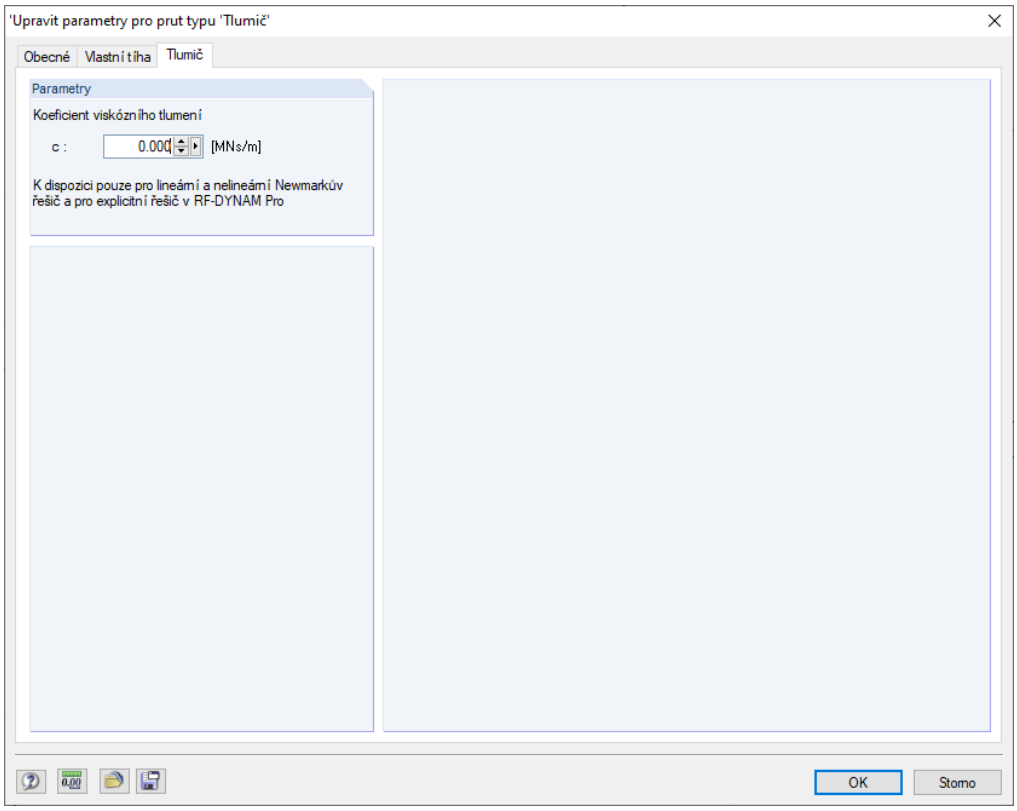
Při zadání *mezních hodnot* máme u pružiny dvě možnosti:

- *Deformace*: Hodnotami u_{min} a u_{max} se určí geometrická oblast účinnosti pružiny. Při deformacích mimo stanovené rozmezí působí pružina jako tuhý prut (zastavení).
- *Síla*: Hodnoty N_{min} a N_{max} stanoví rozsah sil, které může pružina přenést. Pokud je působící normálová síla mimo stanovený rozsah, pružina vypadne.

Při zadání pomocí *diagramu* lze vlastnosti pružiny definovat ještě přesněji. Možnosti zadání jsou pak víceméně shodné se zadáním nelineárních kloubů na prutu (viz kapitola 4.14).

Tlumič

Tento typ prutu je relevantní pro posouzení časové analýzy v přídavných modulech RF-DYNAM Pro - Forced Vibrations a RF–DYNAM Pro - Nonlinear Time History. Vlastnosti prutu lze zadat v dialogu, který vyvoláme kliknutím na tlačítko [Upravit] v dialogu resp. v tabulce.



Obrázek 4.169 Dialog *Upravit parametry pro prut typu 'Tlumič'*

Tento lineární viskózní tlumicí prvek odpovídá výše popsanému typu prutu "Pružina". V záložce *Tlumič* je navíc nutné zadat *Koeficient viskózního tlumení* c. V modulech pro dynamiku tak lze zohlednit síly závislé na rychlosti. Z hlediska viskoelasticity je typ prutu „Tlumič“ podobný modelu Kelvin-Voigt, který se skládá z tlumicího prvku a elastické pružiny (obojí spojeno paralelně).

Nulový prut

Nulový prut ani jeho zatížení se při výpočtu neuvažují. Nulové pruty umožňují například posoudit, jak se změní chování zatížené konstrukce, pokud určité pruty ztratí svou účinnost. Pruty není třeba mazat, zatížení zůstávají rovněž zachována.

Průřez č. na začátku / konci prutu

V těchto vstupních polích v dialogu nebo ve sloupcích v tabulce se zadávají průřezy pro počátek a konec prutu. Čísla průřezů se vztahují k položkám v tabulce 1.13 *Průřezy* (viz kapitola 4.13). Vybrat odpovídající průřez je snazší díky barvám, které jsou průřezům přiřazeny.

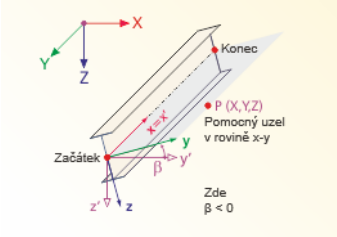
Prut s náběhem

Na základě různých čísel pro průřez na začátku a na konci se vytvoří náběh. V RFEMu proběhne interpolace rozdílných tuhostí podél prutu pomocí polynomů vyššího stupně. Nesmyslná zadání jako např. náběh z profilu IPE a kruhové oceli se odhalí při kontrole správnosti.

Interní výpočet průřezových charakteristik náběhu lze blíže nastavit v záložce **Možnosti** v sekci *Tvar náběhu* resp. v odpovídajícím sloupci v tabulce (viz kapitola 4.17).

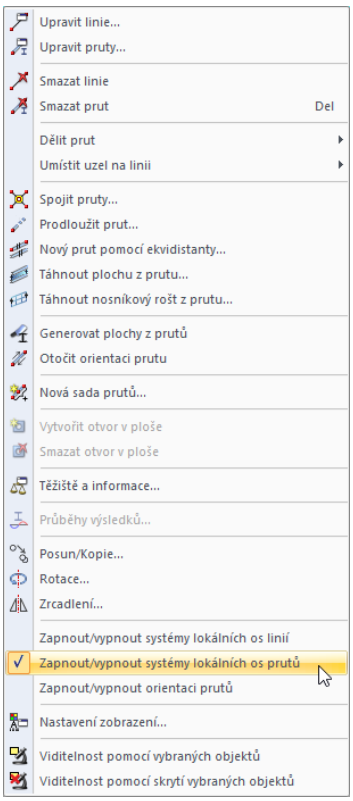
Natočení prutu

Souřadný systém prutu xyz je pravoúhlý a pravotočivý. Lokální osa **x** se vždy shoduje s těžišťovou osou prutu a spojuje počáteční uzel s koncovým uzlem (kladný směr). Lokální osy **y** a **z**, příp. **u** a **v** u nesymetrických průřezů představují hlavní osy prutu.



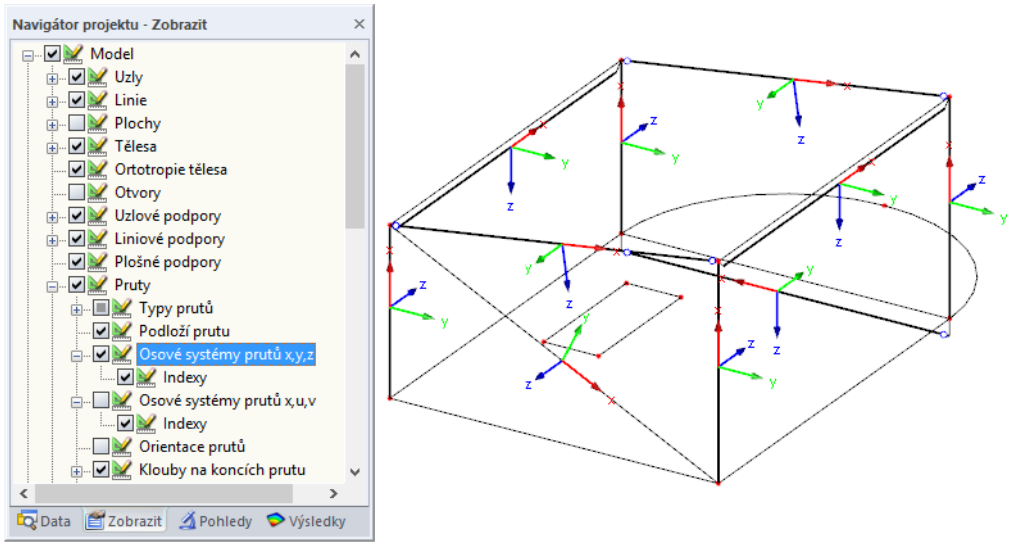
Obrázek 4.170 Natočení prutu a lokální osy prutu x,y,z (obecná poloha v prostoru)

Polohu os y a z nejdříve automaticky určí program. Osa **y** je kolmá na podélnou osu x a rovnoběžná s globální rovinou XY. Poloha osy **z** se pak řídí pravidlem pravé ruky. Složka z' osy z přitom vždy směřuje „dolů“ (tzn. ve směru tíhové síly), nezávisle na tom, zda globální osa Z směřuje nahoru nebo dolů.



Místní nabídka prutu

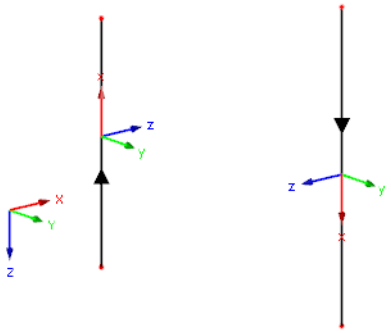
Polohu prutu lze zkontrolovat při 3D renderování. Dále máme možnost zobrazit osové *systémy prutu x,y,z příkazem z místní nabídky prutu nebo z navigátoru Zobrazit*.



Obrázek 4.171 Zapnutí lokálních osových systémů prutu v navigátoru *Zobrazit*

Z údaje ve sloupci **N** v tabulce lze vyčíst, s kterou globální osou je prut rovnoběžný nebo v které rovině vymezené globálními osami leží. Pokud zde není uveden žádný údaj, pak se prut nachází v obecné poloze v prostoru.

Je-li prut rovnoběžný s globální osou Z, a je tudíž svislý, jeho lokální osa z není rovnoběžná s globální osou Z. V takovém případě platí následující uspořádání: lokální osa **y** je rovnoběžná s globální osou Y. Osa **z** se pak řídí pravidlem pravé ruky (viz obr. 4.170).



Obrázek 4.172 Svislá poloha u prutů s různou orientací (β = 0°)

Pokud se prut ve sloupu složeném ze sledu prutů nenachází ve zcela svislé poloze (např. v důsledku minimálních odchylek souřadnic X nebo Y), mohou se osy prutu „stočit“. Poloha lehce nakloněného prutu pak bude klasifikována jako „obecná“. Z hlavní nabídky **Nástroje → Regenerovat model...** lze ovšem i takové pruty zařadit mezi *svislé* (viz kapitola 7.1.3).

Prut lze natočit dvěma způsoby:

- Natočení prutu o úhel β

Uživatel definuje pevný *úhel* β, o který se prut pootočí. Při zadání kladného úhlu natočení β se osy y a z natočí okolo podélné osy prutu x pravotočivě.

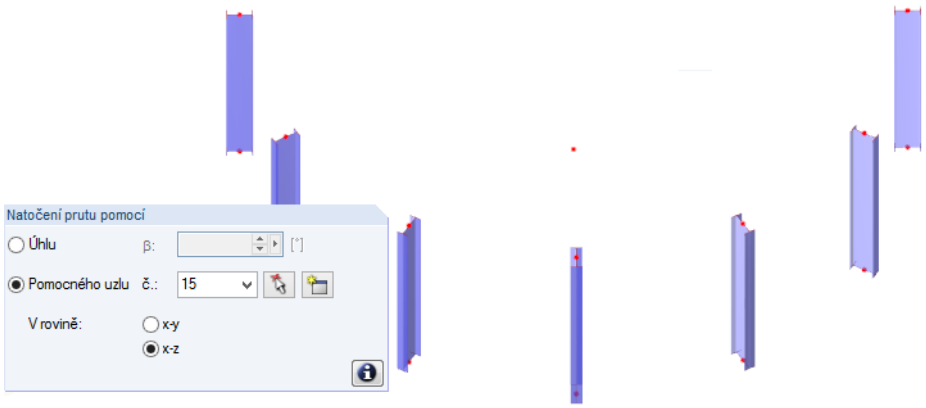
Je třeba brát v úvahu, že úhel natočení prutu β a úhel natočení průřezu α' se sčítají (viz kapitola 4.13).

U 2D modelů je přípustný pouze úhel natočení prutu 0° či 180°.

- Natočení prutu pomocí uzlu

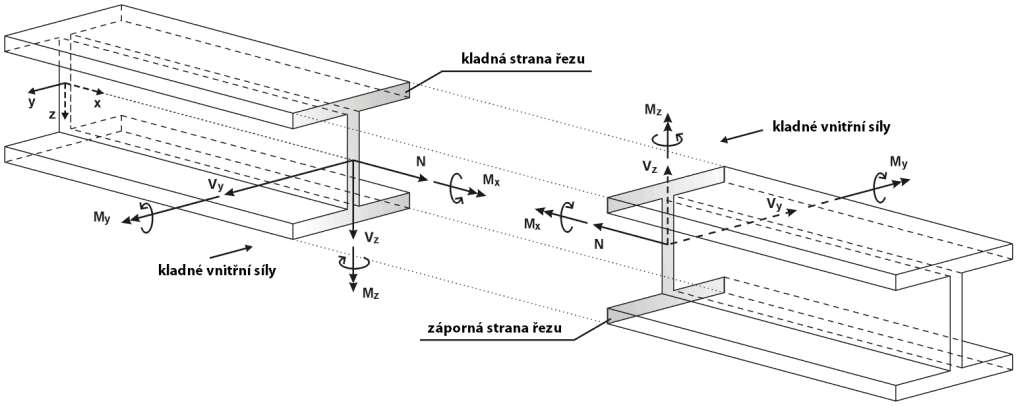
Další možností je vztáhnout osový systém prutu k pevně danému uzlu. Nejdříve stanovíme, která osa (y nebo z) bude určena pomocným uzlem. K pomocnému uzlu tak bude vztažena buď rovina xy nebo xz prutu. Následně zadáme příslušný pomocný uzel: vybereme ho v grafickém okně nebo zadáme zcela nový uzel. Uzel nesmí ležet na přímce vedoucí osou x prutu.

Vnásledujícím příkladu jsou sloupy vztaženy ke středu.



Obrázek 4.173 Natočení prutu pomocí uzlu

Změna lokálního osového systému prutu může mít vliv na znaménka vnitřních sil. Z následujícího názorného obrázku vyplývá, jaké pravidlo obecně platí pro stanovení znamének.



Obrázek 4.174 Kladné zadání vnitřních sil

Ohybový moment **M_y** je kladný, pokud na kladné straně prutu (ve směru osy z) vznikají tahová napětí. **M_z** je kladný, pokud na kladné straně prutu (tzn. ve směru osy y) vznikají tlaková napětí. Znaménka krouticích momentů i normálových a posouvajících sil se řídí běžnou konvencí: tyto vnitřní síly jsou kladné, pokud působí v kladném směru na kladné straně řezu.

Kloub č. na začátku / konci prutu

V těchto dvou vstupních polích v dialogu nebo ve sloupcích v tabulce lze zadat klouby, které ovlivňují přenos vnitřních sil na uzel. Čísla kloubů se vztahují k položkám v tabulce 1.14 *Klouby na koncích prutu* (viz kapitola 4.14).

V případě některých typů prutu nelze klouby zadávat, protože již obsahují vnitřní klouby.

Excentricita č.

V tomto sloupci v tabulce, popř. ve vstupním poli v dialogu v záložce *Možnosti* (viz obr. 4.161) lze prutu přiřadit excentrické připojení. Čísla excentricit se vztahují k položkám v tabulce 1.15 *Excentricity prutu* (viz kapitola 4.15). Typ excentrického připojení lze zadat na počátku i na konci prutu.

Dělení č.

Dělicí body na prutu, které ovlivní číselné výstupy vnitřních sil a deformací podél prutu (viz kapitola 4.16), lze zadat v tomto sloupci v tabulce, popř. ve vstupním poli v dialogu v záložce *Možnosti*. Čísla dělení se vztahují k položkám v tabulce 1.16 *Dělení prutu*.

Dělení prutu se neodrazí ve výpočtu extrémních hodnot ani v grafickém znázornění průběhu výsledků (RFEM v tomto případě používá interně jemnější dělení). Většinou proto stačí ponechat pro dělení prutu přednastavenou hodnotu ‚0', příp. ‚Není'.

Podloží prutu

V tomto vstupním poli v záložce *Možnosti* (viz obr. 4.161) lze prutu přiřadit pružné podloží. Čísla podloží jsou uvedena v tabulce 1.19 *Podloží prutu* (viz kapitola 4.19).

Nelinearita prutu

V tomto vstupním poli v dialogu v záložce *Možnosti* (viz obr. 4.161) lze prutu přiřadit nelineární vlastnosti. Čísla nelinearit se vztahují k položkám v tabulce 1.20 *Nelinearity prutu* (viz kapitola 4.20).

Nárůst náběhu

Pokud uživatel zadal rozdílné průřezy na počátku a na konci prutu, pak může v tomto sloupci v tabulce, popř. ve vstupním poli v dialogu v záložce *Možnosti* vybrat buď *lineární* nebo *kvadratický* průběh náběhu. Zvolenou geometrií náběhu se pak bude řídit interpolace průřezových hodnot.

Ve většině případů se volí lineární průběh náběhu, tzn. od průřezu na počátku po průřez na konci prutu se výška průřezu rovnoměrně mění, zatímco šířka zůstává víceméně konstantní. Pokud se ovšem výrazněji mění po délce prutu také šířka průřezu (např. v případě náběhu z masivních průřezů), je vhodnější zadat kvadratický typ náběhu.

Délka

V tomto sloupci tabulky se uvádí celková délka prutu od počátečního ke koncovému uzlu. Excentricity se zohledňují.

V grafickém okně se délka prutu zobrazí, pokud kurzorem myši na chvíli zastavíme na prutu.

Hmotnost

Tíha prutu odpovídá součinu průřezové plochy A a měrné tíhy materiálu. Jako tíhové zrychlení se uvažuje hodnota 10 m/s^2. Tuto hodnotu lze případně změnit v dialogu *Základní údaje*, záložce *Možnosti* (viz obr. 12.32).

Poloha

Z údaje ve sloupci **N** v tabulce lze vyčíst, s kterou globální osou je prut rovnoběžný nebo v které rovině vymezené globálními osami leží. Pokud zde není uveden žádný údaj, pak se prut nachází v obecné poloze v prostoru.

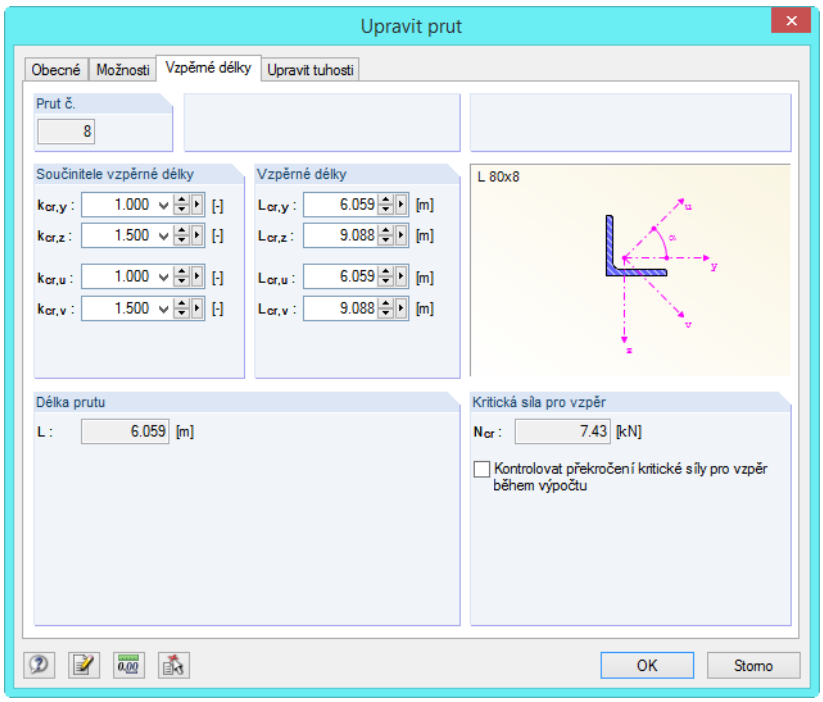
Pokud se prut ve sloupu složeném ze sledu prutů nenachází ve zcela svislé poloze (např. v důsledku minimálních odchylek souřadnic X nebo Y), mohou se osy prutu „stočit". Poloha lehce nakloněného prutu pak bude klasifikována jako „obecná". Z hlavní nabídky **Nástroje → Regenerovat**

model... lze ovšem i takové pruty zařadit mezi *svislé* (viz kapitola 7.1.3).

Pokud spojité pruty nemají jednotnou polohu prutů, mohou nastat problémy například při použití identicky orientovaných imperfekcí. Následující FAQ ukazuje příklad včetně navrhovaného řešení: https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq/000619

Vzpěrné délky

V záložce *Vzpěrné délky* v dialogu lze upravovat *součinitele vzpěrné délky* $k_{cr,y}$ a $k_{cr,z}$.



Obrázek 4.175 Dialog *Upravit prut*, záložka *Vzpěrné délky*

Součinitele vzpěrné délky lze nastavit samostatně pro obě osy prutu. V políčkách vpravo se zobrazí *vzpěrné délky*, které se stanoví na základě daných součinitelů a délky prutu.

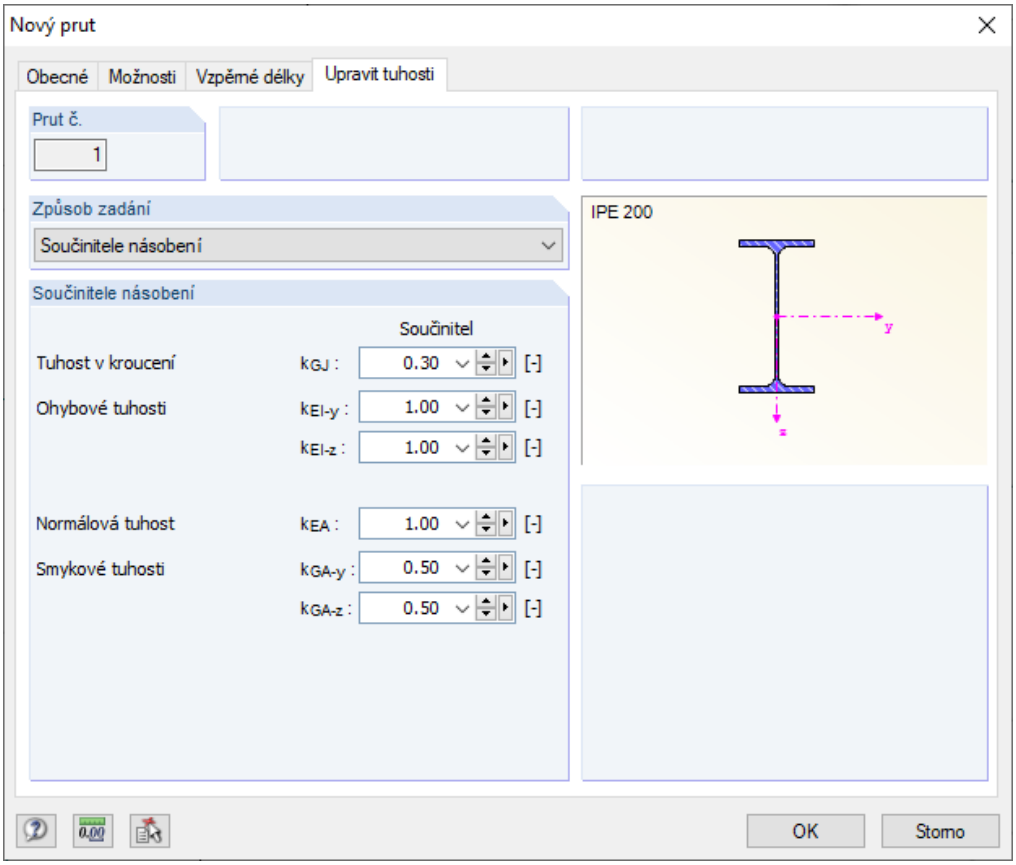
Součinitele vzpěrné délky jsou důležité pro přídavné moduly jako RF-STEEL EC3, v nichž se provádějí stabilitní posouzení. V samotném RFEMu mají tyto údaje spíše podřadný význam, protože např. u vzpěrných prutů se vzpěrné délky určí interně na základě okrajových podmínek a jejich hodnoty se dosadí do dalších výpočtů.

V sekci *Kritická síla pro vzpěr* lze stanovit, zda se má u prutu během výpočtu kontrolovat překročení kritické síly pro vzpěr. U příhradových, tlakových a vzpěrných prutů je toto kontrolní políčko standardně zaškrtnuto. V dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Globální parametry výpočtu* (viz obr. 7.27) lze tento typ kontroly nastavit globálně.

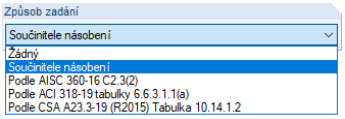
Upravit tuhost

V záložce *Upravit tuhost* lze stanovit tuhost prutu.

Pokud došlo ke změnám také u tuhosti průřezů (viz kapitola 4.3), bude toto zohledněno ve výpočtu dodatečně.



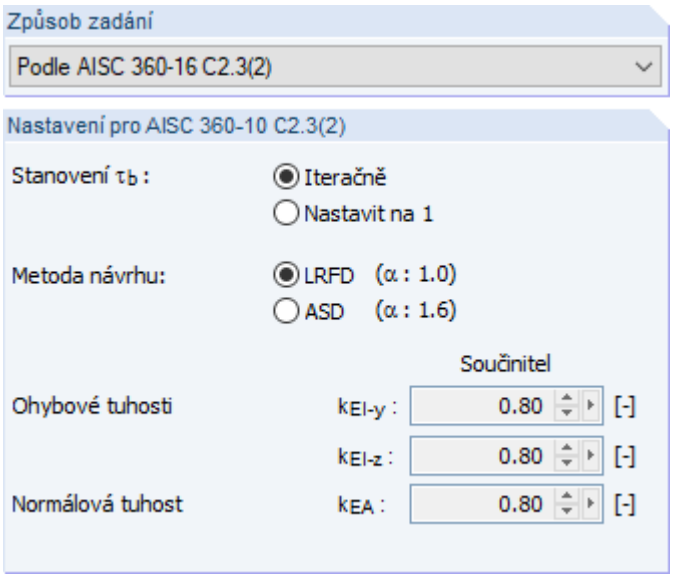
Obrázek 4.176 Dialog *Upravit prut*, záložka *Upravit tuhost*



Typ zadání úpravy tuhosti je možné vybrat ze seznamu. Pokud je použita možnost úpravy tuhosti *Žádná*, jsou do výpočtu zahrnuty všechny složky tuhosti s faktorem 1,00.

Pomocí faktoru *násobitelů upravíme* součinitele tuhosti k pro torzní, ohybovou, normálovou a smykovou tuhost prutu (viz obrázek 4.174).

Pro typ zadání *Podle AISC 360-10 C2.3(2)* jsou v záložce dialogu k dispozici volby, které jsou v souladu s americkou normou pro ocelové konstrukce.

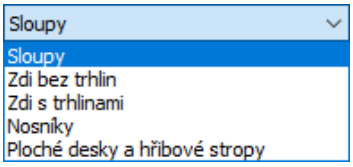


Obrázek 4.177 Sekce dialogu *Součinitele násobení* pro AISC 360-10

Při stanovení vnitřních sil podle ANSI/AISC 360-10 je třeba u všech prutů, jejichž ohybová tuhost přispívá ke stabilitě modelu, zohlednit redukční součinitel τ_β. Tento součinitel závisí na normálové síle v prutu: Čím větší je normálová síla, tím větší je také τ_β.

Pokud chceme stanovit τ_β *iterativně*, je třeba zadat položku *Metoda posouzení* - LRFD nebo ASD. RFEM poté v několika krocích vypočítá součinitel podle rovnice (C2-2a) resp. (C2-2b) normy AISC 360-10, dokud není dosaženo konvergence.

Nezávisle na součiniteli τ_β - jak je požadováno normou AISC 360-10 - se pro všechny pruty použije redukční součinitel 0,8 pro ohybové a normálové tuhosti. Pomocí zaškrtávacího políčka *Nastavit na 1* je možné se vyhnout iterativnímu stanovení τ_β, takže se použije pouze redukce tuhosti 0,8.



Typ zadání *Podle ACI 318-14 tabulka 6.6.3.1.1(a)* udává redukční součinitele podle americké normy pro železobetonové konstrukce, které platí podle v závislosti na *typu dílce*. Seznam nabízí různé možnosti pro nastavení příslušných součinitelů, např. pro sloupy nebo nosníky.

Chcete-li přiřadit úpravy tuhosti více prutům, můžete je vybrat pomocí vícenásobného výběru nebo výběrem pomocí okna a poté je upravit dvojím kliknutím na jeden z prutů.

Prut jako plošný model

Funkce *Generovat plochy z prutů* umožňuje konvertovat prut (1D prvky) pro detailní posouzení na odpovídající plošné prvky. Tuto funkci popisujeme v kapitole 11.7.1.5.

Dvojité pruty

Zpravidla nejsou pruty, které leží na sobě, v modelu žádoucí. Pokud tedy při zadání nového prutu uvedeme uzly, kterými jsme již dříve definovali jiný prut, RFEM automaticky starý prut smaže.

Příkazem z hlavní nabídky **Úpravy → Povolit dvojité pruty** můžeme smazání dříve zadaných prutů zabránit. Při výpočtu se tak zohlední tuhost obou prutů.

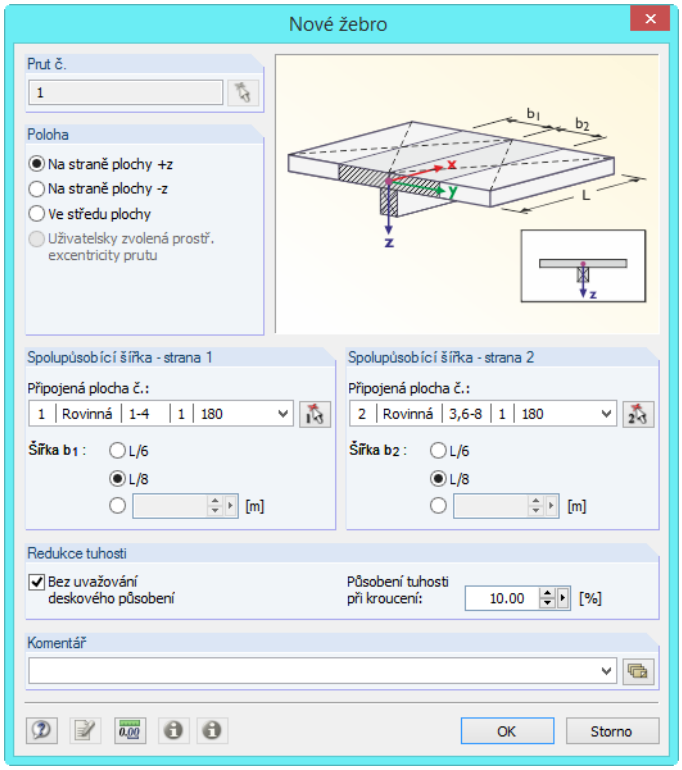
4.18 Žebra

Obecný popis

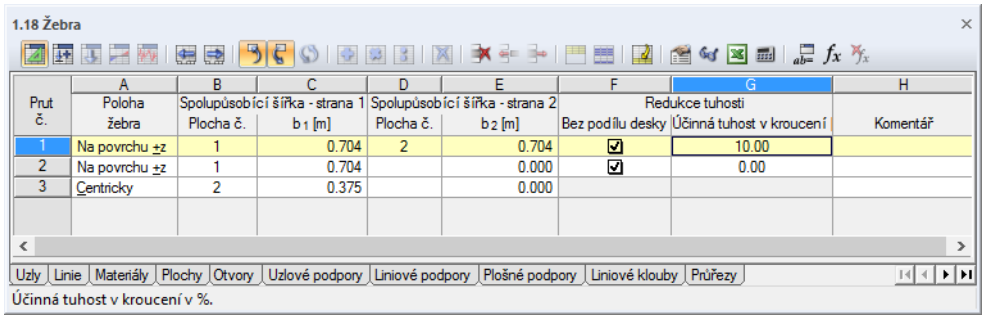
Rozbalovací tlačítko pro zadáníprutů. Žebra jsou zvláštním druhem prutu. Nezbytnou podmínkou pro zadání žebra je existence alespoň jednoho prutu. Žebra slouží k vyjádření spolupůsobení nosníků s deskou v modelu konečných prvků.

Použití žeber má za normálních podmínek smysl pouze u železobetonových konstrukcí. V přídavném modulu **RF-CONCRETE Members** lze proto při posouzení konstrukce zohlednit i vnitřní síly a průřezy žeber. Naproti tomu u ocelových konstrukcí lze plech s přivařeným „žebrem“ modelovat jednoduše jako desku s excentricky připojeným prutem.

Žebro můžeme zadat přímo z místní nabídky položky *Žebra* v navigátoru nebo z dialogu pro vytvoření nového prutu. Pokud při zadání nového prutu vybereme *typ prutu* **Žebro** (viz kapitola 4.17), lze pomocí tlačítka [Upravit typ prutu...] otevřít dialog, v němž definujeme příslušné parametry. Tento dialog můžeme otevřít také z místní nabídky v navigátoru nebo z hlavní nabídky.



Obrázek 4.178 Dialog *Nové žebro* (v případě modelu typu *2D - XY*)



Obrázek 4.179 Tabulka 1.18 *Žebra*

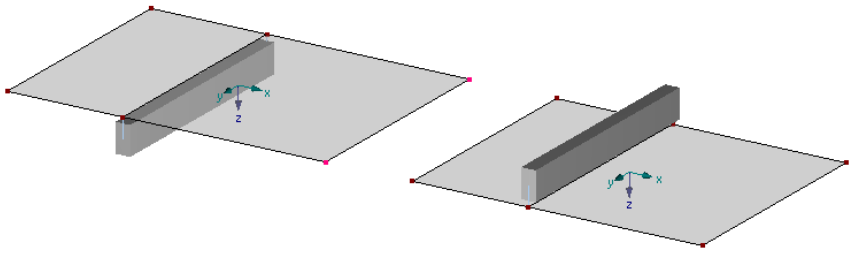
Poloha žebra

Žebro je zpravidla excentricky uloženým prutem. Excentricita je automaticky určována jako polovina součtu výšky průřezu prutu a tloušťky desky (na tabulku 1.15 *Excentricity prutu* to nemá vliv), lze ji však ručně měnit. Excentricita žebra zvyšuje tuhost konstrukce.

Žebro se může nacházet:

Na povrchu +/—z

Excentricita, která se určuje jako součet poloviční tloušťky plochy a poloviční výšky stojiny, se bude automaticky uvažovat ve směru kladné, resp. záporné osy **z** plochy. Pro kontrolu zobrazíme lokální souřadný systém plochy xyz aktivací příslušné položky v navigátoru *Zobrazit* (viz obr. 4.122).



Obrázek 4.180 Žebro na kladné straně z (vlevo) a na záporné straně z plochy

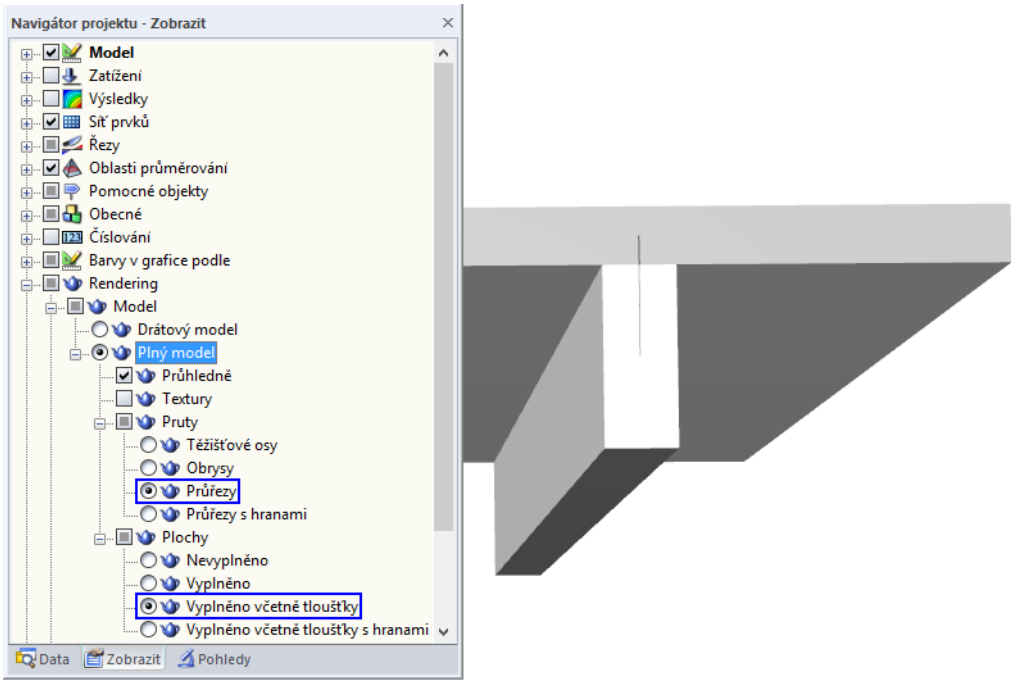
Centricky

Žebro je modelováno bez excentricity. Těžištní osa leží ve středu plochy.

Uživatelská

Excentricita prutu se zadá ručně kolmo na rovinu desky v dialogu *Nová excentricita prutu*, resp. v tabulce 1.15 (viz kapitola 4.15). Tato excentricita bude následně přiřazena určitému prutu.

Polohu žebra lze snadno zkontrolovat v renderovacím režimu. V navigátoru *Zobrazit* zaškrtneme obě možnosti pro zobrazení plného modelu **Pruty → Průřezy** a **Plochy → Vyplněno včetně tloušťky**.



Obrázek 4.181 Navigátor *Zobrazit*: Rendering - Plný model

Spolupůsobící šířka

Spolupůsobící šířka desky nemá u 3D modelů žádný vliv na tuhost konstrukce, ta je zvýšena již excentrickým prutem. Vliv spolupůsobící šířky desky se projeví pouze na velikosti vnitřních sil. V případě 2D modelů (*typ 2D - XY*) oproti tomu tuhost ovlivní nastavení v sekci *Redukce tuhosti* (viz níže).

Použijeme-li místo žebra pouze excentricky připojený nosník, na základě modelu KP se určí vnitřní síly jak na prutu, tak i v desce. Pro dimenzování železobetonových konstrukcí je však žebro s částí desky považováno za jeden průřez, za deskový nosník. Abychom získali vnitřní síly v tomto nosníku, musí být ohybový moment v prutu upraven o vliv normálové síly v desce a excentricity připojení prutu. Pokud má být zohledněna normálová síla v desce, je nutné určit oblast, ve které má být uvažována. K tomu slouží zadání spolupůsobící šířky desky a spolupůsobících ploch.

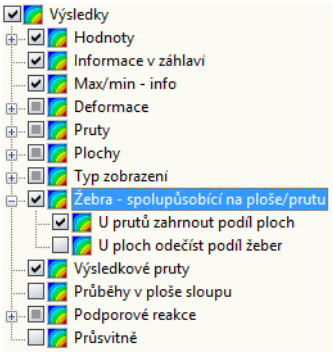
Připojená plocha

Spolupůsobící šířky se při zadání žebra definují zvlášť pro levou a pravou stranu žebra. V dialogu *Nové žebro* lze ve většině případů ponechat v seznamu *připojených ploch* přednastavenou možnost *Automatické rozpoznání*. Pokud ovšem linie žebra zasahuje více než dvě plochy, je nutné zadat čísla ploch ručně.

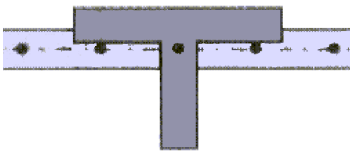
Spolupůsobící šířka

Spolupůsobící *šířku* b_1 resp. b_2 lze zadat ve vstupním poli přímo nebo lze využít možnosti spočítat ji automaticky jako *L*/6 nebo *L*/6 délky prutu. Po potvrzení zadání v dialogu program vyplní spolupůsobící šířky do příslušných polí.

Upozornění: pokud dodatečně změníme délku prutu, spolupůsobící šířky se automaticky **nepřepočítají**.



Po výpočtu lze spolupůsobící podíl ploch zohlednit ve výsledcích prutů v navigátoru *Zobrazit*: **Výsledky → Žebra — spolupůsobící na ploše/prutu**. Vnitřní síly žeber lze také zhodnotit při zobrazení výsledných průběhů na prutech (viz kapitola 9.5).



Redukce tuhosti

Tato sekce v dialogu, resp. sloupec v tabulce se zobrazí, pokud v základních údajích konstrukce (viz obr. 12.23) zvolíme typ modelu *2D - XY*. Pro deskový nosník se tu používá jiný postup výpočtu než u prostorově definovaných modelů konstrukce, kde lze žebro beztak zohlednit při analýze konečných prvků jako excentricky připojený prut.

Bez podílu desky

Pro výpočet se použije náhradní průřez, jehož tuhost se stanoví na základě průřezu prutu a spolupůsobící části desky. V případě excentricky uspořádaných žeber by tak byla uvažovaná tuhost desky dvojnásobná, neboť se zohledňuje jak tuhost vnáhradním průřezu tak tuhost působící přímo přes plošné prvky. Pokud zaškrtneme kontrolní políčko *Bez podílu desky*, podíl tuhosti desky vnáhradním průřezu se nezohlední.

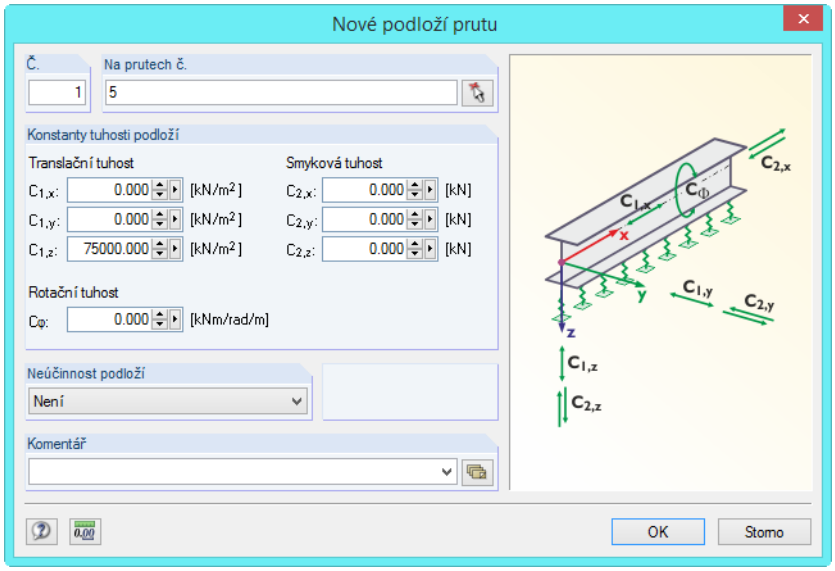
Akt. tuhost v kroucení

V tomto poli lze snížit torzní tuhost žebra.

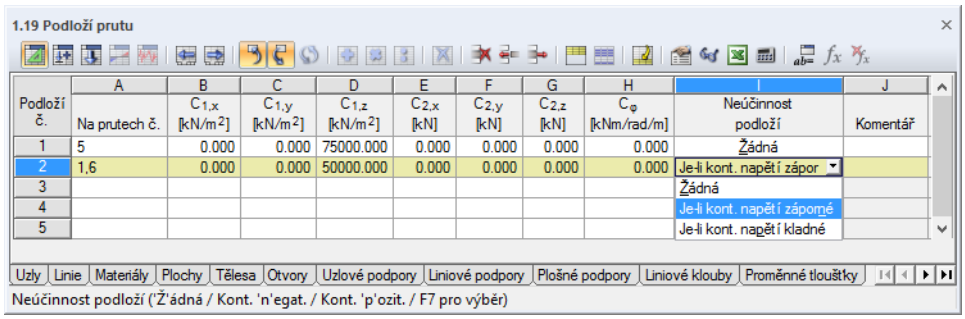
4.19 Podloží prutu

Obecný popis

Zatímco uzlové podpory slouží k uložení na obou koncích prutu, podloží prutu umožňují pružně podepřít prut po celé jeho délce. Můžeme tak například modelovat základové nosníky při zohlednění vlastností podloží. Zadat lze i nelineární působení, pokud je podloží neúčinné v tahu nebo tlaku.



Obrázek 4.182 Dialog *Nové podloží prutu*



Obrázek 4.183 Tabulka 1.19 *Podloží prutu*

Na prutech č.

Podloží lze definovat pouze pro typ prutu *Nosník*. Číslo prutu zadáme do příslušného sloupce v tabulce, popř. do odpovídajícího vstupního pole v dialogu nebo prut vybereme graficky.

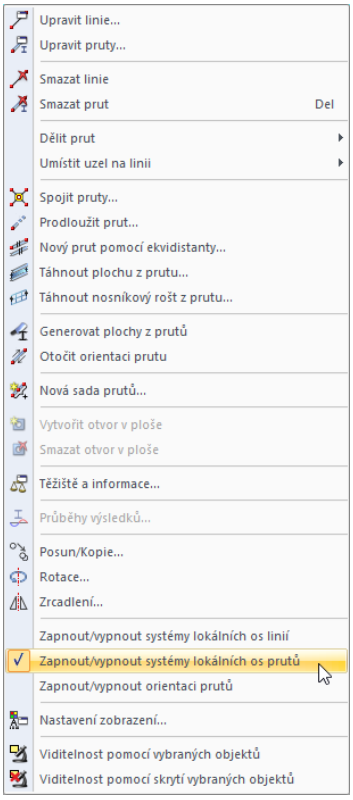
Konstanty tuhosti podloží

Translační tuhost

Hodnoty translační tuhosti podloží se zadávají zvlášť ve směru lokálních os prutu x, y a z. Tuhosti pružiny je třeba chápat jako návrhové hodnoty.

Při zadávání hodnot se lze orientačně řídit moduly tuhosti E_S pro jednotlivé typy zemin z tabulky 4.8. Je ovšem třeba vzít v úvahu, že se zadání v programu RFEM vztahuje na modul reakce podloží!

Typ půdy	E_S statické zatížení	E_S dynamické zatížení
Písek, hutný	40 - 100	200 - 500
Štěrkopísek, hutný	80 - 150	300 - 800



Místní nabídka prutu

Hlína/jíl, polopevný až pevný	8 - 30	120 - 250
Hlína/jíl, s vysokou plasticitou	5 - 20	70 - 150
Smíšená zemina, polopevná až pevná	20 - 100	200 - 600

Tabulka 4.8 Moduly tuhosti vybraných typů zemin v [N/mm²]

Tabulka 4.8 uvádí modul tuhosti E_S zemin. U podloží ploch je třeba pro vlastnosti pružiny použít modul podloží k_s. Jako první aproximaci lze modul podloží vypočítat z modulu tuhosti při zohlednění tvarového součinitele *f* a šířky základu *b* podle následující rovnice [46]:

$$k_s \approx \frac{E_S}{f \cdot b}$$

Rovnice 4.30

U prutů s podložím, které se například používají k modelování základových pásů, se při výpočtu konstanty tuhosti podloží přihlíží k šířce průřezu. Získáme tak translační tuhost vztaženou na prut v [N/mm²]. Tato hodnota udává sílu na prutu v [N/mm], která je zapotřebí ke stlačení zeminy o 1 mm — odtud plyne jednotka [N/mm²], která se uvádí jako vstupní údaj. Výsledek je pak třeba zadat jako translační tuhost $C_{1,z}$: v případě základových pásů (prutů ve vodorovné poloze) směřuje lokální osa z zpravidla dolů.

Lokální osy prutu lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* nebo z místní nabídky prutu (viz obr. 4.169).

Smyková tuhost

Smyková tuhost udává smykovou únosnost podloží. Konstanty tuhosti C_2 se vypočítají ze součinu $\nu \cdot C_{1,z}$, přičemž Poissonův součinitel ν pro písčité a štěrkovité zeminy leží v rozmezí 0,125 a 0,5 a pro jílovité zeminy mezi 0,2 a 0,4.

Rotační tuhost

V tomto vstupním poli v dialogu, resp. ve sloupci v tabulce se uvádí konstanta rotační tuhosti, která brání rotaci prutu okolo jeho podélné osy.

Neúčinnost podloží

Pokud podloží není účinné v případě působení tahových či tlakových sil, lze mu přiřadit nelineární vlastnost - kritérium *neúčinnosti*.

Neúčinnost podloží se definuje pro případ *záporného*, resp. *kladného* kontaktního napětí a vztahuje se výhradně k lokální ose **z** prutu, **nikoli** tedy k lokálním osám x nebo y. Dvouosá neúčinnost prutů s podložím tak není možná.

Neúčinnost v případě záporného kontaktního napětí tedy znamená: podloží je neúčinné, pokud se prut pohybuje proti směru lokální osy z.

Pokud zadáváme kritérium neúčinnosti, měli bychom zkontrolovat polohu a orientaci lokálních os z (viz obr. 4.169). Je možné, že bude nutné natočit pruty.

Dělení prutů s pružným uložením lze nastavit v záložce *Globální parametry výpočtu* v dialogu *Parametry výpočtu* (viz kapitola 7.3).

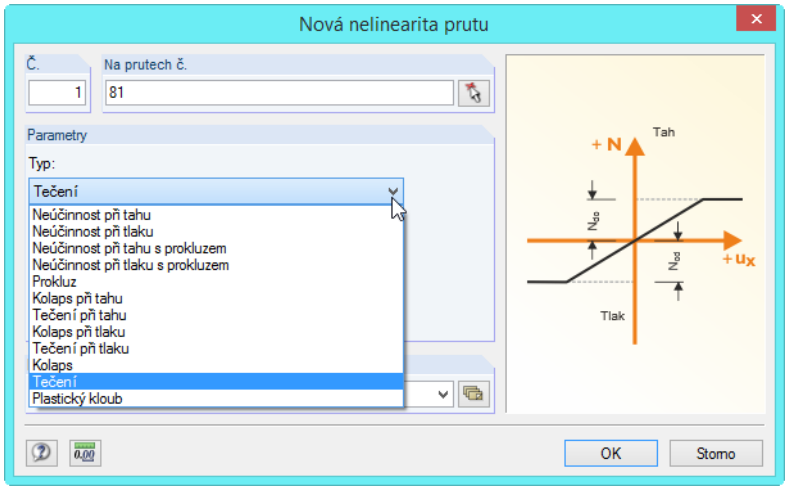
4.20 Nelinearity prutu

Obecný popis

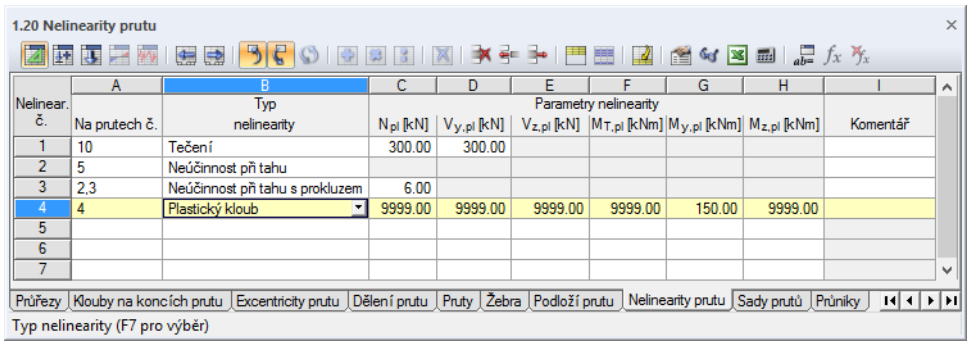
Nelinearity prutu odrážejí nelineární vztahy mezi silou (či momentem) a protažením v prutech.

Již při zadání typu prutu lze definovat řadu nelineárních vlastností. Tak například tahový prut je příhradový prut, u kterého protažení lineárně roste s tahovou silou, zatímco v tlaku prut nepůsobí.

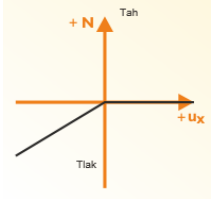
Nelinearity lze v zásadě přiřadit jakémukoli typu prutu, je však třeba postupovat s rozmyslem. Pokud bychom např. tlakovému prutu zadali kritérium „Neúčinnost při tlaku“,nastaly by při výpočtu nevyhnutelně problémy. Nelinearity prutu tak nejsou vhodné pro následující typy prutu: tahové, tlakové, vzpěrné a lanové pruty a dále pruty s průřezem typu Dummy Rigid.

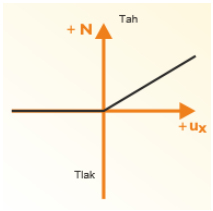
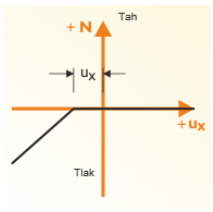
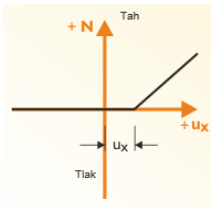
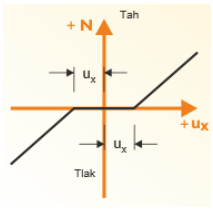
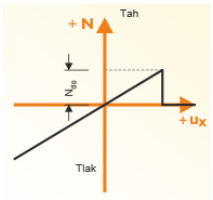
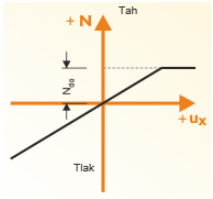
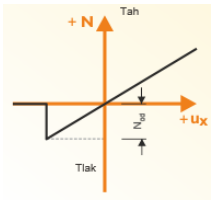


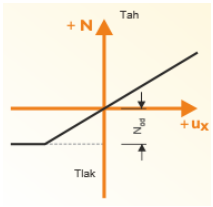
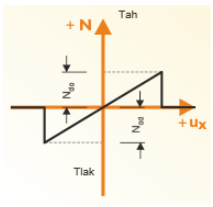
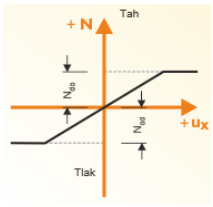
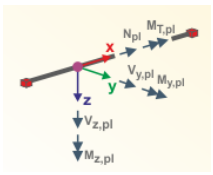
Obrázek 4.184 Dialog *Nová nelinearita prutu*



Obrázek 4.185 Tabulka 1.20 *Nelinearity prutu*

Nelinearita	Diagram	Popis
Neúčinnost při tahu		Prut nepřenáší tahovou sílu.

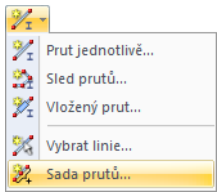
Neúčinnost při tlaku		Prut nepřenáší tlakovou sílu.
Neúčinnost při tahu s prokluzem		Prut nepřenáší tahovou sílu. Tlakovou sílu přenáší až po překonání prokluzu u_x.
Neúčinnost při tlaku s prokluzem		Prut nepřenáší tlakovou sílu. Tahovou sílu přenáší až po překonání prokluzu u_x.
Prokluz		Prut může teprve po protažení nebo zkrácení o hodnotu u_x přenášet normálovou sílu. **Upozornění**: liniové zahuštění na prutu s *prokluzem* způsobí, že prut je interně rozdělen na malé pruty. U **každého** dílčího prutu se pak budou uvažovat dané nelineární vlastnosti.
Kolaps při tahu		Prut přenáší tlakové síly bez omezení, avšak stane se neúčinným, pokud je tahová síla větší než N_{do}.
Tečení při tahu		Prut přenáší tlakové síly bez omezení, ale pouze maximální tahovou sílu N_{do}. Při větším protažení zůstává tahová síla v prutu konstantní.
Kolaps při tlaku		Prut přenáší tahové síly bez omezení, avšak stává se neúčinným při tlakové síle vyšší než N_{do}.

Tečení při tlaku		Prut přenáší tahové síly bez omezení, ale pouze maximální tlakovou sílu N_{od}. Při větším protažení zůstává tlaková síla v prutu konstantní.
Kolaps		Prut se stává neúčinným při dosažení tlakové síly N_{od} nebo při dosažení tahové síly N_{do}.
Tečení		Prut začíná téct při dosažení tlakové síly N_{od} nebo tahové síly N_{do}: při větším protažení se síla nezvětšuje.
Plastický kloub		Pokud na určitém místě v prutu bude dosažena některá z hodnot plastické únosnosti, vytvoří se v tomto místě plastický kloub s touto plastickou únosností. Hodnoty únosnosti je třeba zadat kladné. Pro složky vnitřních sil, které nevedou k plastifikaci, zadáváme vysoké hodnoty.

Tabulka 4.9 Nelinearity prutu

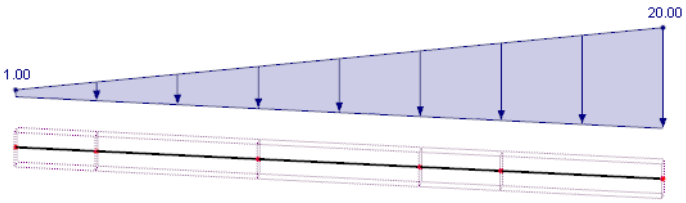
4.21 Sady prutů

Obecný popis



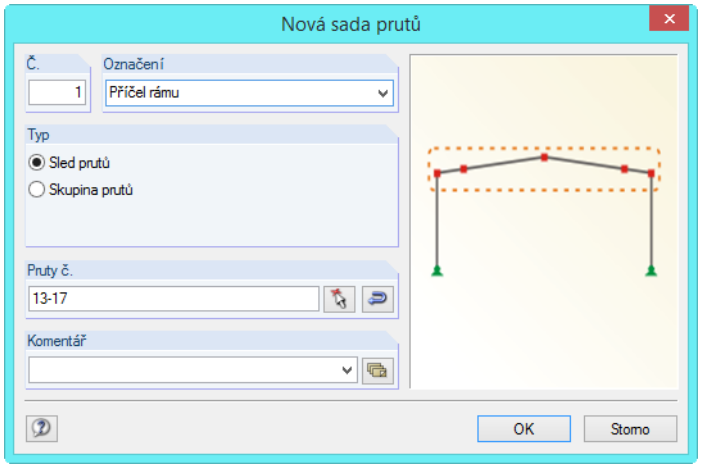
Rozbalovací tlačítko pro zadání *prutů*

Pruty se pak spojují do takzvaných sad prutů. Na některých místech v modelu konstrukce je v určitých případech výhodné, když několik prutů vystupuje jako jeden prut (např. při posouzení prostorového vzpěru, posouzení betonových spojitých nosníků nebo při zadávání zatížení).



Obrázek 4.186 Sada prutů s lichoběžníkovým zatížením

Na obrázku výše vidíme příklad sady prutů zatížené lichoběžníkovým zatížením.



Obrázek 4.187 Dialog *Nová sada prutů*

1.21 Sady prutů

Sada pr. č.	A Označení sady prutů	B Typ	C Pruty č.	D Délka [m]	E Hmotnost [kg]	F Komentář
1	Rámová příčel A-A	Sled prutů	13-17	8.000	530.7	
2	Rámová příčel B-B	Sled prutů	18-22	8.000	530.7	
3	Sloup A-A	Skupina prutů	2,4,23	7.384	931.3	
4	Štítový rám	Skupina prutů	24-31	15.384	1462.0	Posouzení prostorového vzpěru
5						
6						
7						
8						

Průřezy | Klouby na koncích prutu | Excentricity prutu | Dělení prutu | Pruty | Podloží prutu | Nelinearity prutu | Sady prutů | Průniky

Označení (jméno) sady prutů

Obrázek 4.188 Tabulka 1.21 *Sady prutů*

Označení sady prutů

Pro sadu prutů lze uvést libovolný název. Uživatel může také vybrat některé označení ze seznamu. Ručně zadané názvy se uloží do seznamu a dále již budou k dispozici pro výběr.

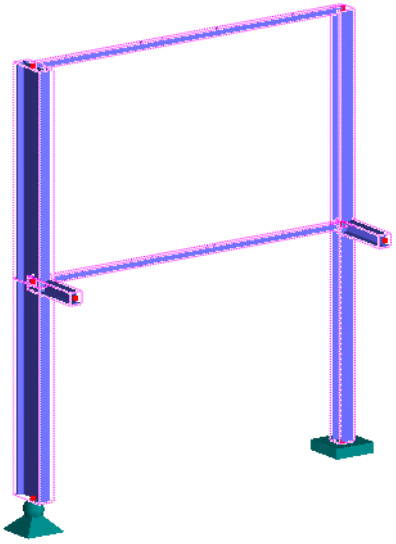
Typ

RFEM rozlišuje dva různé typy sad prutů – sledy prutů a skupiny prutů.

Sled prutů je tvořen několika pruty, které na sebe průběžně navazují a nevětví se. Lze je nakreslit souvislou čárou.

Obrázek 4.189 Sled prutů

Skupina prutů je tvořena několika navazujícími pruty, které se mohou větvit.



Obrázek 4.190 Skupina prutů

V některých přídavných modulech lze k posouzení vybrat i sady prutů. Posouzení je však možné pouze pro sady prutů typu *Sled prutů*, ne pro skupiny prutů. Parametry jako např. vzpěrné délky musí být jednoznačně definovatelné.

Pruty č.

V tomto vstupním poli v dialogu, popř. v příslušném sloupci v tabulce se zadávají čísla prutů, které budou součástí sady prutů. Po kliknutí na tlačítko lze příslušné pruty vybírat i v grafickém okně. Tlačítko slouží ke změně pořadí čísel prutů, a tím i směru sady prutů.

Sadu prutů lze nejrychleji definovat následovně: pruty, které mají tvořit sadu prutů, vybereme oknem nebo provedeme několikanásobný výběr pomocí stisknuté klávesy [Ctrl]. Na některý z vybraných prutů následně klikneme pravým tlačítkem myši. Vyvoláme tak místní nabídku prutu, v níž zvolíme příkaz **Nová sada prutů...** resp. **Prut → Nová sada prutů...** Otevře se dialog *Nová sada prutů*, v němž jsou již přednastavena čísla vybraných prutů.

Délka

V tabulce najdeme sloupec pro údaj o délce sady prutů. Celková délka sady prutů se stanoví jako součet délek jednotlivých prutů.

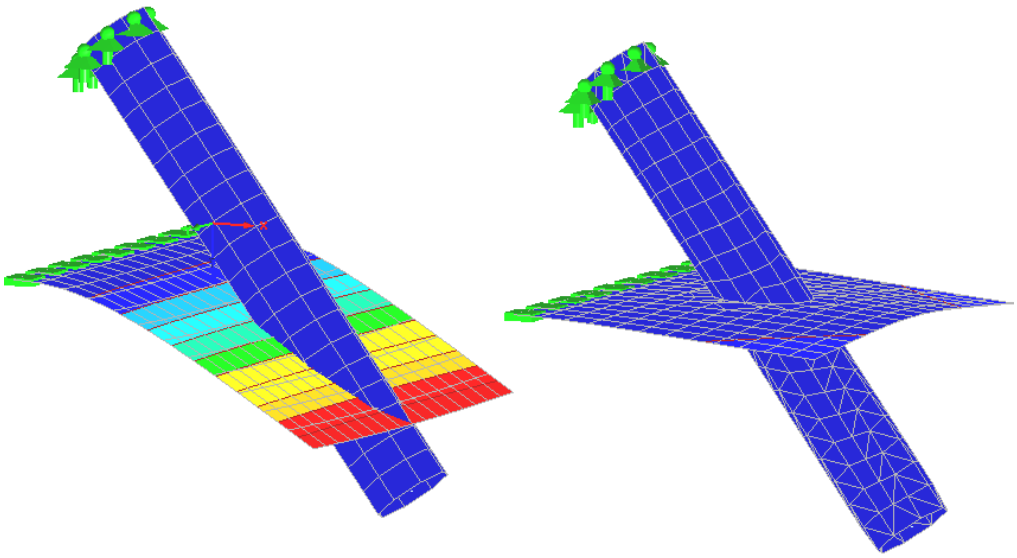
Hmotnost

Hmotnost sady prutů se stanoví jako součet tíhy jednotlivých prutů.

4.22 Průniky

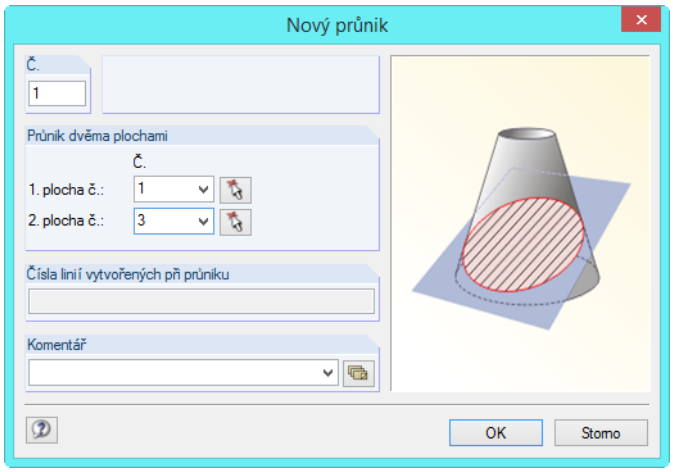
Obecný popis

Pokud se mají na styku dvou ploch přenášet vnitřní síly, musí se vytvořit průniková linie. V opačném případě by vznikly dvě nezávislé dílčí konstrukce, mezi nimiž by neexistovalo žádné spojení. Problém lze vysvětlit na následujícím příkladu.

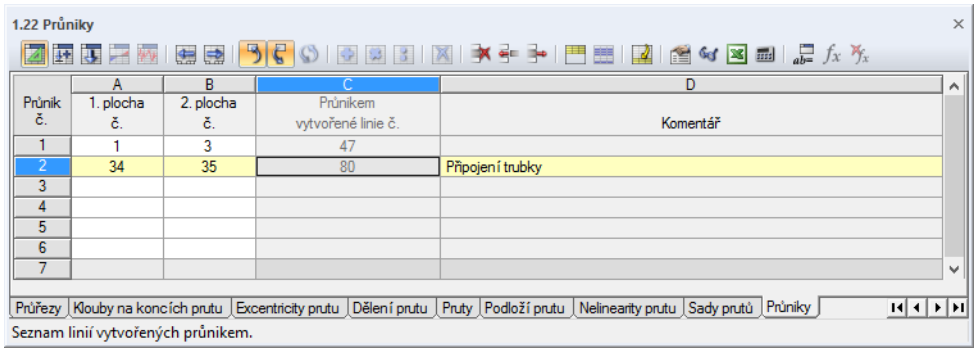


Obrázek 4.191 Deformace od vlastní tíhy bez průniku (vlevo) a deformace s průnikem (vpravo)

Při každé změně modelu musí RFEM průniky znovu přepočítat. Pokud je model konstrukce rozsáhlejší, je třeba počítat i s delší dobou zpracování úprav grafiky. Zadávání se v odpovídající míře zpomalí.



Obrázek 4.192 Dialog *Nový průnik*

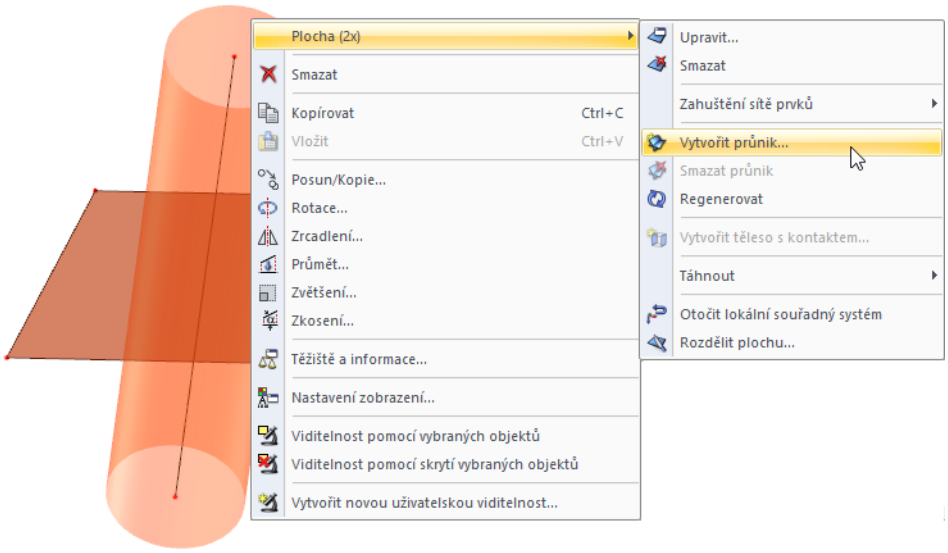


Obrázek 4.193 Tabulka 1.22 *Průniky*

Průnik dvěma plochami

V těchto vstupních polích v dialogu, popř. v příslušných sloupcích tabulky je nutné zadat čísla dvou ploch, které mají vytvořit průnik. V dialogu *Nový průnik* lze tyto plochy vybrat ze seznamu nebo pomocí funkce v grafickém okně.

Průniky (včetně případných průniků více než dvou ploch) lze relativně snadno graficky vytvářet: nejdříve vybereme příslušné plochy oknem nebo vícenásobným výběrem pomocí tlačítka [Ctrl]. Pravým tlačítkem myši následně klikneme na některou z vybraných ploch. Otevře se místní nabídka, která obsahuje příkaz **Plocha → Vytvořit průnik...** Průnik se pak automaticky vytvoří.



Obrázek 4.194 Místní nabídka **Plocha → Vytvořit průnik...**

Průnikem vytvořené linie č.

Při generování průniku se vytvoří linie, která je společná oběma plochám („linie průniku“). Číslo nové linie se uvede v příslušném políčku v dialogu, resp. ve sloupci v tabulce.

V tabulce 1.2 se zaznamená jako linie typu *Průnik Linie průniku* a doplní se poznámkou *Generována*. Také průnikové linie lze dodatečně upravovat v dialogu *Upravit linii*. Lze jim tak přiřadit vlastnosti prutu nebo podporové vlastnosti.

Aktivní dílčí plochy

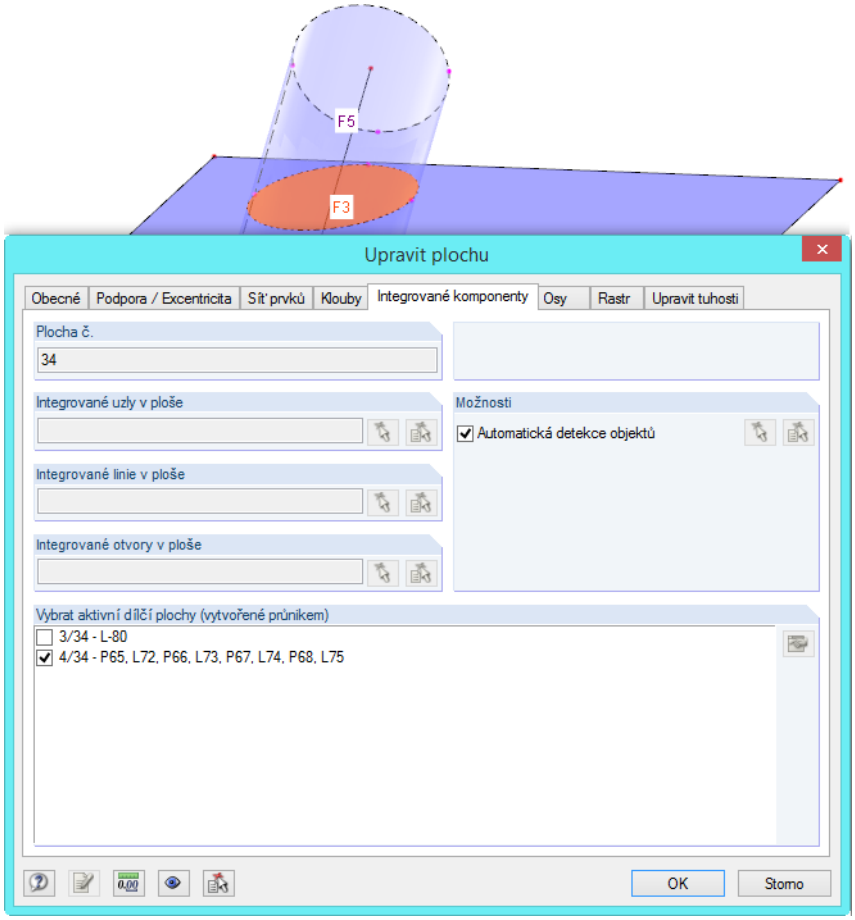
Průnikovými liniemi jsou plochy rozčleněny na dílčí plochy. Tyto dílčí plochy lze jednotlivě připojovat nebo odpojovat. Je-li některá dílčí plocha odpojená, nebude tato plocha zahrnuta do výpočtu. Nezobrazí se v pracovním okně, nevytvoří se na ní síť KP ani na ní nebude uvažováno zatížení. Pro výpočetní jádro existují pouze aktivované dílčí plochy.

Odpojení, příp. aktivaci dílčí plochy lze provést následovně:

- Dialog *Upravit plochu*

  Dvakrát klikneme na původní plochu *Mateřská plocha* v navigátoru. Pokud se rozhodneme kliknout dvakrát na plochu v pracovním okně, pak použijeme tlačítko [Přejít na mateřskou plochu...] v záložce *Komponenta*, (viz obr. 4.72) pro otevření dialogu pro úpravu původní plochy.

  V záložce *Integrované komponenty* v seznamu *Vybrat aktivní dílčí plochy* se zobrazí všechny dílčí plochy, které průnikem vznikly.

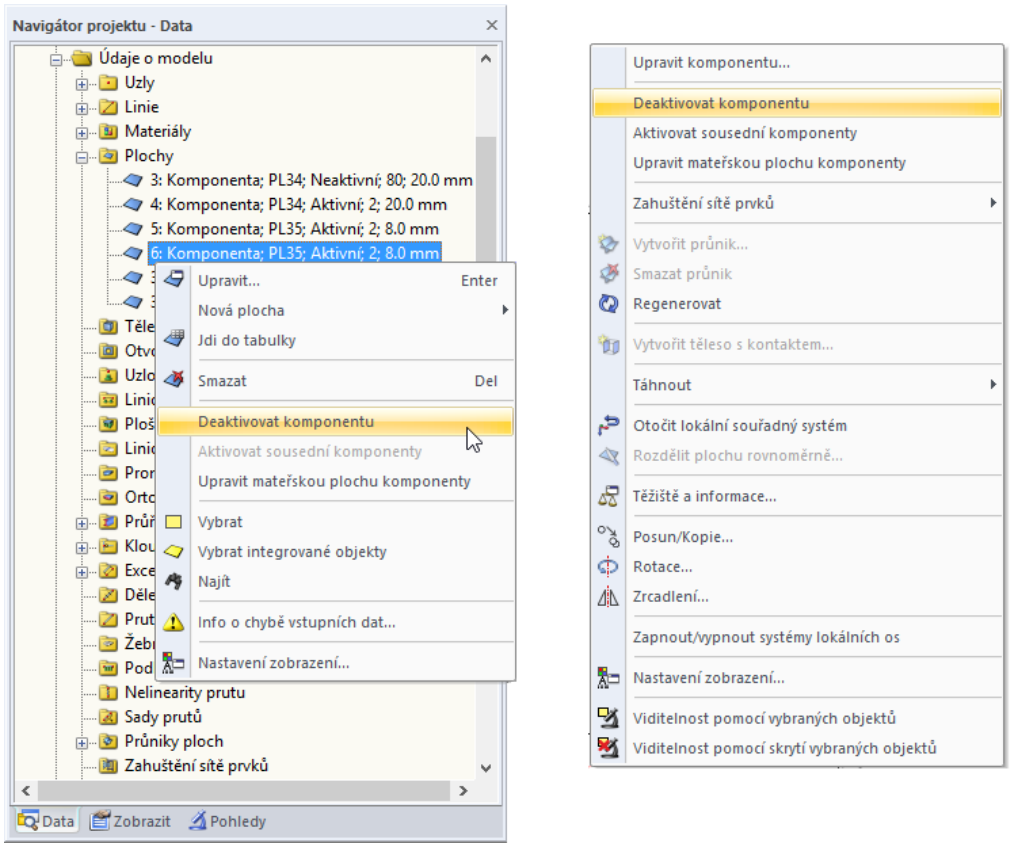


Obrázek 4.195 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Integrované*

Pokud v seznamu vybereme určitou plochu, zvýrazní se barevně v grafickém okně. Jestliže chceme dílčí plochu deaktivovat, je třeba u ní v zaškrtávacím políčku odstranit háček. V grafickém zobrazení pak tato plocha nebude vyplněna.

- Místní nabídka dílčí plochy v navigátoru *Data* / Místní nabídka

  Klikneme na danou v navigátoru nebo na dílčí plochu přímo v pracovním okně pravým tlačítkem myši. Otevře se místní nabídka, v které pak lze příslušnou dílčí plochu aktivovat nebo deaktivovat.



Obrázek 4.196 Místní nabídka dílčí plochy v navigátoru a v pracovním okně

Místní nabídka obsahuje další užitečné funkce, které slouží k úpravě dílčí nebo původní plochy.

Údaje o geometrii původní plochy zůstávají interně v programu zachovány, protože jsou nezbytné pro případné přepočítání tvaru průniku. Neaktivní dílčí plochy proto nelze smazat, ale pouze odpojit.

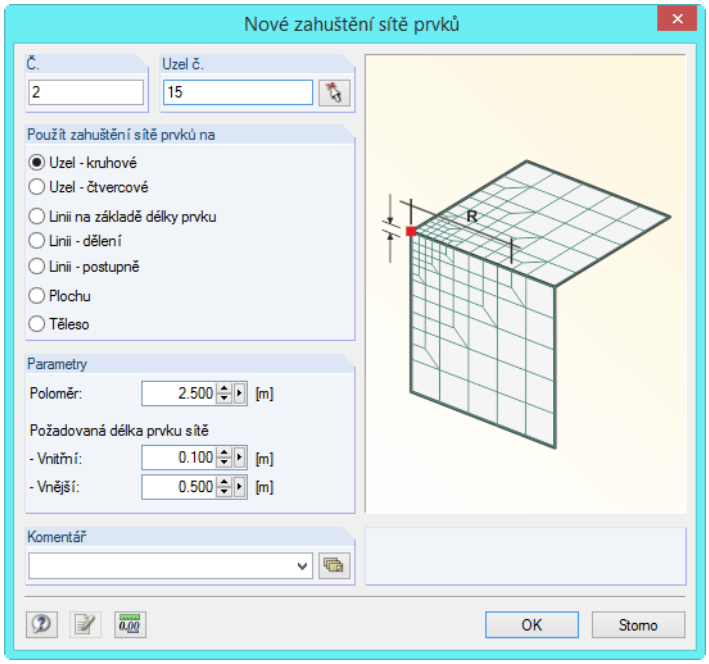
4.23 Zahuštění sítě prvků

Obecný popis

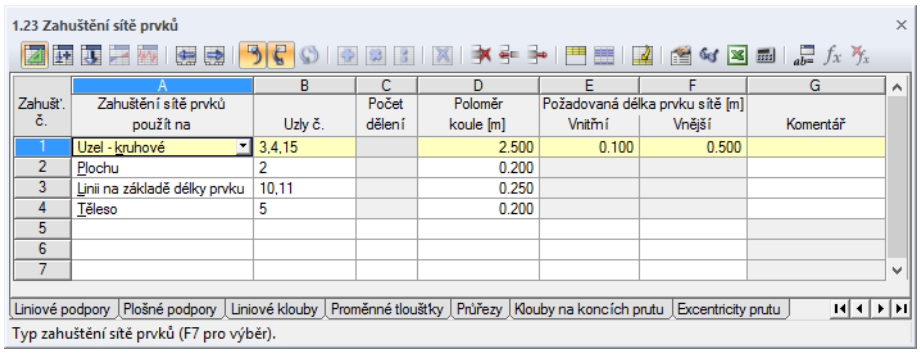
Tvorba sítě konečných prvků se v RFEMu v první řadě řídí globálně nastavenou délkou prvku sítě. Možnosti nastavení popisujeme v kapitole 7.2.2.

Generátor sítě konečných prvků (KP), tak jak je koncipován, neumožňuje upravovat síť dodatečně. Síť KP lze ovšem ve vybraných oblastech zahustit. Lze tak dosáhnout potřebné diskretizace např. v rohových oblastech, v oblastech připojení prutů na plochy nebo u prutů při dynamické analýze.

Funkce *Adaptivní zahuštění sítě* (viz kapitola 7.2.2.3) umožňuje automaticky vytvořit oblasti zahuštění v síti konečných prvků. Zahuštění sítě KP poté není třeba zadávat ručně.

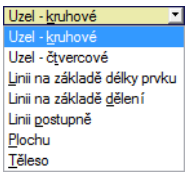


Obrázek 4.197 Dialog *Nové zahuštění sítě prvků*



Obrázek 4.198 Tabulka 1.23 *Zahuštění sítě prvků*

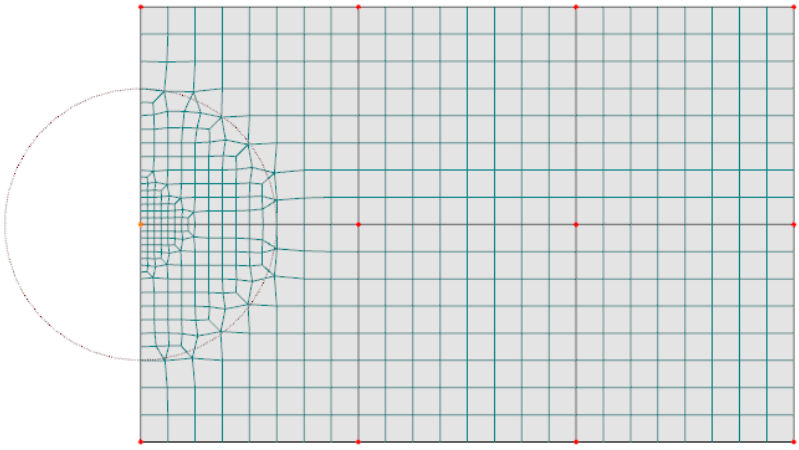
Zahuštění sítě prvků použít na



V této sekci dialogu, resp. v příslušném sloupci v tabulce určíme, na které objekty se bude zahuštění sítě vztahovat a také jakým způsobem bude zahuštění probíhat. Vybrat lze některý ze sedmi typů zahuštění sítě, které popisujeme na následujících stránkách.

Uzel - kruhové

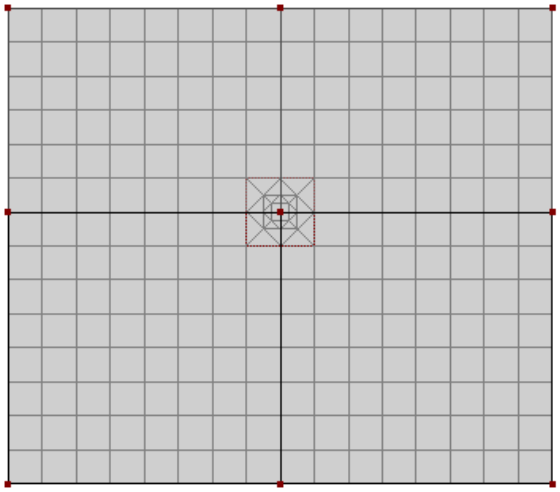
V tomto případě definujeme poloměr kruhové oblasti, v které bude zahuštění prvků ve všech směrech v prostoru provedeno a jejímž středem je daný uzel. Dále lze zadat požadovanou délku prvku sítě ve středu a na obvodu kruhu.



Obrázek 4.199 Kruhové zahuštění okolo uzlu

Uzel - čtvercové

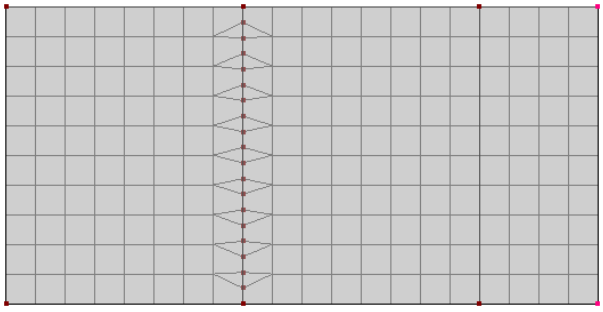
Při této volbě zadáme hranu čtverce, ve kterém bude zahuštění sítě provedeno. Dále lze zadat požadovanou délku prvku sítě ve středu zahuštění.



Obrázek 4.200 Čtvercové zahuštění okolo uzlu

Zahuštění na linii na základě délky prvku

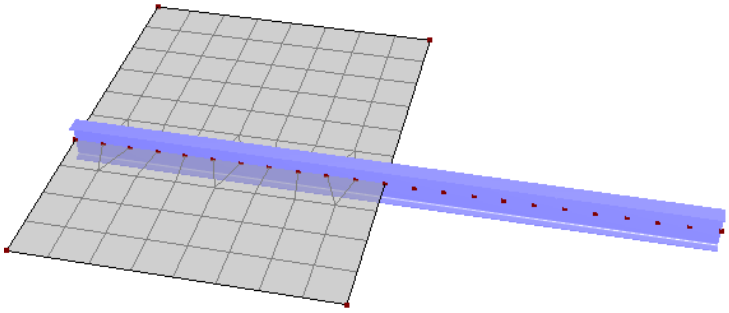
V tomto případě se zadá rovnoměrná vzdálenost mezi body sítě konečných prvků na linii.



Obrázek 4.201 Zahuštění na linii zadáním délky prvku

Zahuštění na linii na základě dělení

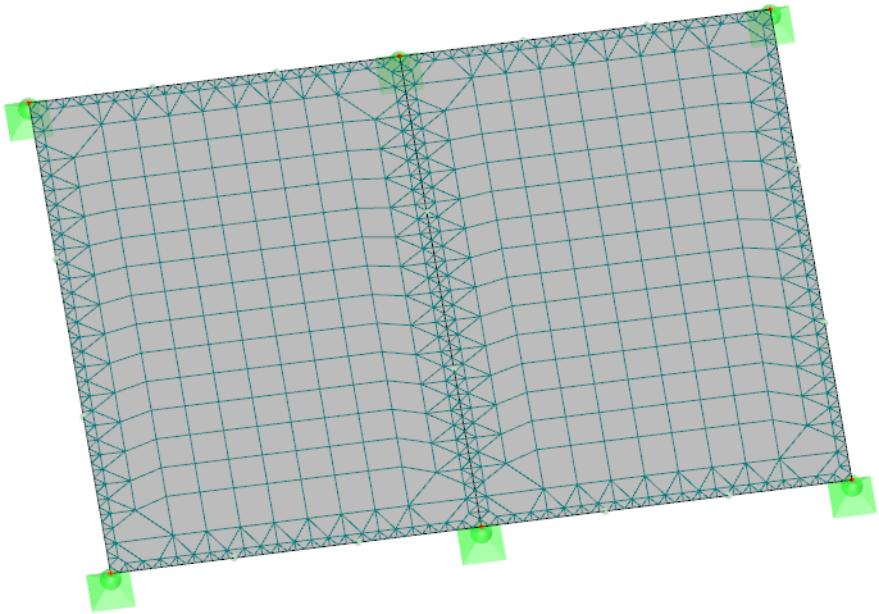
Další alternativou je zahuštění sítě prvků na linii jejím rozdělením na pravidelné úseky. Tento způsob zahuštění je vhodný zvláště pro linie, které mají vlastnosti prutu.



Obrázek 4.202 Zahuštění na linii na základě dělení

Postupné zahuštění na linii

Konečné prvky přilehlé k linii lze rozdělit tak, že zadáme počet řádků n. Můžeme tak například zahustit okrajové oblasti ploch. Tento typ zahuštění je srovnatelný s volbou *Zahuštění sítě podél linie* (viz kapitola 7.2.2), která je k dispozici v případě 2D desek.

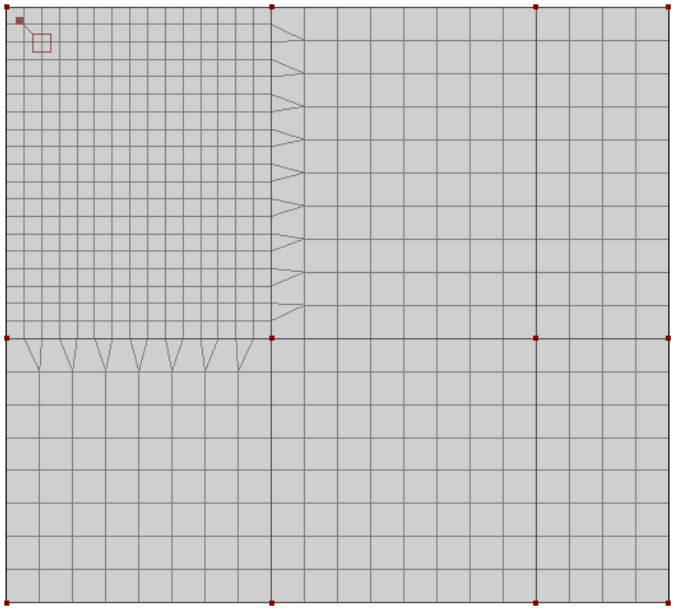


Obrázek 4.203 Postupné zahuštění na linii zadáním 2 řádků

Zahuštění na plochu

Při této volbě se zadává požadovaná délka strany prvku sítě, která bude platná pro prvky sítě na celé ploše.

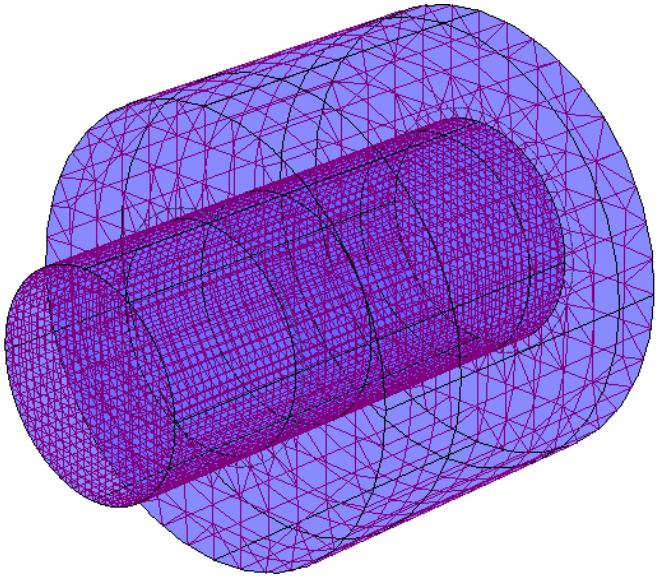
Tento typ zahuštění lze obráceně použít i pro plochy, které nejsou pro analýzu tolik důležité: jako „zahuštění“ zadáme pro tyto plochy větší vzdálenost mezi prvky, než je globálně nastavená délka prvku sítě.



Obrázek 4.204 Zahuštění na ploše

Zahuštění na tělese

Zahuštění sítě prvků lze definovat i pro tělesa, a ovlivnit tak generování 3D prvků.



Obrázek 4.205 Zahuštění na tělese

Uzly / Linie / Plochy / Tělesa č.

V tomto poli zadáme čísla objektů, ke kterým se bude zahuštění sítě KP vztahovat. V dialogu *Nové zahuštění sítě prvků* lze příslušné objekty stanovit i graficky pomocí funkce .

Parametry

Poloměr

Pokud jsme vybrali kruhové zahuštění sítě okolo uzlu, je třeba zadat poloměr oblasti zahuštění. Dále je třeba zadat *požadovanou délku prvku sítě* ve středu (*vnitřní* délka) a na obvodu (*vnější* délka) kruhu. Pokud se délka prvku na okraji oblasti zahuštění shoduje s globálně nastavenou délkou prvku, bude se síť směrem ke středu postupně zjemňovat.

Jestliže je rozdíl mezi zadanou vnitřní a vnější délkou prvku větší, pak by neměl být definován příliš malý poloměr, jinak se v oblasti zahuštění vytvoří ostroúhlé trojúhelníkové prvky.

Délka strany

V případě čtvercového zahuštění okolo uzlu je třeba určit délku strany čtverce, ve kterém proběhne zahuštění sítě. Dále je třeba zadat *požadovanou délku prvku sítě* ve středu zahuštění (*vnitřní* délka).

Počet dělení

Při zahuštění sítě na linii na základě dělení je třeba zadat počet dělicích uzlů. Na linii se pak v pravidelných rozestupech vygeneruje příslušný počet uzlů sítě KP.

Počet řádků

Při postupném zahuštění sítě na linii je třeba stanovit počet řádků n. Konečné prvky na ploše, které bezprostředně s linií sousedí, se pak rozdělí do příslušného počtu řádků. K zahuštění sítě přitom dochází ve směru linie.

Požadovaná délka prvku sítě na linii / ploše / tělese

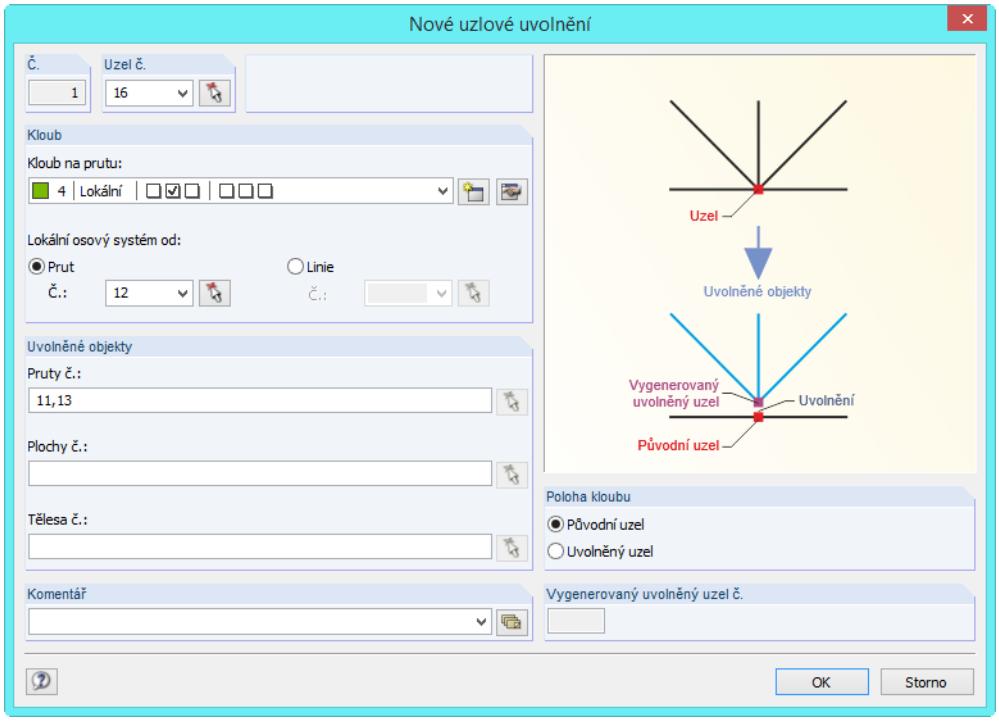
Pokud jsme vybrali zahuštění sítě na linii, ploše nebo tělese, pak je třeba pro daný objekt stanovit požadovanou délku prvku sítě.

4.24 Uzlová uvolnění

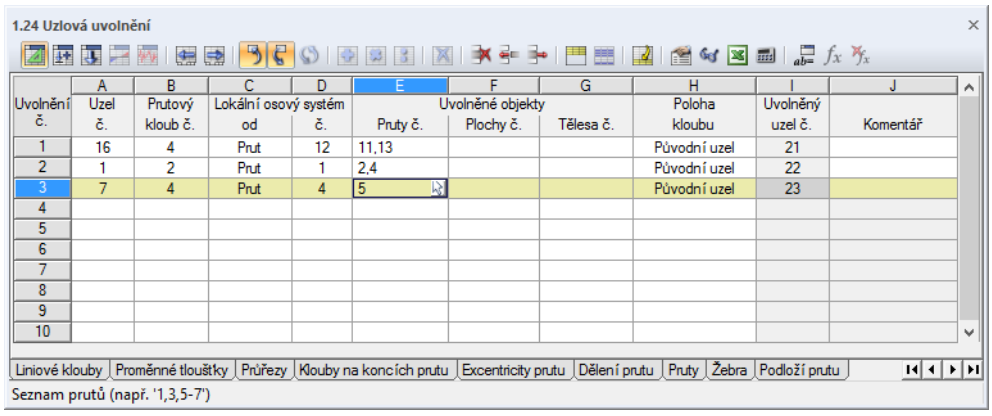
Obecný popis

Uzlové uvolnění umožňuje model rozpojit na určitém místě. Lze tak například modelovat situaci, kdy nosník na jiném pouze volně leží. Uzlové uvolnění předpokládá zadání kloubu s odpovídajícími vlastnostmi - i nelineárními.

Při uzlovém uvolnění RFEM vytvoří dvojité uzly, které patří k různým částem konstrukce. Mezi danými uzly se pak uvažuje neviditelný prut, pro který platí vnitřní síly jako u prutu s počátkem v původním uzlu a s koncem v odpojeném uzlu.



Obrázek 4.206 Dialog *Nové uzlové uvolnění*



Uvolnění č.	A Uzel č.	B Prutový kloub č.	C Lokální osový systém od	D č.	E Uvolněné objekty Pruty č.	F Plochy č.	G Tělesa č.	H Poloha kloubu	I Uvolněný uzel č.	J Komentář
1	16	4	Prut	12	11,13			Původní uzel	21	
2	1	2	Prut	1	2,4			Původní uzel	22	
3	7	4	Prut	4	5			Původní uzel	23	
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Obrázek 4.207 Tabulka 1.24 *Uzlová uvolnění*

Uzel

Číslo příslušného uzlu zadáme přímo nebo ho vybereme ze seznamu, příp. pomocí funkce graficky v pracovním okně.

Kloub na konci prutu

Pro přiřazení vlastností kloubu můžeme použít seznam v daném poli. Tlačítkem , resp. otevřeme dialog *Nový kloub na konci prutu*, v kterém můžeme zadat další typ kloubu. Dialog popisujeme v kapitole 4.14.

Lokální osový systém

Pokud kloub zadáváme ve vztahu k lokálnímu osovému systému, je třeba stanovit referenční *prut* nebo *linii*. V případě kloubů vztažených ke globálnímu souřadnému systému nejsou daná vstupní políčka přístupná.

Uvolněné objekty

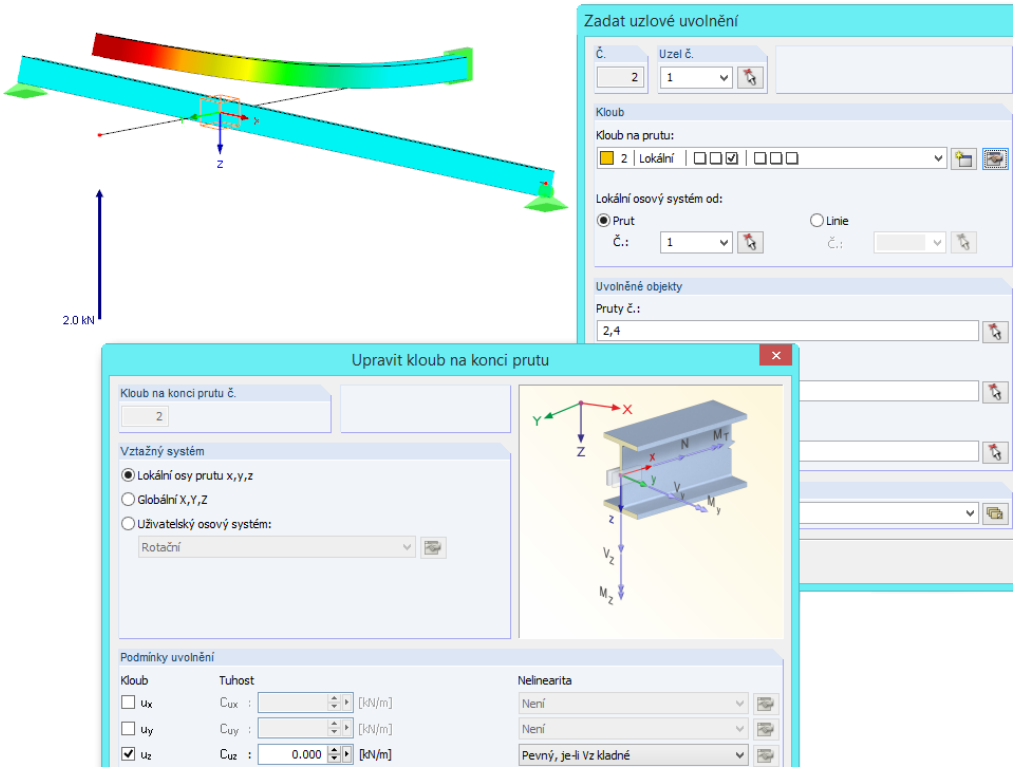
Uvolněné *pruty*, *plochy* a *tělesa* můžeme zadat přímo, nebo je můžeme vybrat graficky pomocí funkce v pracovním okně.

Poloha kloubu

Jak jsme již zmínili, RFEM vytvoří kopii uzlu. Můžeme uvést, zda se má kloub umístit na *původním uzlu* nebo na *uvolněném uzlu*. Na výsledky nebude mít toto nastavení vliv.

Příklad: křížení nosníků s odlehčujícími silami

Konzola leží volně na průvlaku. Při působení odlehčujících účinků se uzel uvolní, pokud jsme zadali smykový kloub pro směr u_z s nelineárními vlastnostmi.



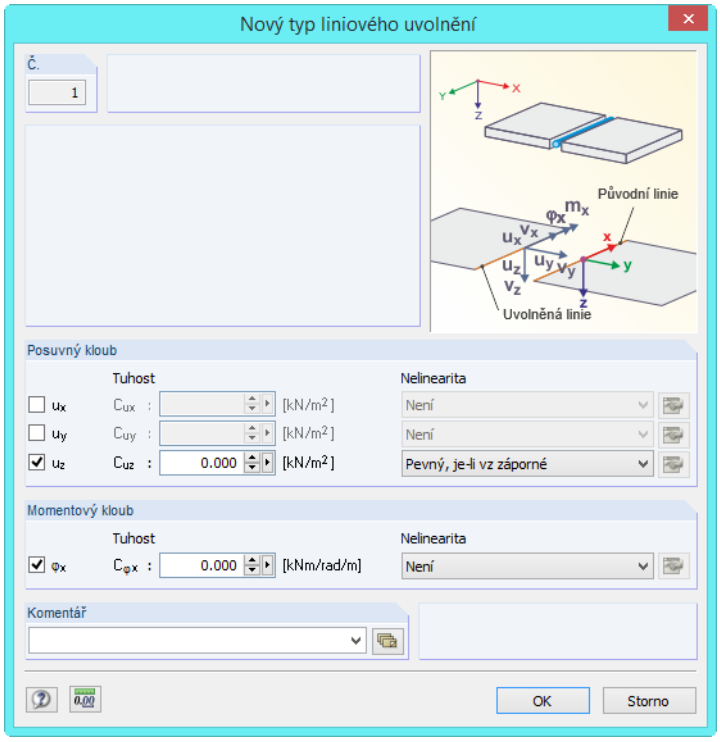
Obrázek 4.208 Tvar deformace při zadání kloubu

4.25 Typy liniových uvolnění

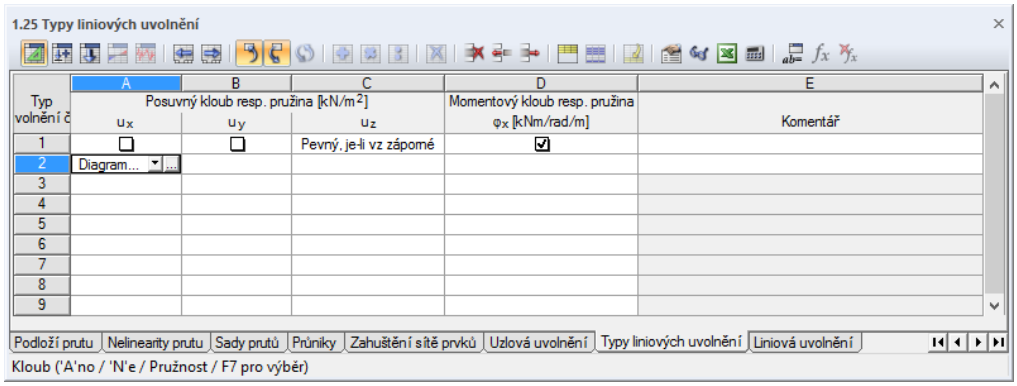
Obecný popis

Liniové uvolnění umožňuje rozpojit model podél určité linie například v případě, kdy jsou plochy spojeny jen volně nebo mohou být přenášeny pouze tlakové síly.

Nejdříve zadáme jako *typ liniového uvolnění* kloub se specifickými vlastnostmi. Lze je pak přiřadit prutům, plochám či tělesům, které mají společnou linii (viz kapitola 4.26).



Obrázek 4.209 Dialog *Nový typ liniového uvolnění*



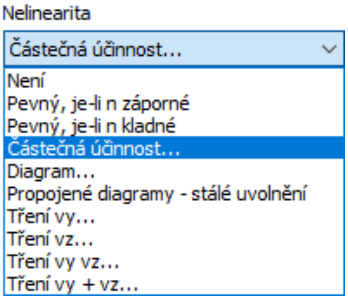
Obrázek 4.210 Tabulka 1.25 *Typy liniových uvolnění*

Posuvný kloub resp. pružina u_x / u_y / u_z

Kloub ve směru linie nebo v příčném směru lze zadat v dialogu či v tabulce tak, že označíme příslušný posun. Pokud zadáme hodnoty *tuhosti*, můžeme modelovat také pružná uvolnění.

Směr posunů *x*, *y* a *z* se vztahuje k osovému systému linie. Osy linie lze zobrazit z místní nabídky linie nebo z navigátoru *Zobrazit* (viz obr. 4.103).

Klouby mohou mít i nelineární vlastnosti. *Nelinearitu* lze vybrat ze seznamu nebo ji můžeme definovat ve zvláštním dialogu po kliknutí na tlačítko . Zadání nelineárních vlastností kloubu popisujeme v kapitole 4.14 . Možnost *Propojené diagramy - stálé uvolnění* umožňuje použít kritérium neúčinnosti určitého stupně volnosti také pro ostatní směry: Pokud je zabráněno přenosu vnitřní síly, uvolní se také všechny ostatní stupně volnosti. Příklad najdete v následujícím odborném článku: https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001466



Momentový kloub resp. pružina φ_x

Momentový kloub okolo podélné osy *x* linie umožňuje zadat stupeň volnosti v otáčení (kroucení) linie mezi objekty.

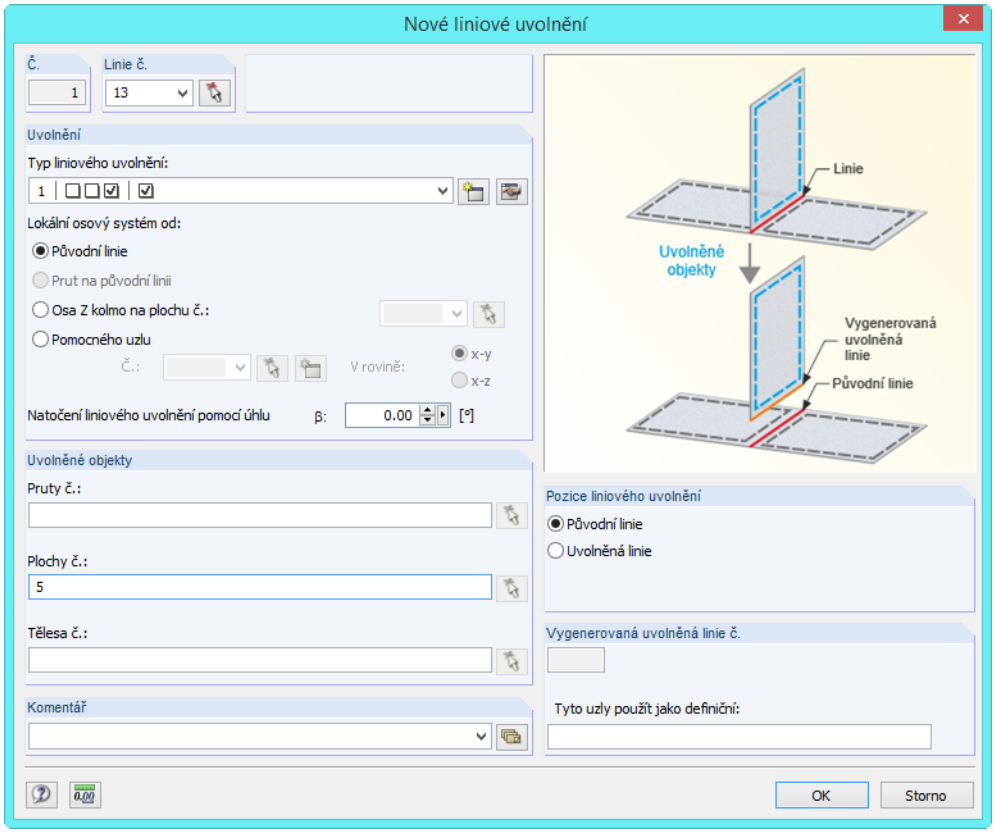
Příklad zadání liniového uvolnění najdete v následujícím odborném článku.
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001110

4.26 Liniová uvolnění

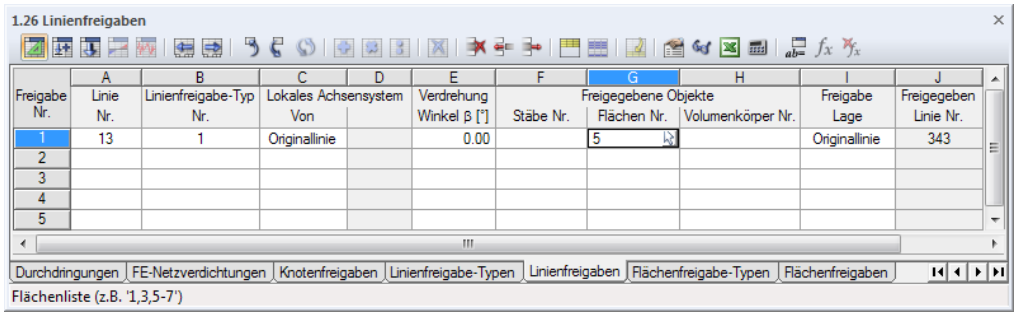
Obecný popis

Liniová uvolnění umožňují rozpojit model na určitém místě nebo omezit podél linie přenos pouze na některé síly nebo momenty.

Pro zadání liniového uvolnění je třeba nejdříve definovat *typ liniového uvolnění* (viz kapitola 4.25).



Obrázek 4.211 Dialog *Nové liniové uvolnění*

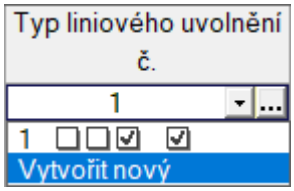


Obrázek 4.212 Tabulka 1.26 *Liniová uvolnění*

Linie č.

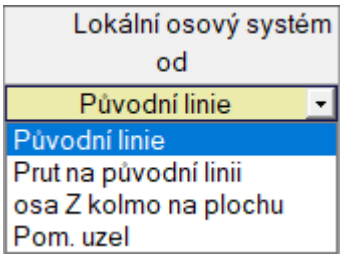
Číslo příslušné linie zadáme přímo nebo ho vybereme ze seznamu, příp. pomocí funkce graficky v pracovním okně.

Typ liniového uvolnění č.



V daném sloupci tabulky, resp. v příslušném vstupním poli v dialogu je třeba linii přiřadit typ uvolnění, který jsme definovali v tabulce 1.25 (viz kapitola 4.25). Vybrat ho můžeme pomocí tlačítka . V seznamu můžeme také vytvořit *nový typ liniového uvolnění*. Slouží k tomu dialog znázorněný na obr. 4.203.

Lokální osový systém



Liniové uvolnění je třeba vztáhnout k určitému lokálnímu osovému systému. V seznamu v tabulce, resp. v příslušné sekci dialogu máme na výběr z několika možností. Jestliže jsme osový systém vztáhli k určité ploše nebo k pomocnému uzlu, je třeba uvést příslušné objekty.

Úhel natočení

Liniové uvolnění lze v případě potřeby natočit o *úhel* β.

Uvolněné objekty

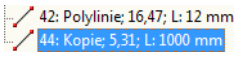
Uvolněné *pruty*, *plochy* a *tělesa* můžeme zadat přímo nebo je můžeme vybrat graficky pomocí funkce v pracovním okně.

V následujícím odborném článku uvádíme příklad pro definici uvolněných objektů:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001137

Poloha uvolnění

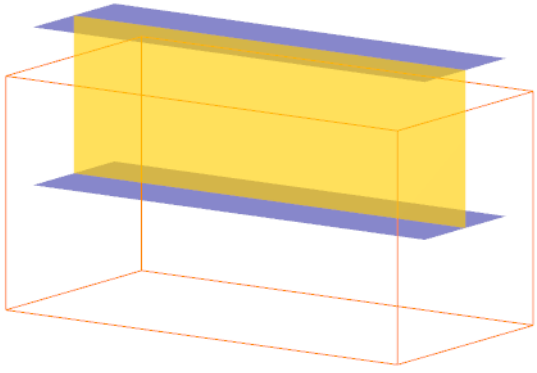
Interně RFEM vytvoří kopii linie na tomtéž místě, která přenáší pouze síly a momenty odpovídající omezeným stupňům volnosti. Můžeme uvést, jestli bude kloub umístěn na *původní* nebo na *uvolněné linii*. Na výsledky nebude mít toto nastavení vliv.

Liniové uvolnění č.



Uvede se číslo linie, kterou RFEM v případě liniového uvolnění vytvořil. V tabulce 1.2 *Linie* a v navigátoru se u této vygenerované linie uvádí typ *Kopie*; nelze ji upravovat.

V modelu je liniové uvolnění vyznačeno průhledným kvádrem.



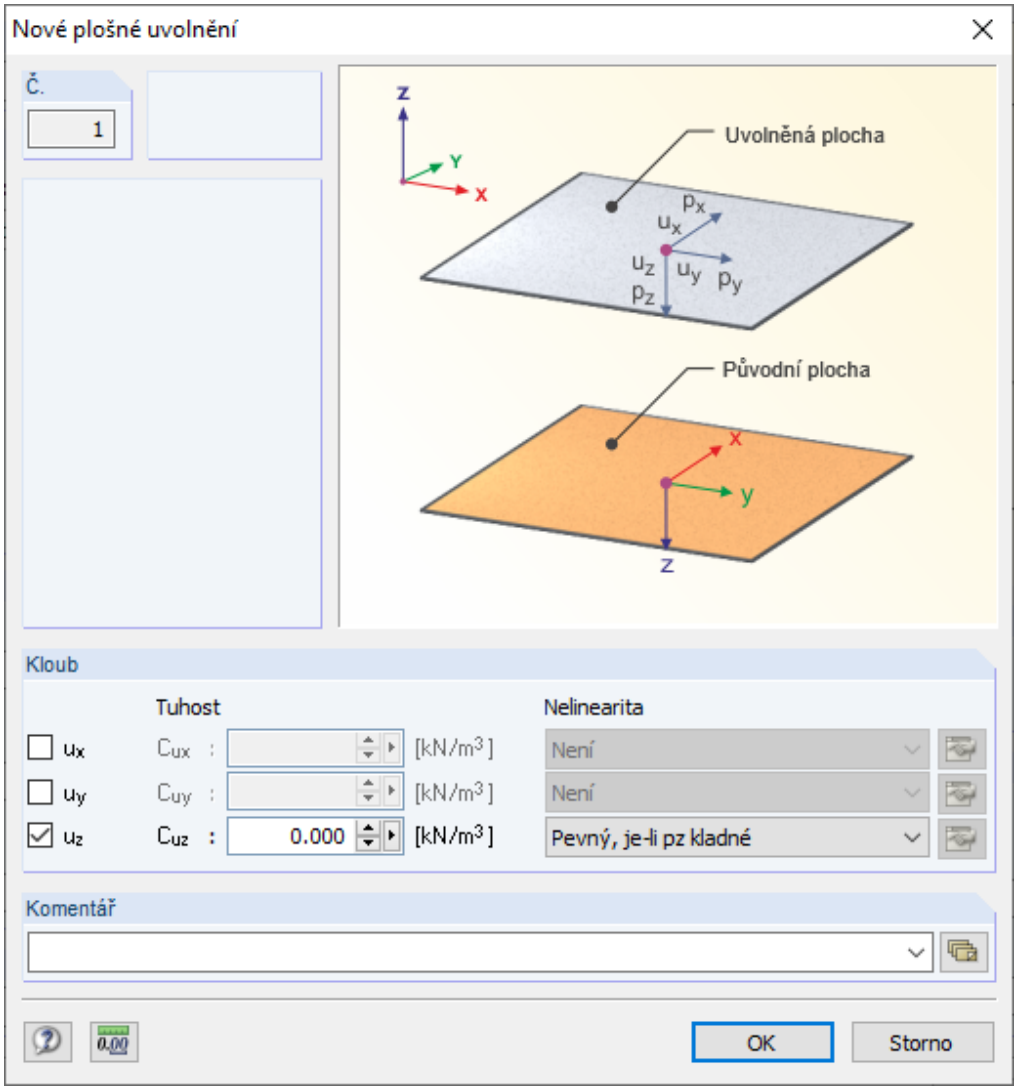
Obrázek 4.213 Liniové uvolnění v modelu konstrukce

4.27 Typy plošného uvolnění

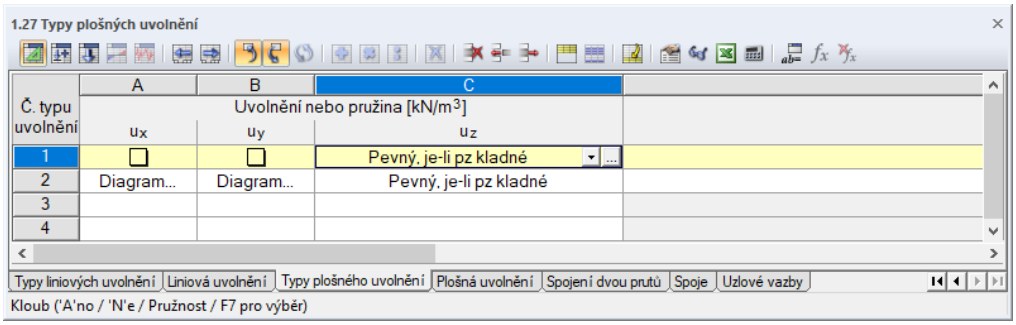
Obecný popis

Pomocí plošného uvolnění je možné model oddělit na ploše - například tehdy, pokud jsou plochy spojené posuvně, nebo přenášejí pouze tlakové síly. Tím je možné definovat např. nelineární kontaktní vlastnosti pro plochy, aniž bychom mezi plochami vytvořili kontaktní těleso.

Nejdříve je třeba v *typu plošného uvolnění* definovat kloub se specifickými vlastnostmi. Ty je možné potom přiřadit prutům, plochám a tělesům, které společně využívají plochu (viz kapitolu 4.28).



Obrázek 4.214 Dialog *Nový typ liniového uvolnění*



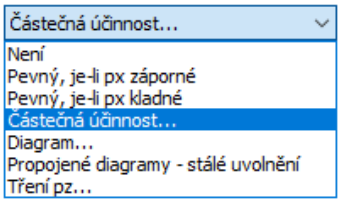
Obrázek 4.215 Tabulka 1.27 *Typy liniových uvolnění*

Uvolnění resp. pružina u_x / u_y / u_z

Definujeme kloub v rovině plochy (u_x, u_y) nebo kolmo k ploše (u_z). Pomocí hodnot pro *pružinu* je možné modelovat také poddajná uvolnění.

Směry posunů *x*, *y* a *z* vztahují k osovému systému plochy. Osy plochy můžeme zobrazit z místní nabídky plochy nebo z navigátoru *Zobrazit* (viz obrázek 4.75).

Nelinearita



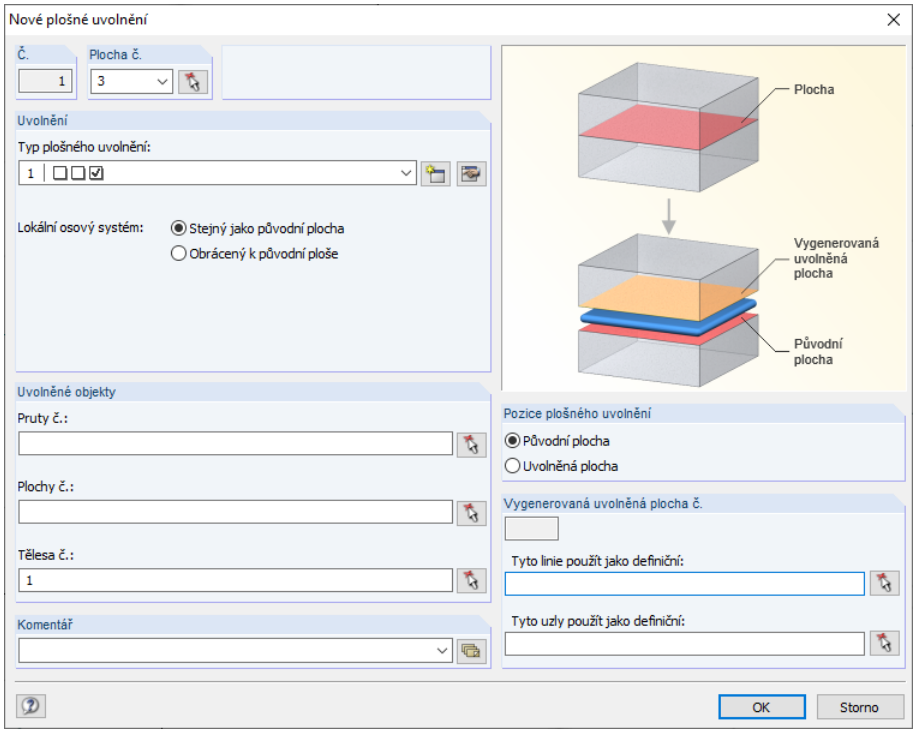
Klouby mohou mít i nelineární vlastnosti. *Nelinearitu* vybereme ze seznamu a v dialogu ji nastavíme tlačítkem . Zadání vlastností nelineárního uvolnění popisujeme v kapitole 4.14.

4.28 Plošná uvolnění

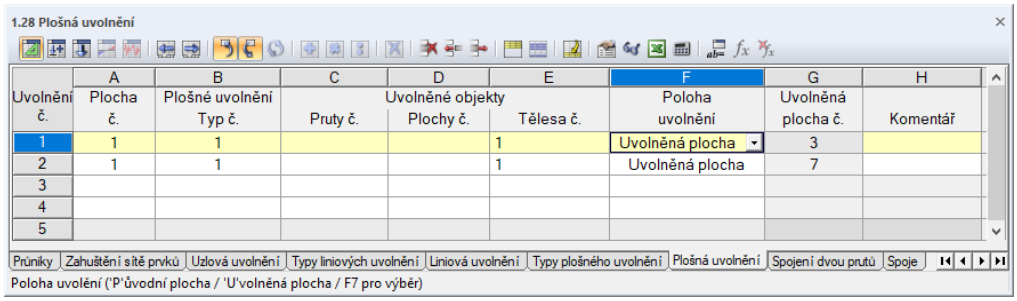
Obecný popis

Plošná uvolnění umožňují oddělit model na ploše nebo přenášet pouze určité síly na plochy. Na rozdíl od kontaktního tělesa tak není nutné modelovat umělou vzdálenost mezi plochami.

Pro plošné uvolnění je třeba nejdříve zadat *typ plošného uvolnění* (viz kapitola 4.27).



Obrázek 4.216 Dialog *Nové plošné uvolnění*

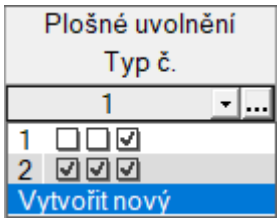


Obrázek 4.217 Tabulka 1.28 *Plošná uvolnění*

Plocha

Číslo příslušné plochy lze zadat, vybrat v seznamu, nebo vybrat graficky v pracovním okně pomocí .

Typ plošného uvolnění



V tomto sloupci tabulky resp. ve vstupním poli se ploše přiřazuje typ uvolnění, který byl definován v tabulce 1.27 (viz kapitola 4.27). Výběr je možný pomocí tlačítka . V seznamu je možné také vytvořit *Nový typ plošného uvolnění*. Za tímto účelem se otevře dialog znázorněný obr. 4.208 .

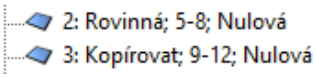
Uvolněné objekty

Uvolněné *pruty*, *plochy* a *tělesa* je možné zadat přímo, nebo je můžeme vybrat v pracovním okně graficky pomocí .

Umístění uvolnění

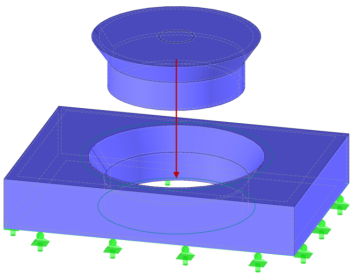
Program RFEM interně vytvoří kopii plochy na stejném místě, která umožňuje uvolněné posuny. Je možné stanovit, zda se má kloub umístit na *původní ploše*, nebo na *uvolněné ploše*. Na výsledky by toto nastavení nemělo mít žádný vliv.

Uvolněná plocha

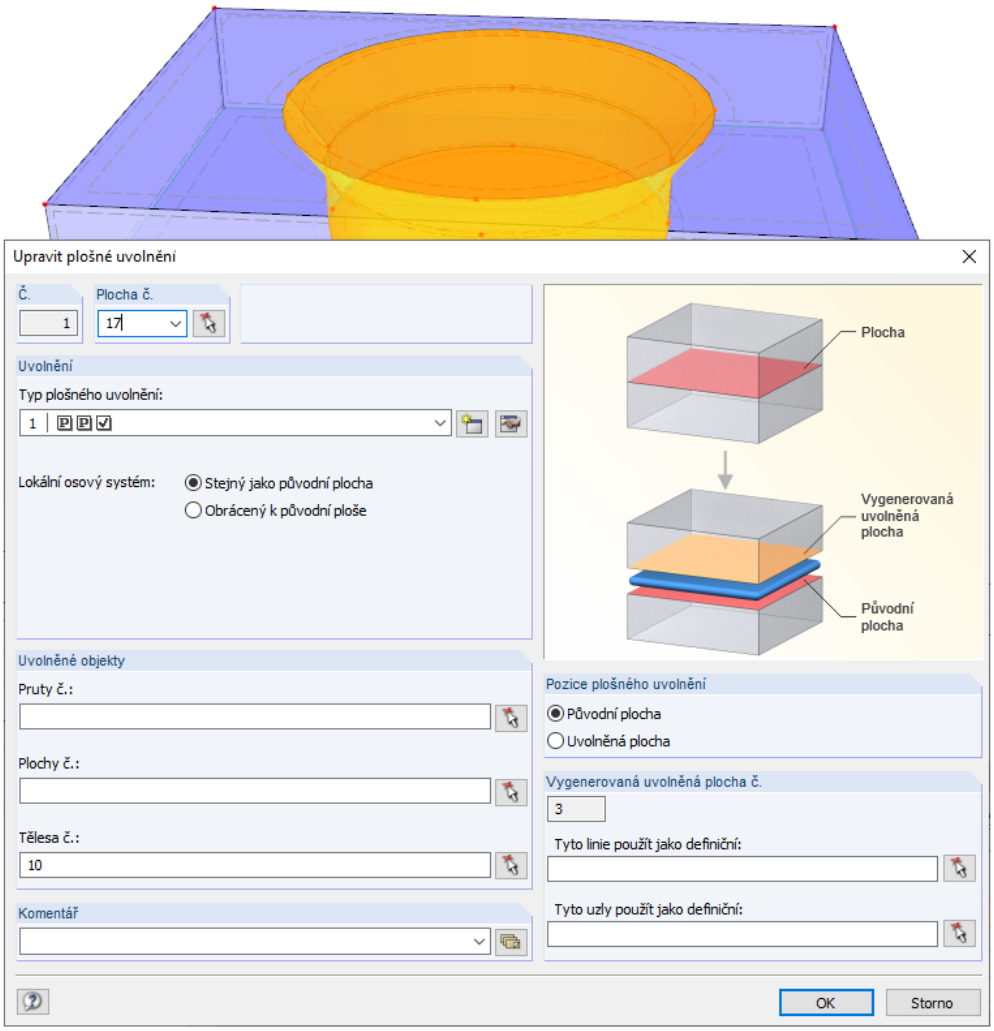


Zadáme číslo plochy, kterou program RFEM vytvoří pro plošné uvolnění. V tabulce 1.4 *Plochy* a v navigátoru se tato vygenerovaná plocha označí typem plochy *Kopie*.

Příklad: Model trychtýřového konstrukčního prvku



U trychtýřového konstrukčního prvku by měl uzávěr působit pouze při působení tlakových sil. Za tímto účelem je třeba definovat typ plošného uvolnění s účinkem *Pevné, je-li pz kladné* a poté ho přiřadit kuželovým hraničním plochám.



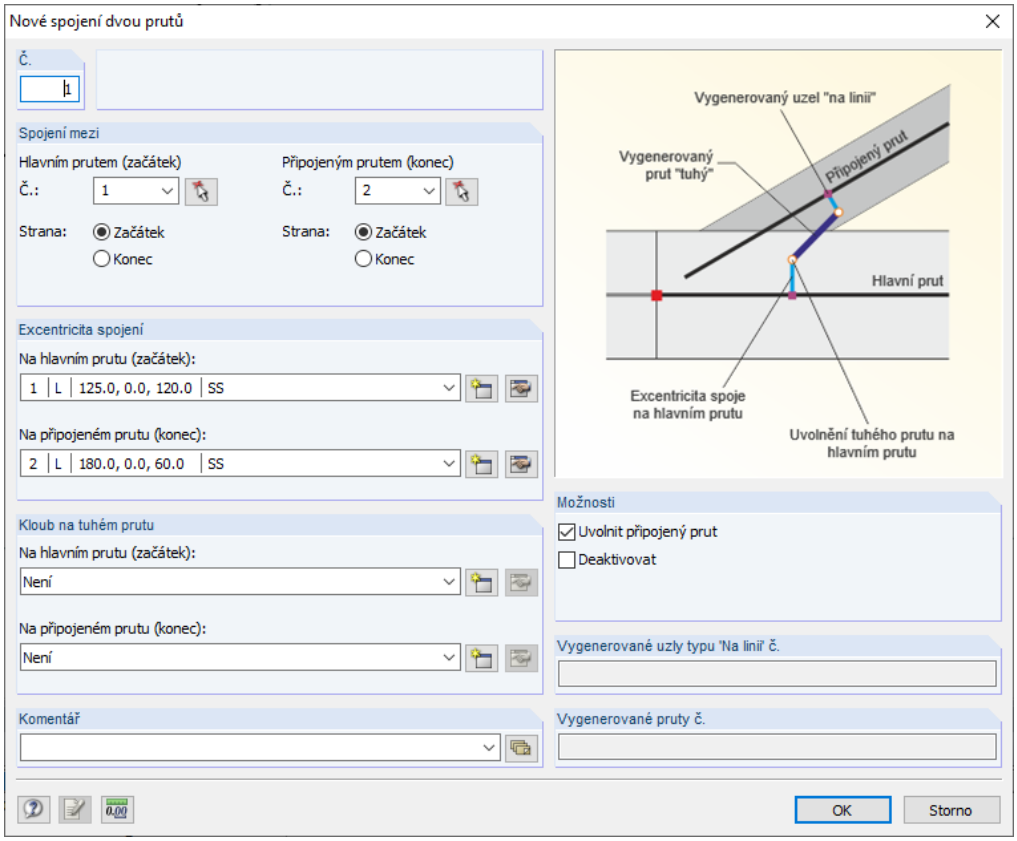
Obrázek 4.218 Trychtýřový uzávěr s nelineárními kontaktními vlastnostmi

4.29 Spojení dvou prutů

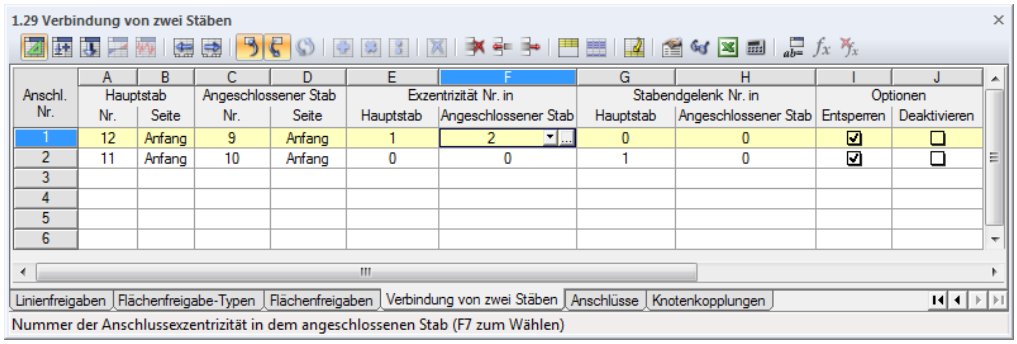
Obecný popis

Pokud se v jednom uzlu stýkají dva pruty s vyššími průřezy, budou mít excentricity a případně také tuhosti spojů vliv na výpočet vnitřních sil (například v případě spojů v dřevěných konstrukcích). Spojení lze zadat jako jednotku, aby tak bylo možné excentricity a klouby přípoje spravovat společně.

Tato možnost zadávání má v první řadě význam při importu dat z přídavných modulů RF-JOINTS Timber: v nich se zadávají geometrické podmínky a parametry spojů a lze je exportovat do RFEMu. Uživatel má dále možnost zadat spoje ručně.



Obrázek 4.219 Dialog *Nové spojení dvou prutů*



Obrázek 4.220 Tabulka 1.27 *Spojení dvou prutů*

Hlavní prut

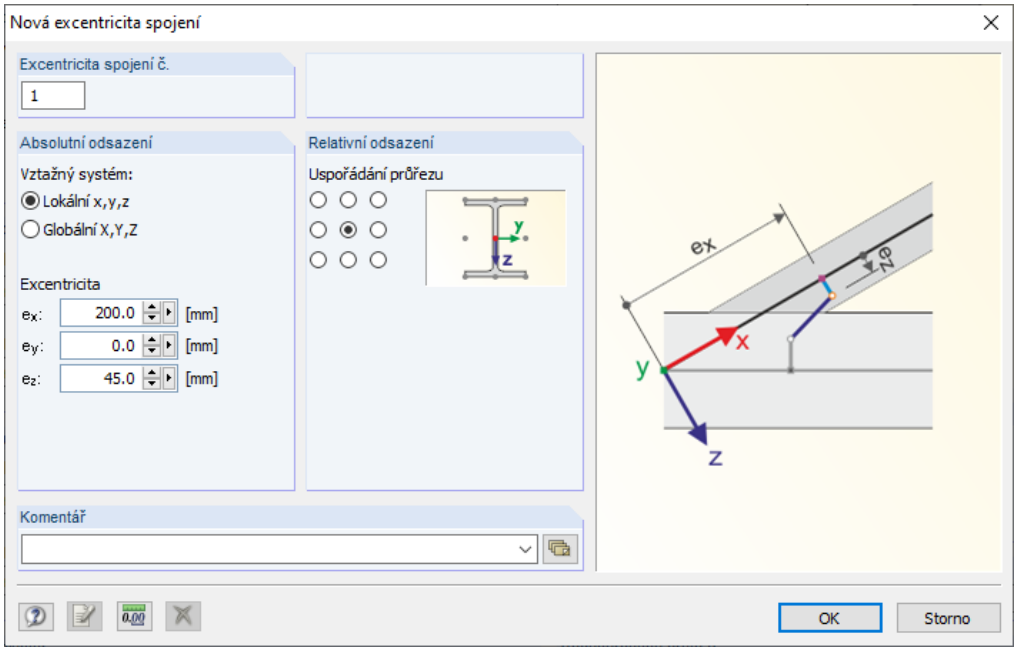
Ve shodě se zadáním v modulech RF-JOINTS Timber je daný prut nejdůležitější: řídí se jím parametry ostatních prutů a zářezu (např. u vaznice). Prut lze vybrat graficky pomocí funkce v pracovním okně.

Připojený prut

Druhý prut klasifikujeme jako *připojený prut*. Můžeme ho také vybrat v grafickém okně.

Excentricita

Excentricitu spojení můžeme zadat jak na hlavním tak na připojeném prutu. Tlačítkem , resp. otevřeme dialog, v němž můžeme stanovit *odsazení* vzhledem k lokálním nebo globálním osám.



Obrázek 4.221 Dialog *Nová excentricita spojení*

Kloub prutu

Stupně volnosti u hlavního a připojeného prutu můžeme zadat pomocí kloubů, a ovlivnit tak přenos vnitřních sil na jejich koncích. Typ kloubu lze vybrat ze seznamu nebo ho můžeme zadat po kliknutí na tlačítko , resp. v dialogu *Nový kloub na konci prutu* (viz kapitola 4.14).

Možnosti

Při výchozím nastavení *Uvolnit* se pro hlavní prut vytvoří uzlové uvolnění (viz kapitola 4.24).

Uživatel má také možnost spojení *deaktivovat*, čímž se vyhneme smazání parametrů.

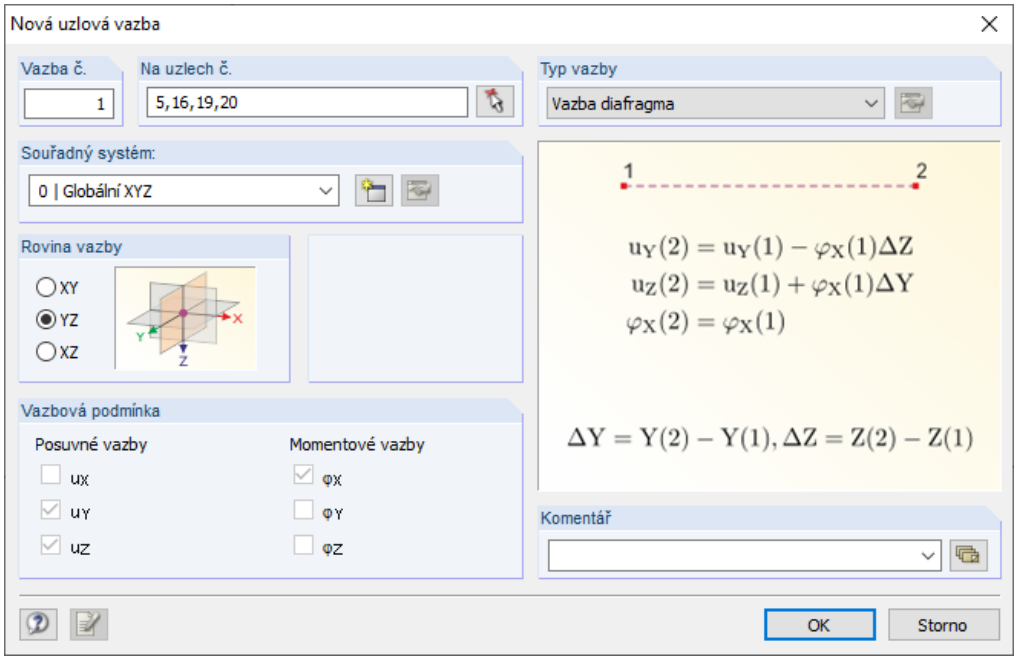
4.30 Spoje

Funkce dialogu *Nové spojení* a tabulky 1.30 Spoje popisujeme v předchozí kapitole 4.29.

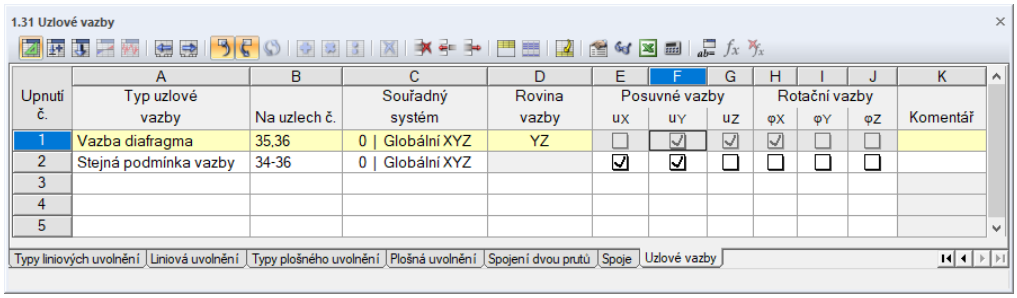
4.31 Uzlové vazby

Obecný popis

Uzlová vazba umožňuje dát do souvislosti posuny a pootočení mezi dvěma a více uzly. Lze tak například modelovat stěnové a stropní desky v prutových konstrukcích bez použití ploch.

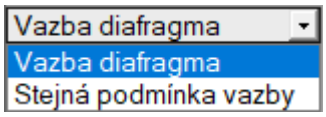


Obrázek 4.222 Dialog *Nová uzlová vazba*



Obrázek 4.223 Tabulka 1.31 *Uzlové vazby*

Typ uzlové vazby



Pro zadání vazby máme na výběr ze dvou možností: jestliže vybereme typ *Rovina*, bude se vazba mezi posuny v rovině vazby a také pootočeními uvažovat kolmo k rovině. Můžeme tak například modelovat výztužné desky.

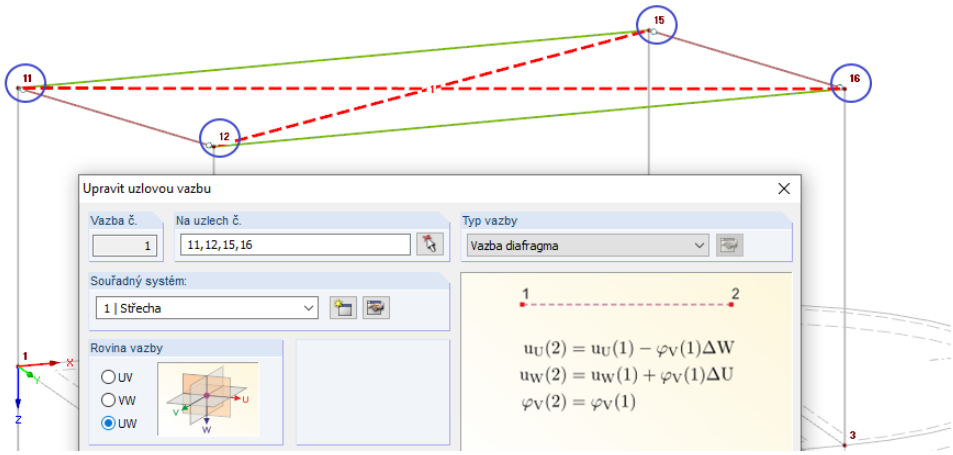
Typ vazby *Stejná podmínka* umožňuje usouvztažnit posuny a pootočení mezi uzly individuálně.

V případě vazeb v rovině se stupně volnosti nastaví automaticky v sekci dialogu *Vazbová podmínka*, příp. ve sloupcích E až J tabulky. Jestliže vybereme jako typ vazby „stejnou podmínku“, zpřístupní se pro zadání stejných stupňů volnosti všech 6 zaškrtávacích políček.

Na uzlech č.

Čísla uzlů, mezi nimiž se bude uvažovat vazba, můžeme vyplnit ručně nebo je lze vybrat ze seznamu, příp. pomocí funkce graficky v pracovním okně.

Pokud si přejeme pomocí vazby modelovat desku, je třeba zadat všechny rohové uzly roviny.



Obrázek 4.224 Vazba pro rovinu střechy

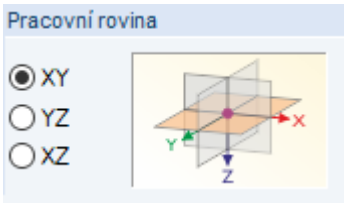
Souřadný systém

Vazbu je třeba vztáhnout k určitému osovému systému. V seznamu v tabulce, resp. v dialogu můžeme vybrat buď *globální souřadný systém XYZ* nebo uživatelské souřadné systémy UVW. Po kliknutí na tlačítko lze zadat také *nový uživatelský souřadný systém*. Slouží k tomu dialog, který vidíme na obr. 11.49.

Tlačítka a umožňují uživatelské souřadné systémy upravovat.

Uživatelsky definované souřadné systémy usnadňují zadávání vazeb roviny se sklonem pro střechy (viz obr. 4.218).

Rovina vazby



Příslušná sekce v dialogu, resp. sloupec D v tabulce je přístupný pouze u vazeb pro rovinu. Je třeba uvést, v které rovině bude vytvořena vazba mezi posuny a pootočeními. Jestliže jsme již dříve zadali globální souřadný systém, máme nyní na výběr roviny XY, YZ a XZ, v případě uživatelsky definovaného souřadného systému pak roviny UV, VW a UW.

Na daném nastavení závisí, které vazbové podmínky v sekci níže v dialogu, resp. ve sloupcích E až J tabulky se automaticky aktivují.

Posuvné vazby u_X / u_Y / u_Z

Pokud označíme některé políčko, bude uvažována vazba v případě posunu ve směru příslušné globální (nebo uživatelem zadané) osy.

Pole jsou přístupná pouze pro typ vazby *Stejná podmínka*. V případě vazeb pro rovinu stanoví RFEM vazbové podmínky automaticky na základě roviny vazby.

Rotační vazby φ_X / φ_Y / φ_Z

Vazbové podmínky lze stanovit také pro pootáčení. Řídí se jimi přenos momentů. Vybrat lze některou ze tří globálních (nebo uživatelem zadaných) os.

5 Zatěžovací stavy a kombinace

Zatížení působící na konstrukci se v programu spravují v různých zatěžovacích stavech (ZS). Zatěžovací stavy lze dále - ručně nebo automaticky - skládat do kombinací zatížení nebo kombinací výsledků (viz kapitola 12.2.1).

K definování zatížení je třeba nejdříve vytvořit zatěžovací stav (viz kapitola 6).

5.1 Zatěžovací stavy

Obecný popis

Zatížení ze stejného účinku se uloží do jednoho zatěžovacího stavu (**ZS**). Zatěžovacími stavy mohou být například vlastní tíha, sníh nebo užitné zatížení.

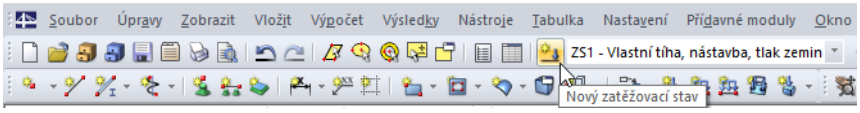
Zatížení by v zatěžovacích stavech měla být definována svými charakteristickými hodnotami, tedy **bez dílčího součinitele spolehlivosti**. Dílčí součinitele spolehlivosti se zohledňují až při skládání zatěžovacích stavů do kombinací.

Pro každý zatěžovací stav zvlášť může uživatel určit, jaká metoda analýzy se má uplatnit (teorie I., II. nebo III. řádu), jaká metoda se použije pro řešení rovnic, a může stanovit další parametry výpočtu (počet přírůstků zatížení, redukce tuhosti dílčím součinitelem spolehlivosti materiálu).

Vytvoření nového zatěžovacího stavu

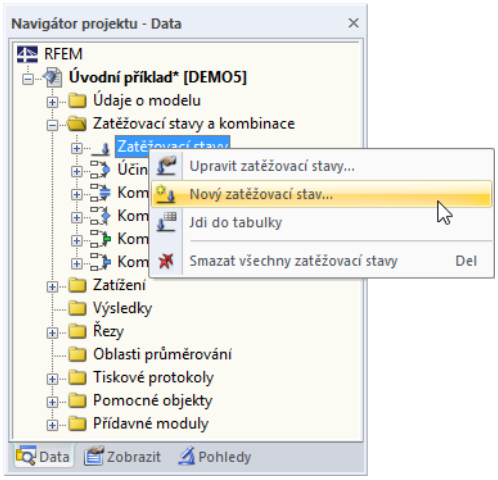
Uživatel může vyvolat dialog k založení nového zatěžovacího stavu několika způsoby:

- z hlavní nabídky **Vložit → Zatěžovací stavy a kombinace → Zatěžovací stav...**
- kliknutím na tlačítko [Nový zatěžovací stav] v panelu nástrojů



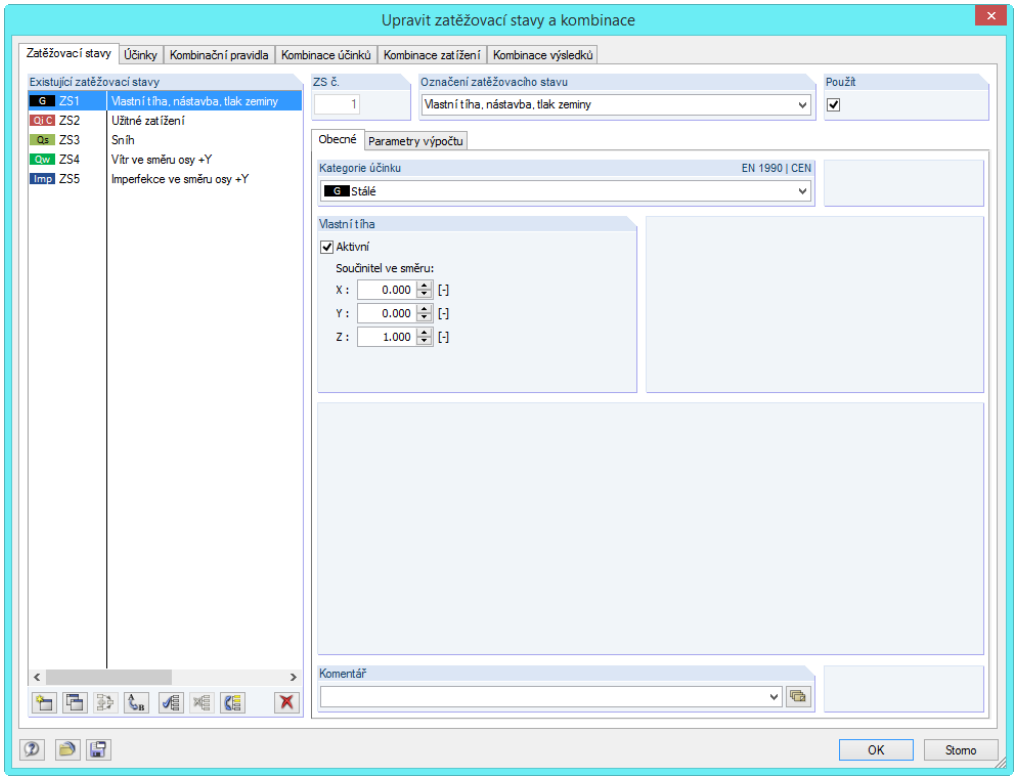
Obrázek 5.1 Tlačítko *Nový zatěžovací stav* v panelu nástrojů

- z místní nabídky položky *Zatěžovací stavy* v navigátoru



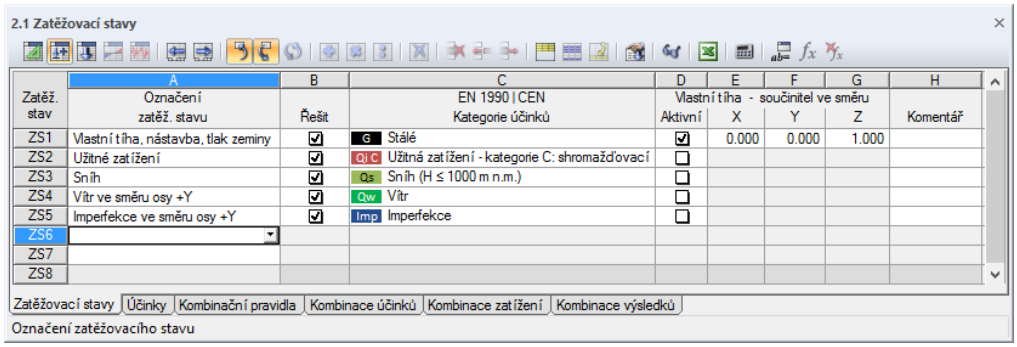
Obrázek 5.2 Místní nabídka položky *Zatěžovací stavy* v navigátoru Data

Zobrazí se dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*. V záložce *Zatěžovací stavy* je již nastaven nový zatěžovací stav.



Obrázek 5.3 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Zatěžovací stavy*

- Nový zatěžovací stav můžeme zadat také do prázdného řádku v tabulce 2.1 *Zatěžovací stavy*.

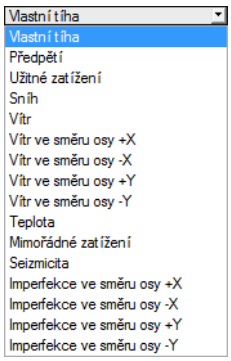


Obrázek 5.4 Tabulka 2.1 *Zatěžovací stavy*

ZS č.

Číslo nového zatěžovacího stavu se vyplní automaticky v poli *ZS č.* Toto číslo může uživatel nahradit jiným číslem. Pokud již bylo použito, zobrazí se v okamžiku, kdy dialog chceme zavřít, upozornění.

I když lze zatěžovací stavy v RFEMu dodatečně přečíslovat, doporučujeme postupovat při vytváření zatěžovacích stavů s rozmyslem. V číslování lze i některá čísla přeskočit a později doplnit příslušné zatěžovací stavy. Pořadí zatěžovacích stavů můžeme dodatečně upravovat po kliknutí na tlačítko [Přečíslovat vybrané zatěžovací stavy...] v dialogu (viz tabulka 5.1 a kapitola 11.4.8).



Označení zatěžovacího stavu

Zadat lze libovolný název. Uživatel ho může buď vyplnit ručně nebo může vybrat některé označení ze seznamu.

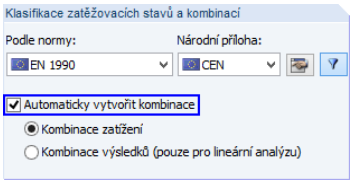
Řešit

Toto zaškrtávací políčko umožňuje rozhodnout, zda se má zatěžovací stav při výpočtu zohlednit jako samostatný zatěžovací stav. Tímto způsobem můžeme z výpočtu vyloučit zatěžovací stavy, které se nevyskytují samostatně (např. vítr bez uvážení vlastní tíhy) nebo jejichž výsledky nejsou pro předběžné posouzení důležité.

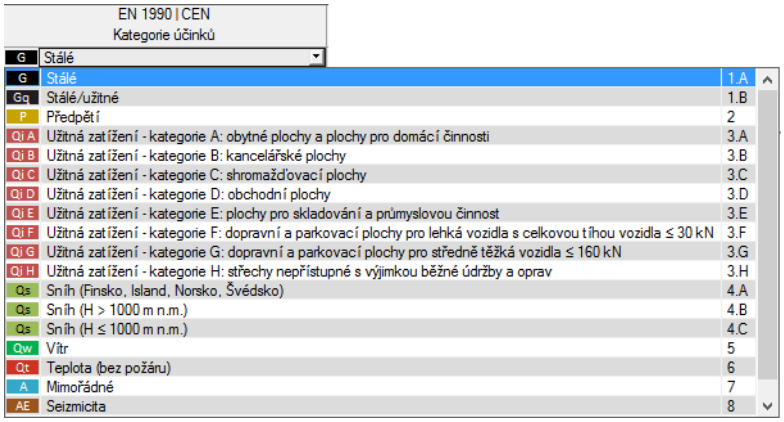
Kategorie účinků

V normách jsou uvedeny kategorie účinků, kterými se řídí skládání zatěžovacích stavů do kombinací a stanovení dílčích a kombinačních součinitelů. Každý zatěžovací stav je třeba zařadit do určité kategorie.

V dialogu i v tabulce máme k dispozici seznam různých kategorií. Jsou závislé na normě, která je nastavená v dialogu *Nový model - základní údaje* (viz kapitola 12.2.1).



Nastavení normy v dialogu *Nový model - základní údaje*



Obrázek 5.5 Kategorie účinků podle EN 1990

Dané kategorie hrají důležitou úlohu při ručním i automatickém skládání zatěžovacích stavů do kombinací. Zařazení zatěžovacího stavu do určité kategorie má vliv na to, jaké součinitele se použijí při tvorbě kombinací zatížení či kombinací výsledků.

Vlastní tíha

Pokud chceme vlastní tíhu konstrukce zohlednit jako zatížení, pak zaškrtneme kontrolní políčko *Aktivní*. Součinitel pro vlastní tíhu lze poté nastavit v jednom ze tří políček pro určitý směr působení. Přednastavena je hodnota 1,00 ve směru osy Z (popř. −1,00, pokud globální osa Z směřuje nahoru).

Pokud se vlastní tíha automaticky zohlední v několika zatěžovacích stavech, je třeba na to brát zřetel při kombinování zatěžovacích stavů.

Komentář

Pro bližší popis zatěžovacího stavu tu může uživatel uvést vlastní poznámku nebo vybrat určitý komentář ze seznamu.

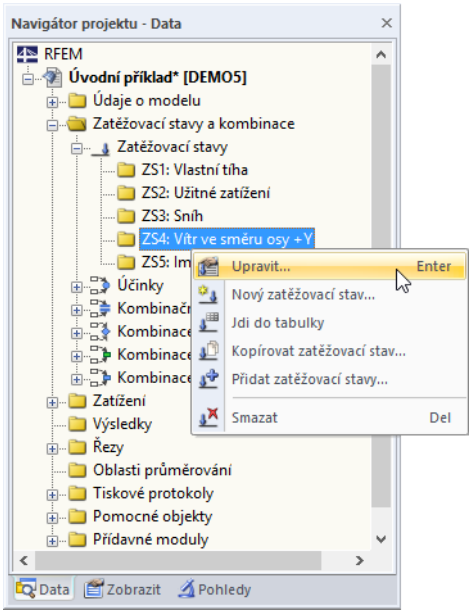
Parametry výpočtu

V záložce *Parametry výpočtu* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* lze nastavit různé parametry pro výpočet. Tyto parametry podrobně popisujeme v kapitole 7.3.1.

Úprava základních údajů zadaného zatěžovacího stavu

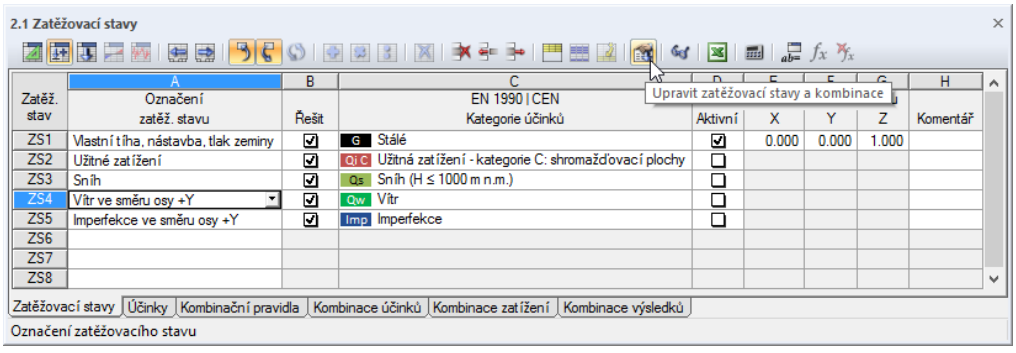
Otevřít dialog pro úpravu základních údajů již existujícího zatěžovacího stavu lze několika způsoby:

- z hlavní nabídky **Úpravy → Zatěžovací stavy a kombinace → Základní údaje ZS...** (aktuální zatěžovací stav)
- z hlavní nabídky **Úpravy → Zatěžovací stavy a kombinace → Zatěžovací stavy...** (výběr ze všech zatěžovacích stavů)
- z místní nabídky zatěžovacího stavu v navigátoru *Data* nebo dvojím kliknutím na daný zatěžovací stav

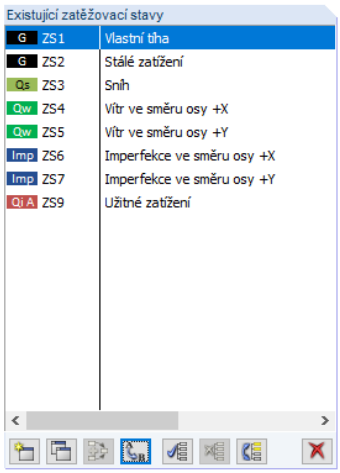


Obrázek 5.6 Místní nabídka zatěžovacího stavu

- kliknutím na tlačítko [Upravit zatěžovací stavy a kombinace] v panelu nástrojů v tabulkách zatížení (otevře se dialog s údaji aktuálního zatěžovacího stavu)



Obrázek 5.7 Tlačítko [Upravit zatěžovací stavy a kombinace] v panelu nástrojů v tabulkách zatížení



Tlačítka

V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* máme pod seznamem zatěžovacích stavů k dispozici několik tlačítek (viz obr. 5.3). Mají následující funkce:

	Slouží k vytvoření nového zatěžovacího stavu.
	Slouží k vytvoření nového zatěžovacího stavu kopírováním vybraného zatěžovacího stavu (viz níže).
	Při výběru několika zatěžovacích stavů se všechna obsažená zatížení zkopírují do nového zatěžovacího stavu (viz níže).
	Vybraný zatěžovací stav bude opatřen novým číslem, které se zadá v dialogu. Dané číslo nesmí mít žádný dosud vytvořený zatěžovací stav.
	Slouží k výběru všech zatěžovacích stavů.
	Slouží ke zrušení výběru v seznamu.
	Obrátí výběr zatěžovacích stavů.
	Smaže vybraný zatěžovací stav.

Tabulka 5.1 Tlačítka v záložce *Zatěžovací stavy*

Kopírování a sčítání zatěžovacích stavů

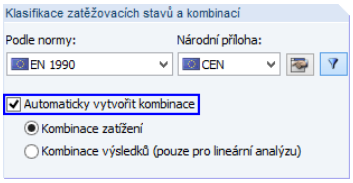
Již existující zatěžovací stavy můžeme použít při vytváření nových zatěžovacích stavů.

Při **kopírování** vybereme požadovaný zatěžovací stav v seznamu *Existující zatěžovací stavy*. Po kliknutí na tlačítko [Kopírovat vybraný zatěžovací stav a vytvořit nový] se vytvoří kopie zvoleného zatěžovacího stavu a přiřadí se jí nejbližší volné číslo. Následně můžeme upravit označení nového zatěžovacího stavu i obsažená zatížení.

Při **sčítání** zatěžovacích stavů se zatížení z několika zatěžovacích stavů zkopírují do nového zatěžovacího stavu. Nejdříve je třeba označit příslušné zatěžovací stavy v seznamu *Existující zatěžovací stavy* (několikanásobný výběr pomocí klávesy [Ctrl]). Po kliknutí na tlačítko [Přidat zatížení vybraných zatěžovacích stavů a vytvořit nové zatížení] se zatížení zkopírují do nového zatěžovacího stavu.

5.2 Účinky

Obecný popis

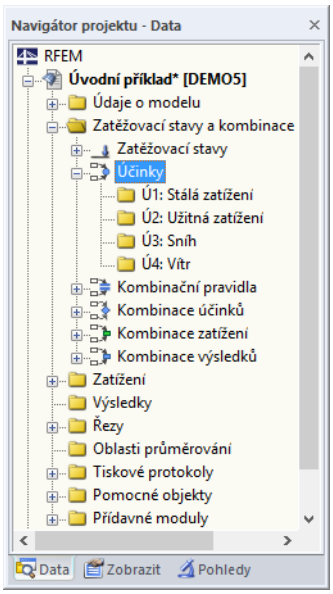


Zaškrtávací políčko v dialogu Model - základní údaje

Zvláště pokud postupujeme podle aktuálních norem jako např. EN 1990 a ASCE 7-16, může být často velmi pracné zohlednit všechny v úvahu přicházející zatěžovací situace a vybrat pro posouzení ty rozhodující. V dialogu *Model - základní údaje* máme možnost nechat vytvořit kombinace v programu automaticky (viz obr. 12.23).

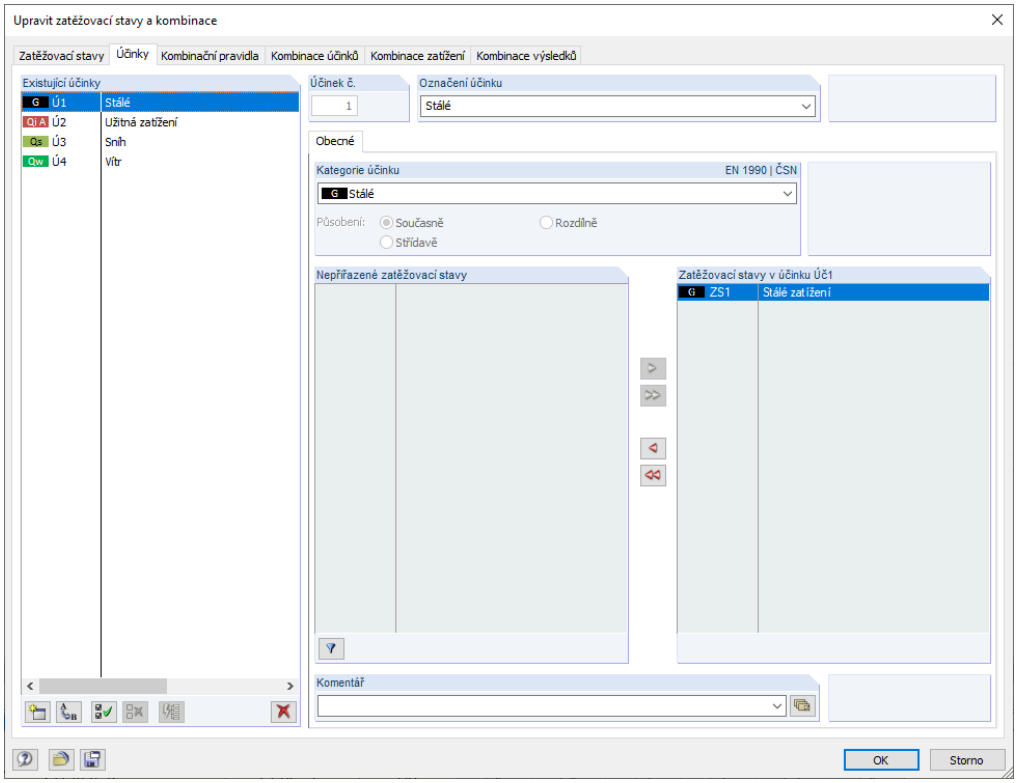
Zatěžovací stavy definované v tabulce 2.1 (viz předchozí kapitolu 5.1) tvoří výchozí údaje pro automatickou superpozici. RFEM rozlišuje dvě kategorie zatěžovacích stavů: první z nich tvoří normální zatěžovací stavy, druhou představují zatěžovací stavy s *imperfekcemi*. Při kombinování zatěžovacích stavů je dále rozhodující, do které kategorie účinků byly normální zatěžovací stavy

zařazeny.

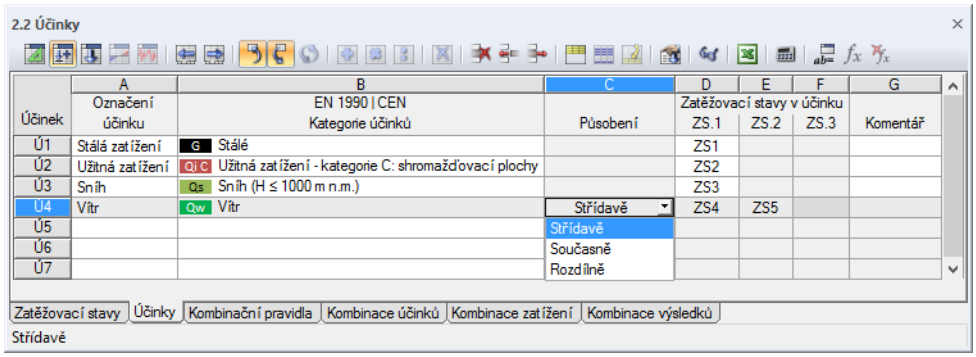


V normách se uvádí pravidla pro kombinování nezávislých účinků v různých návrhových situacích. Účinky jsou na sobě nezávislé, pokud jsou různého původu a vztah mezi nimi lze s ohledem na spolehlivost nosné konstrukce zanedbat.

Pro automatické kombinování zatížení v RFEMu je třeba definovat *účinky* a k nim přiřadit zatěžovací stavy. Typ účinku definovaný pro zatěžovací stavy (viz kapitola 5.1) řídí přiřazení do kategorie účinků podle normy.



Obrázek 5.8 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Účinky*



Obrázek 5.9 Tabulka 2.2 *Účinky*

Účinek č.

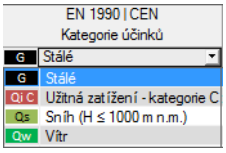
Účinky se vytvoří již při zadání zatěžovacích stavů. Číslují se průběžně. Jejich pořadí není důležité, lze ho v případě potřeby pomocí tlačítka [Přečíslovat vybrané účinky...] v dialogu upravit.

V tabulce lze účinky doplňovat ručně, pokud chce uživatel např. v případě rozsáhlých konstrukcí sám přiřadit zatěžovací stavy.

Označení účinku

Označení účinku se odvozuje od typu účinku, který jsme vybrali u jednotlivých zatěžovacích stavů. Předem nastavené označení můžeme v případě potřeby změnit.

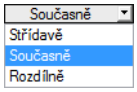
Kategorie účinků



V normách jsou uvedeny různé kategorie účinků, kterými se řídí dílčí a kombinační součinitele (viz kapitola 5.1).

Seznam v dialogu, resp. v tabulce nabízí pouze kategorie, které jsme použili při zadání jednotlivých zatěžovacích stavů. Pokud chceme vytvořit novou kategorii, je třeba v základních údajích zatěžovacího stavu stanovit nový typ účinku.

Působení



Dva a více zatěžovacích stavů mohou působit *současně*, *střídavě*, příp. *rozdílně*. Rozdíly mezi jednotlivými možnostmi lze objasnit na příkladu:

ZS1	Účinek Ú1	Kategorie účinků „Stálá zatížení“
ZS2, ZS3, ZS4	Účinek Ú2	Kategorie účinků „3.A Užitná zatížení“

V závislosti na zadání účinku Ú2 máme několik kombinačních možností.

Současně

Všechny zatěžovací stavy daného účinku lze kombinovat libovolně. Mohou se vyskytovat v kombinaci také současně. V našem příkladu se vytvořily následující kombinace zatížení:

KZ1: 1,35ZS1

KZ2: 1,35ZS1 + 1,50ZS2

KZ3: 1,35ZS1 + 1,50ZS2 + 1,50ZS3

KZ4: 1,5ZS1 + 1,50ZS2 + 1,50ZS3 + 1,50ZS4

KZ5: 1,35ZS1 + 1,50ZS2 + 1,50ZS4

KZ6: 1,35ZS1 + 1,50ZS3

KZ7: 1,35ZS1 + 1,50ZS3 + 1,50ZS4

KZ8: 1,35ZS1 + 1,50ZS4

Střídavě

Ze zatěžovacích stavů daného účinku může působit vždy jen jeden (např. vítr z různých směrů). V našem příkladu se vytvořily následující kombinace zatížení:

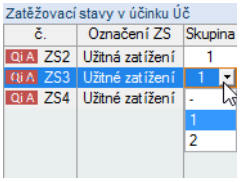
KZ1: 1,35ZS1

KZ3: 1,35ZS1 + 1,50ZS3

KZ2: 1,35ZS1 + 1,50ZS2

KZ4: 1,35ZS1 + 1,50ZS4

Rozdílně



Zařazení ZS do skupiny

Mezi zatěžovacími stavy jednoho účinku můžeme definovat rozdílné vztahy. Pokud zvolíme tuto možnost, zobrazí se v sekci *Zatěžovací stavy v účinku* další sloupec. Zatěžovací stavy tu lze zařadit do určité *skupiny*, takže se navzájem vylučují (jako při *střídavém* působení). Číslo skupiny můžeme vybrat ze seznamu.

Pokud zadáme v našem příkladu ZS2 a ZS3 jako skupinu, vytvoří se následující kombinace zatížení:

KZ1: 1,35ZS1

KZ2: 1,35ZS1 + 1,50ZS2

KZ3: 1,35ZS1 + 1,50ZS2 + 1,50ZS4

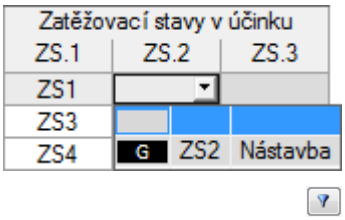
KZ4: 1,35ZS1 + 1,50ZS3

KZ5: 1,35ZS1 + 1,50ZS3 + 1,50ZS4

KZ6: 1,35ZS1 + 1,50ZS4

Zatěžovací stavy v účinku

Zatěžovací stavy se do účinku zařazují podle typu účinku, který jsme u nich uvedli, proto probíhá tento proces do značné míry automaticky.



Pokud chceme určitý zatěžovací stav z účinku odstranit, vybereme ho v dialogu v sekci *Zatěžovací stavy v účinku*. Tlačítkem nebo dvojím kliknutím ho poté převedeme do sloupce *Nepřiřazené zatěžovací stavy*. Také v tabulce máme možnost daný zatěžovací stav z účinku vyřadit: V seznamu v příslušném políčku tabulky vybereme prázdnou položku.

Ručně odstraněné zatěžovací stavy jsou — s přihlédnutím k typu účinku — zařazeny do seznamu *Nepřiřazené zatěžovací stavy*. To rovněž znamená, že pouze zatěžovací stavy se stejným typem účinku lze zařadit do téže kategorie účinků. K účinkům „Sníh“ tak nemůžeme ani v dialogu ani v seznamu v tabulce například přiřadit žádné zatěžovací stavy typu „Užitná zatížení“ (viz obrázek vlevo). V seznamu *Nepřiřazené zatěžovací stavy* se tak zatěžovací stavy odlišného typu ani nezobrazí. Po kliknutí na tlačítko [Zobrazit nepoužité] se v seznamu objeví i zatěžovací stavy ostatních kategorií. Jsou ovšem uzamčené a nelze je vybrat.

Zatěžovací stavy, které jsme nepřiřadili k žádnému účinku, se při vytváření kombinací nezohlední.

Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku nebo ji případně vybrat ze seznamu.

Tlačítka v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* v záložce *Účinky* mají následující funkce:

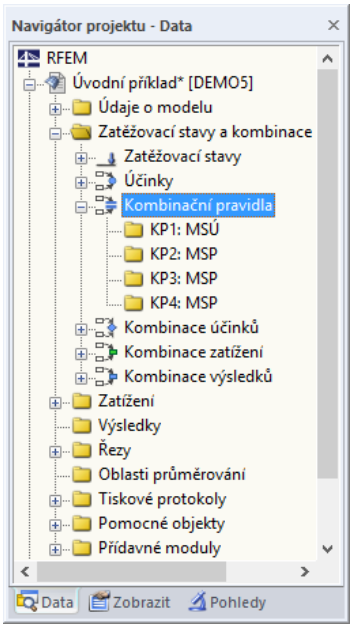
	Slouží k vytvoření nového účinku.
	Slouží k přečíslování vybraných účinků.

	Slouží k výběru všech účinků.
	Slouží ke zrušení výběru v seznamu.
	Nepřiřazené zatěžovací stavy automaticky přiřadí k účinkům.
	Smaže vybrané účinky.

Tabulka 5.2 Tlačítka v záložce *Účinky*

5.3 Kombinační pravidla

Obecný popis



Normy předepisují, jak se mají účinky kombinovat. Norma EN 1990 například vyžaduje posouzení mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Mezní stavy **únosnosti** se mají přitom posuzovat ve čtyřech návrhových situacích. Pro tyto návrhové situace platí určitá kombinační pravidla:

- Trvalé situace, které odpovídají podmínkám běžného provozu konstrukce, a také dočasné situace, které se vztahují k časově omezeným stavům konstrukce, např. během výstavby nebo opravy.

  Jako kombinační pravidlo se použije pro trvalé a dočasné situace (základní kombinace) buď vzorec

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}+\gamma_P P_k+\gamma_{Q,1}Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

Rovnice 5.1

  nebo pro mezní stavy STR a GEO méně příznivá kombinace z výrazů rovnice 5.2 a rovnice 5.3.

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}+\gamma_P P_k+\gamma_{Q,1}\psi_{0,1}Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

Rovnice 5.2

$$\sum_{j\geq 1}\xi_j\gamma_{G,j}G_{k,j}+\gamma_P P_k+\gamma_{Q,1}Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

Rovnice 5.3

- Mimořádné situace, které se vztahují k mimořádným zatížením konstrukce nebo jejího okolí, jako je např. požár, exploze či náraz.

$$\sum_{j\geq 1}H_{k,j}+P+A_d+(\psi_{1,1}\text{ or }\psi_{2,1})Q_{k,1}+\sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

Rovnice 5.4

- Seizmické návrhové situace

$$\sum_{j\geq 1}G_{k,j}+P_k+A_{Ed}+\sum_{i\geq 1}\psi_{2,i}Q_{k,i}$$

Rovnice 5.5

Mezní stavy použitelnosti se mají podle EN 1990 posuzovat ve třech návrhových situacích, pro

které platí následující kombinační pravidla:

- Charakteristické situace s nevratnými účinky na konstrukci

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Rovnice 5.6

- Časté situace s vratnými účinky na konstrukci

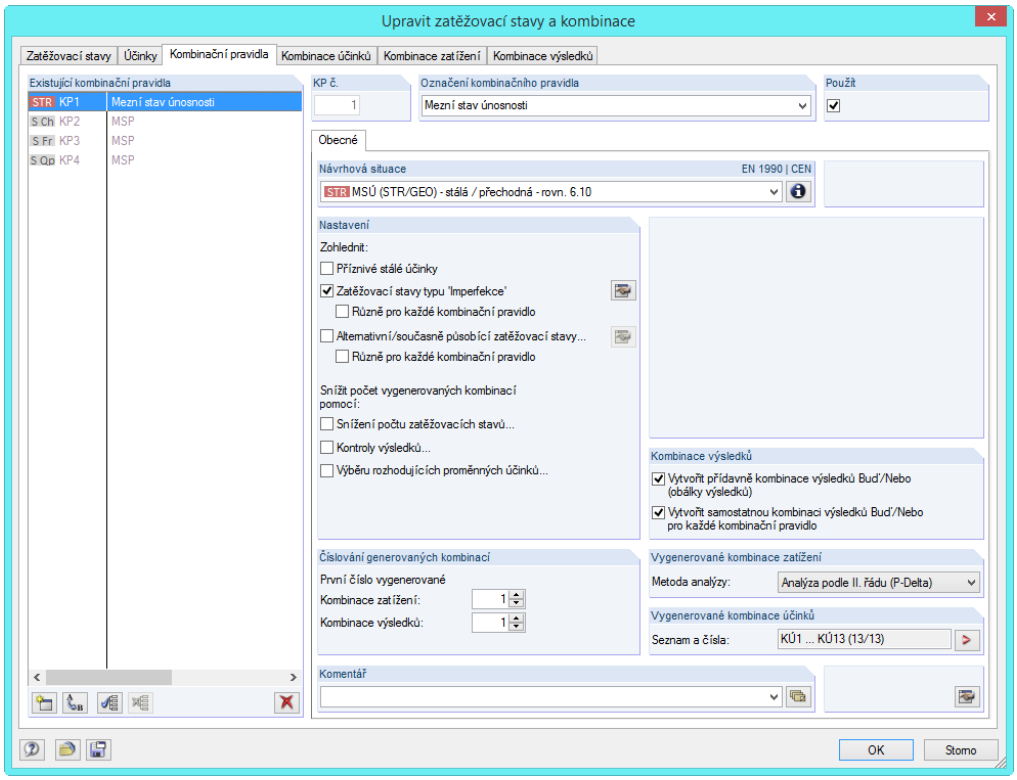
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Rovnice 5.7

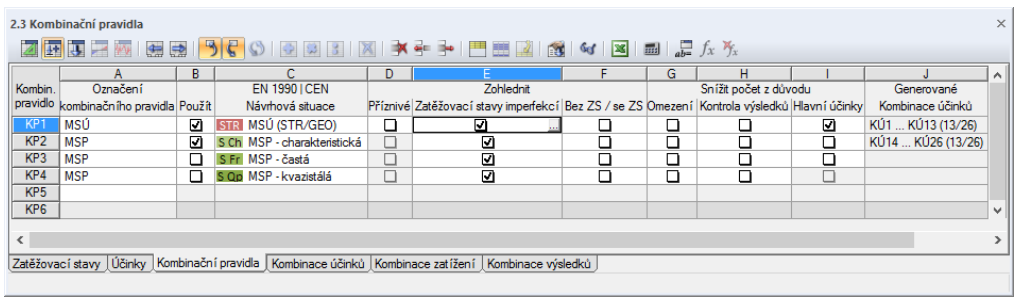
- Kvazistálé situace s dlouhodobými účinky na konstrukci

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Rovnice 5.8



Obrázek 5.10 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinační pravidla*



Obrázek 5.11 Tabulka 2.3 *Kombinační pravidla*

Kombinační pravidlo č.

Při otevření dialogu, resp. tabulky jsou předem nastavena kombinační pravidla následujících návrhových situací:

STR : Mezní stav únosnosti pro stálé nebo dočasné situace

S Ch : Mezní stav použitelnosti pro charakteristické situace

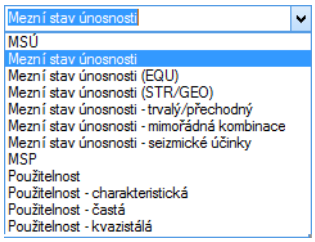
S Fr : Mezní stav použitelnosti pro časté situace

S Qp : Mezní stav použitelnosti pro kvazistálé situace

Nové kombinační pravidlo můžeme zadat v dalším řádku tabulky nebo v dialogu pomocí tlačítka [Vytvořit nové kombinační pravidlo]. Příslušnou návrhovou situaci můžeme vybrat ze seznamu.

Kombinační pravidla, která označíme v seznamu v levé části dialogu, můžeme také [Smazat].

Označení kombinačního pravidla



Stručné označení kombinačního pravidla můžeme dodatečně upravit. Seznam nabízí několik návrhů.

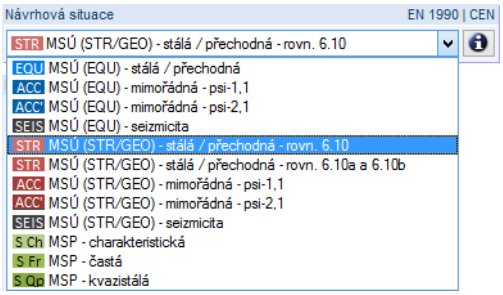
Použít

Zaškrtnutí tohoto kontrolního políčka znamená, že se vybrané kombinační pravidlo použije při kombinování účinků. Tímto způsobem můžeme některé návrhové situace vyřadit nebo opět aktivovat.

Návrhová situace

V normách jsou popsány situace, které je třeba splnit pro posouzení konstrukce. Tyto návrhové situace odpovídají podmínkám, které lze očekávat během výstavby nebo při běžném provozu konstrukce.

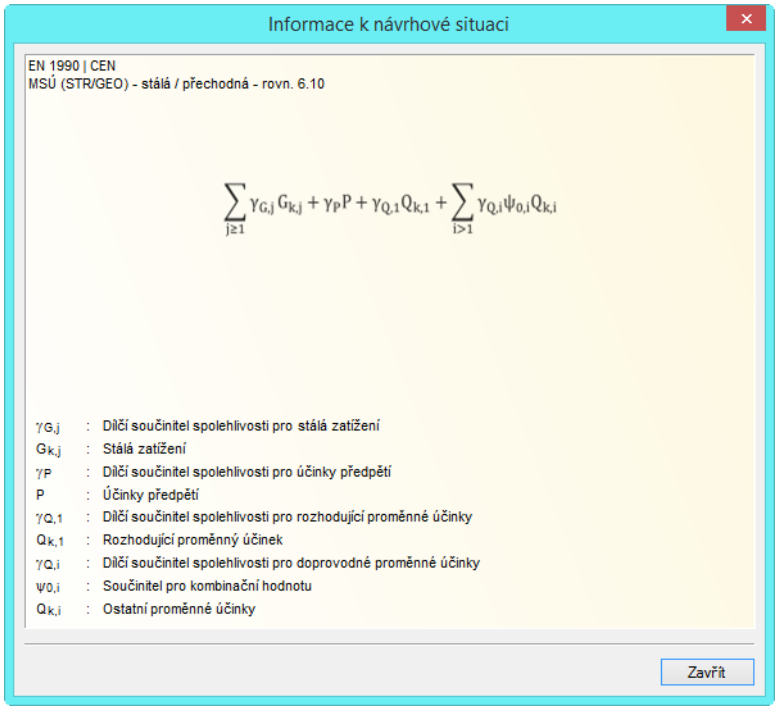
V případě EN 1990 seznam obsahuje následující návrhové situace:



Obrázek 5.12 Návrhové situace podle EN 1990

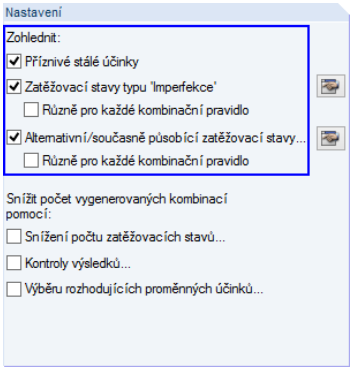
V případě norem DIN 1055-100, DIN EN 1990 a EN 1990 + DIN EN 1995 máme navíc k dispozici návrhové situace *Mimořádné - sníh*, které zohledňují součinitele pro Severoněmeckou nížinu.

Tlačítko [Informace k návrhové situaci...] slouží uživateli k překontrolování kombinačního pravidla právě vybrané návrhové situace. Otevře se dialog, v němž je uveden vzorec spolu s příslušnými parametry.



Obrázek 5.13 Dialog *Informace k návrhové situaci*

Příznivé stálé účinky



Pokud zaškrtneme tuto volbu, budou se při generování kombinací rozlišovat příznivé a nepříznivé stálé účinky. Do výpočtu vstupují s odlišnými dílčími součiniteli spolehlivosti. Vzniknou tak další kombinace.

Týká se to přitom pouze návrhových situací pro posouzení na mezní stav únosnosti. V případě návrhové situace „Statická rovnováha“ se příznivé a nepříznivé stálé účinky rozlišují automaticky, zatímco u návrhové situace „Použitelnost“ se mezi příznivými a nepříznivými stálými účinky nečiní rozdíl.

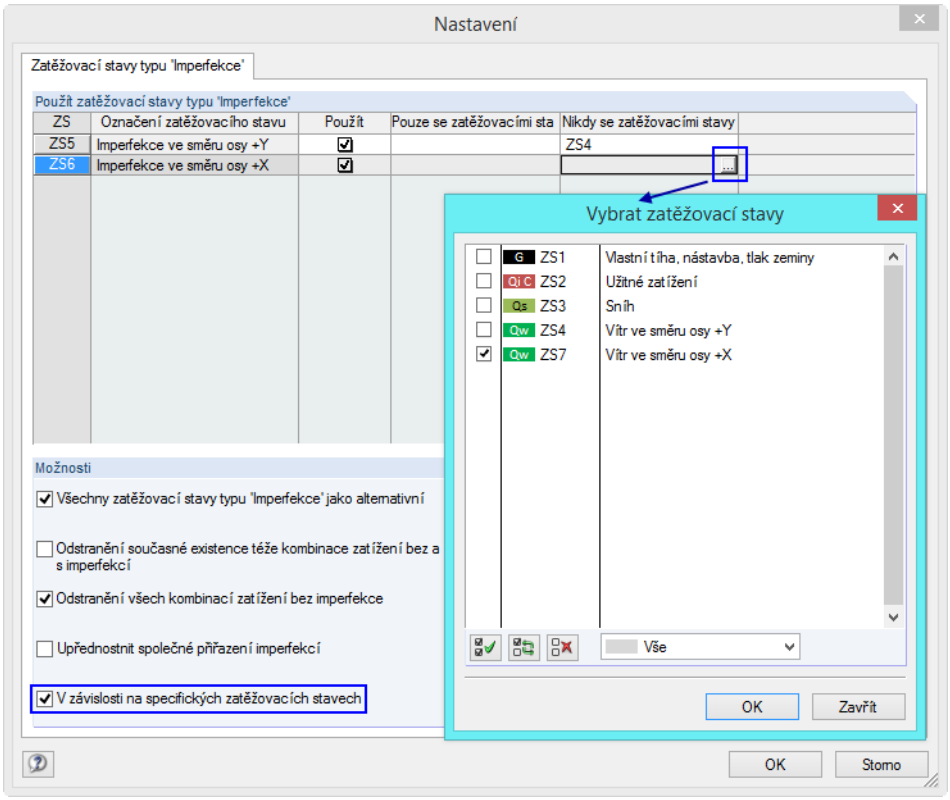
Zatěžovací stavy typu

RFEM rozlišuje dvě kategorie zatěžovacích stavů: první z nich tvoří normální zatěžovací stavy, druhou představují zatěžovací stavy s *imperfekcemi*. To, že se imperfekce zpracovávají samostatně, umožňuje vytvořit každou kombinaci zatížení jednou s imperfekcí a jednou bez imperfekce.

Zatěžovací stavy typu Imperfekce se uvažují pouze při generování kombinací zatížení.

Zaškrtávací políčko *Různě pro každé kombinační pravidlo* umožňuje samostatně přiřadit imperfekce pro kombinační pravidla: Tak například podle EN 1992-1-1 je třeba zohlednit imperfekce při posouzení mezního stavu únosnosti. Posouzení mezního stavu použitelnosti je možné provést bez imperfekcí.

Po zaškrtnutí políčka se zpřístupní tlačítko [Nastavení] resp. ... Vyvolá se dialog *Nastavení* pro specifická nastavení zatěžovacích stavů typu Imperfekce.



Obrázek 5.14 Dialog *Nastavení* s dialogem *Vybrat zatěžovací stavy*

V sekci **Použít zatěžovací stavy typu 'Imperfekce'** jsou uvedeny všechny zatěžovací stavy klasifikované jako typ účinku „Imperfekce“ (viz kapitola 5.1). Kontrolní políčka ve sloupci *Použít* nám umožňují u každého z uvedených zatěžovacích stavů rozhodnout, zda se zohlední při generování kombinací zatížení.

Sloupce *Pouze se zatěžovacími stavy* a *Nikdy se zatěžovacími stavy* se zobrazí, pokud jsou zatěžovací stavy typu ‚Imperfekce‘ *závislé na specifických zatěžovacích stavech* (popis viz níže).

V sekci **Možnosti** lze nastavit, jakým způsobem se mají zatěžovací stavy typu ‚Imperfekce‘ zohlednit. Pokud působí *všechny zatěžovací stavy typu 'Imperfekce' jako alternativní*, použije se v každé kombinaci zatížení pouze jeden zatěžovací stav typu Imperfekce.

Pomocí zaškrtávacího políčka *Odstranění současné existence téže kombinace zatížení bez imperfekce a s ní* je možné redukovat počet generovaných kombinací zatížení: U podobných kombinací jsou skladby zatížení bez zatěžovacího stavu typu Imperfekce potlačené. Lze také v zásadě provést *odstranění všech kombinací zatížení bez imperfekce*.

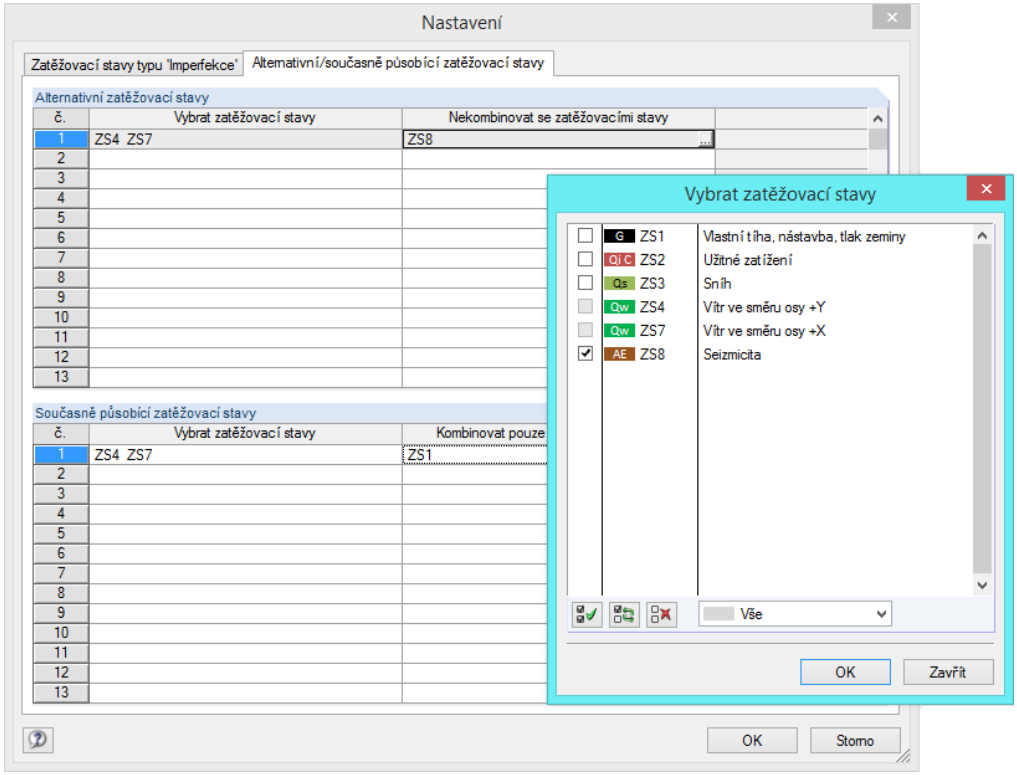
Pokud je k dispozici několik zatěžovacích stavů typu Imperfekce, je možné pomocí zaškrtávacího políčka *Upřednostnit společné přiřazení imperfekcí* zabránit separátnímu přiřazení ke kombinacím zatížení.

Volba *V závislosti na specifických zatěžovacích stavech* umožňuje počet generovaných kombinací zatížení dále redukovat. V horní sekci dialogu se pak zobrazí další dva sloupce *Pouze se zatěžovacími stavy* a *Nikdy se zatěžovacími stavy*. Po kliknutí do příslušného políčka v daném sloupci se objeví tlačítko , kterým otevřeme dialog *Vybrat zatěžovací stavy*. V něm označíme požadované zatěžovací stavy, které se budou s daným zatěžovacím stavem typu Imperfekce vyskytovat v kombinaci vždy společně nebo naopak se budou navzájem vylučovat (viz obr. 5.14).

Alternativní/současně působící zatěžovací stavy

Počet vytvářených kombinací zatížení lze dále snížit tak, že některé zatěžovací stavy označíme za navzájem se vylučující nebo naopak vyskytující se pouze zároveň. Zaškrtávací políčko *Různě pro každé kombinační pravidlo* umožňuje separátně definovat skladby zatěžovacích stavů u kombinačních pravidel.

Po označení příslušného políčka se zpřístupní tlačítko , resp. tlačítko v tabulce, kterým otevřeme dialog s možností podrobného nastavení výskytu zatěžovacích stavů.



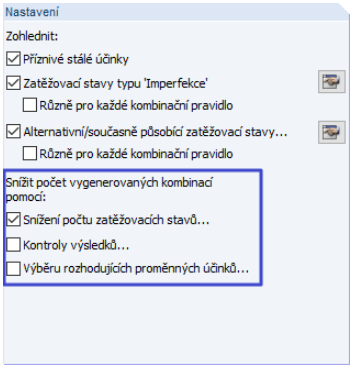
Obrázek 5.15 Dialog *Nastavení*, záložka *Alternativní/současně působící zatěžovací stavy* s dialogem *Vybrat zatěžovací stavy*

V sekci **Alternativní zatěžovací stavy** je třeba nejdříve ve sloupci *Vybrat zatěžovací stavy* uvést konkrétní zatěžovací stav nebo ho po kliknutí na tlačítko určit v dialogu *Vybrat zatěžovací stavy*. Ve sloupci *Nekombinovat se zatěžovacími stavy* pak můžeme stanovit, které zatěžovací stavy se nikdy nebudou současně s daným zatěžovacím stavem skládat do kombinace zatížení. Můžeme tak např. zabránit tomu, aby kombinace současně obsahovala zatížení sněhem a zatížení osobou.

Obdobně lze v sekci **Současně působící zatěžovací stavy** určit zatěžovací stavy, které se ve všech kombinacích zatížení budou vyskytovat společně. Vztahy, které mezi zatěžovacími stavy definujeme, budou ovšem platit jen v případě, že **neaktivujeme** volbu *Snížit počet vygenerovaných kombinací pomocí kontroly výsledků...* (viz níže).

Nastavení v sekci *Současně působící zatěžovací stavy* se zohlední pouze při generování kombinací zatížení, nikoli kombinací výsledků.

Snížit počet vygenerovaných kombinací



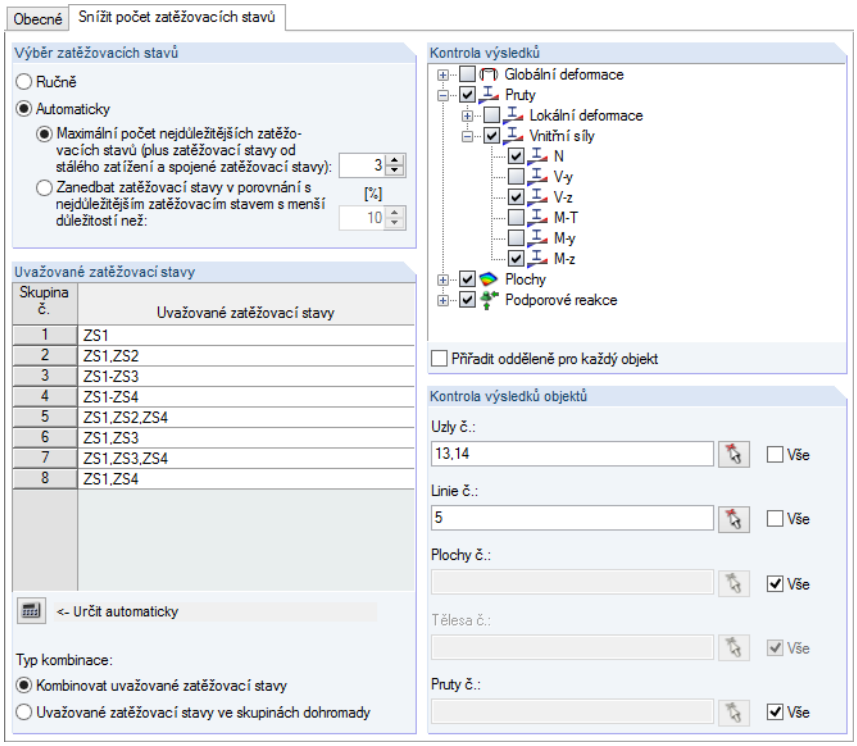
Složitost konstrukce a počet zatížení a zatěžovacích stavů výrazně ovlivňují počet generovaných kombinací. RFEM nabízí tři možnosti, jak počet možných kombinací účinně snížit. První dvě z nich lze využít pouze při generování kombinací zatížení, nikoli kombinací výsledků. Vysvětlujeme je na příkladu.

Snížení počtu zatěžovacích stavů

Tato volba umožňuje obecně omezit množství zatěžovacích stavů, které se mají skládat do kombinací zatížení. Příslušné zaškrtávací políčko se nachází v záložce *Kombinační pravidla* v podzáložce *Obecné* (viz obr. 5.10). Touto metodou se zjišťuje, které zatěžovací stavy vyvolávají kladné, resp. záporné vnitřní síly a deformace. Následně se shrnou všechny kladně působící a všechny záporně působící zatěžovací stavy. Do kombinací tak vstoupí pouze ty zatěžovací stavy, které mají vliv na maximální, resp. minimální hodnoty.

Výhodou dané metody je, že lze tímto způsobem výrazně snížit počet kombinací, což se příznivě odrazí na délce trvání výpočtu a vyhodnocení. Musíme však poukázat i na určitou nevýhodu. V případě nepříznivé skladby zatížení a nastavení redukce počtu zatěžovacích stavů existuje určité riziko, že extrémní hodnoty nebudou nalezeny.

Po zaškrtnutí příslušného políčka se v dialogu zobrazí další záložka *Snížit počet zatěžovacích stavů*. V ní můžeme podrobně nastavit, které zatěžovací stavy, vnitřní síly a objekty se mají při tvorbě rozhodujících kombinací uvažovat.



Obrázek 5.16 Podzáložka *Snížit počet zatěžovacích stavů* v záložce Kombinační pravidla

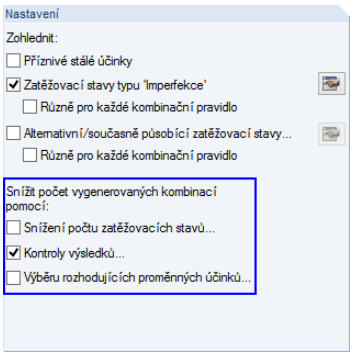
Zatěžovací stavy lze určit *ručně* nebo *automaticky* v programu na základě kritérií důležitosti. Pomocí tlačítka [Určit automaticky] spustíme výpočet, při němž se zjišťují maximální a minimální vnitřní síly, deformace a reakce v jednotlivých zatěžovacích stavech.

V případě automatického výpočtu je třeba stanovit, které *výsledky* (deformace, vnitřní síly na prutech a na plochách, reakce) a které *objekty* (uzly, plochy, pruty atd.) se mají při vyhodnocení zatěžovacích stavů uvažovat. Příslušné objekty můžeme vybrat pomocí v grafickém okně, pokud není označeno zaškrtávací políčko *Vše*. Volba *Přiřadit odděleně pro každý objekt* umožňuje přiřadit objektům specifické typy výsledků, které se mají zkontrolovat.

Počet zatěžovacích stavů obsažených po výpočtu ve *skupině* závisí na nastavení v sekci *Výběr zatěžovacích stavů*:

- V případě označení volby **Maximální počet nejdůležitějších zatěžovacích stavů** skupina obsahuje buď stanovený maximální počet zatěžovacích stavů nebo pouze zatěžovací stavy s kladnými nebo naopak zápornými účinky, jejichž počet je nižší.
- Druhá volba nám umožňuje **zanedbat zatěžovací stavy**, které jen nepatrně přispívají k dosažení maximálních či minimálních hodnot. Stanovené procento důležitosti se uvádí ve vztahu k vnitřním silám, deformacím a reakcím ze zatěžovacích stavů, které vyvolávají extrémní hodnoty.

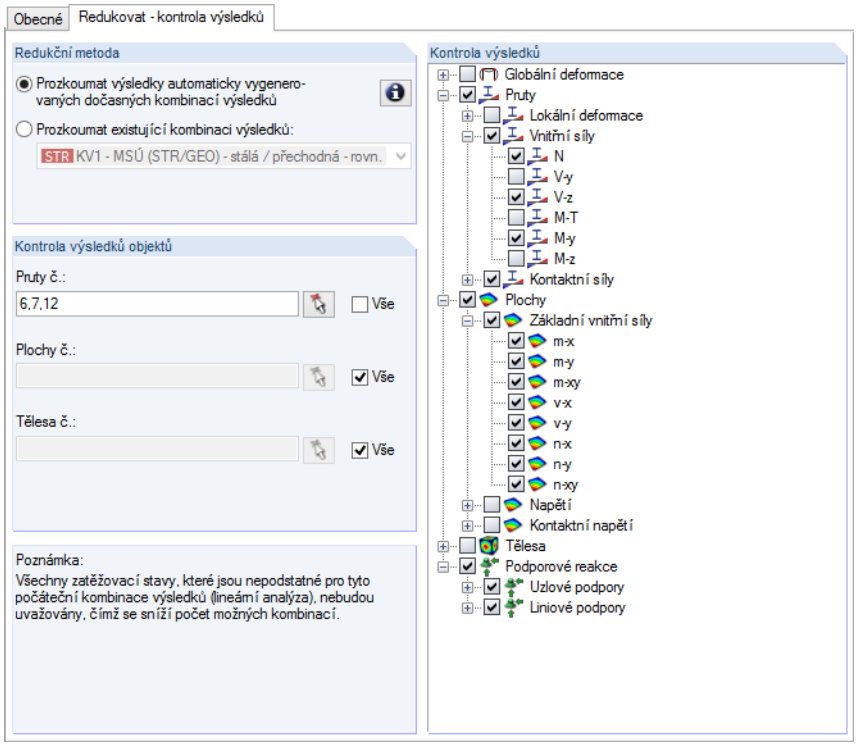
Zatížení imperfekcemi se při automatickém vytváření skupin nezohledňují.



Kontrola výsledků

Vytvoří se pouze rozhodující kombinace zatížení (kombinace výsledků nelze tímto způsobem redukovat).

Pokud zaškrtneme příslušné kontrolní políčko, zobrazí se v dialogu další záložka *Redukovat - kontrola výsledků*.



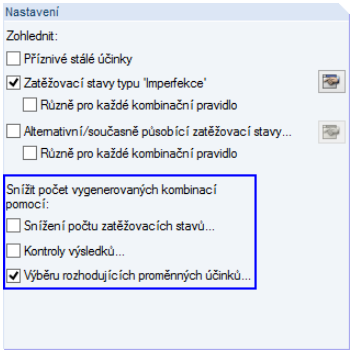
Obrázek 5.17 Podzáložka *Redukovat - kontrola výsledků* v záložce Kombinační pravidla

Tato *redukční metoda* spočívá ve vyhodnocení automaticky vygenerovaných dočasných kombinací výsledků. Dočasné kombinace výsledků zahrnují všechny zatěžovací stavy vytvořené v daném modelu a zohledňují také veškeré vztahy mezi nimi. Procházením výsledků v každém uzlu sítě konečných prvků se zjistí, které současně působící zatěžovací stavy tu vyvolávají maximální nebo minimální hodnotu. Daná redukční metoda vychází z předpokladu, že rozhodující mohou být pouze kombinace, které obsahují právě tyto současně působící zatěžovací stavy.

Redukční metodu lze případně aplikovat také na výsledky kombinace, kterou zadal sám uživatel.

V sekci *Kontrola výsledků* vpravo můžeme stanovit, které deformace, vnitřní síly, napětí nebo reakce se mají při vyšetřování extrémních hodnot vzít v úvahu.

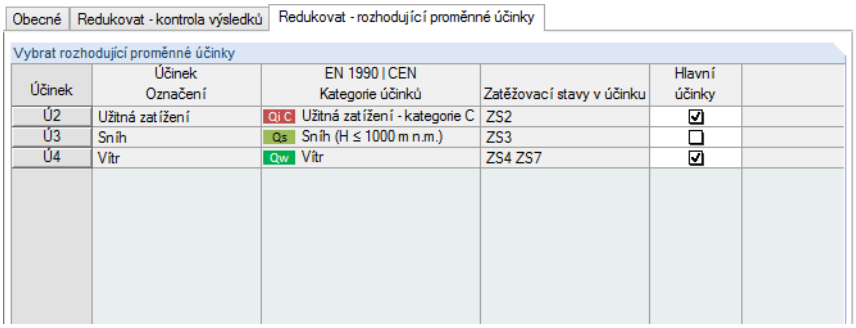
V sekci *Kontrola výsledků objektů* máme možnost omezit analýzu extrémních hodnot na výsledky vybraných prutů, ploch či těles. Pomocí funkce můžeme dané objekty vybrat v grafickém okně.



Výběr rozhodujících proměnných účinků

Třetí možnost, jak snížit počet vygenerovaných kombinací, spočívá v tom, že pouze vybrané účinky označíme za rozhodující. Tuto metodu redukce můžeme uplatnit jak při generování kombinací zatížení tak kombinací výsledků.

Pokud zaškrtneme příslušné kontrolní políčko, zobrazí se v dialogu další záložka *Redukovat - rozhodující proměnné účinky*.



Obrázek 5.18 Podzáložka *Redukovat - rozhodující proměnné účinky* v záložce Kombinační pravidla

Seznam rozhodujících účinků obsahuje pouze proměnné účinky.

Pokud ve sloupci *Hlavní účinky* zrušíme zaškrtnutí některé položky, pak příslušný účinek bude vstupovat do kombinací pouze jako doprovodný.

Číslování generovaných kombinací

V této sekci dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* (viz obr. 5.10) můžeme stanovit *první číslo vygenerované kombinace zatížení*, resp. *kombinace výsledků*, které se v RFEMu vytvoří.

Kombinace výsledků

Uživatel má dále možnost nechat v programu vytvořit navíc *kombinaci výsledků* „*Buď-Nebo*“ *(obálku výsledků)*. Do této kombinace se skládají extrémní hodnoty všech kombinací zatížení nebo kombinací výsledků podle následujícího schématu:

„KZ1/stálá nebo KZ2/stálá nebo KZ3/stálá atd.“

Pokud jsme pro generování kombinací zadali více kombinačních pravidel, lze vytvořit *samostatnou kombinaci výsledků* „*Buď/Nebo*“ *pro každé kombinační pravidlo*.

Metoda analýzy

Uživatel může ze seznamu vybrat teorii výpočtu, podle níž se budou kombinace analyzovat (viz kapitola 7.3.1.1). Pro kombinace zatížení je předem nastaven nelineární výpočet podle teorie II. řádu (P-Delta).

Vygenerované kombinace účinků

Do této sekce, resp. do daného sloupce v tabulce se data doplní v průběhu generování kombinací, které se automaticky spustí po zavření příslušné záložky v dialogu, resp. tabulky. Z těchto údajů rychle získáme přehled o počtu vygenerovaných kombinací.

RFEM vytvoří na základě dat, které jsme v dialogu, resp. v tabulce zadali, takzvané „kombinace účinků“ (KÚ). Budeme se jim věnovat v následující kapitole. Z údajů v tomto dialogu lze odhadnout, jaký vliv mají vybraná kombinační pravidla na počet kombinací.

Generované Kombinace účinků
KÚ1 ... KÚ13 (13/47)
KÚ14 ... KÚ26 (13/47)
KÚ27 ... KÚ39 (13/47)
KÚ40 ... KÚ47 (8/47)

V příkladu, který uvádíme na levém okraji, se pro 4 zadané návrhové situace vygeneruje celkem 47 kombinací účinků:

- **MSÚ (STR/GEO):**

KÚ1 až KÚ13

- **MSP - charakteristická:**

KÚ14 až KÚ26

- **MSP - častá:**

KÚ27 až KÚ39

- **MSP - kvazistálá:**

KÚ40 až KÚ47

Pomocí tlačítka [>] v dialogu se můžeme rychle přesunout do následující záložky, přičemž program RFEM spočítá kombinace účinků automaticky. V dané záložce je již nastavena první kombinace účinků, která se vytvořila podle aktuálně zvoleného kombinačního pravidla.

Komentář

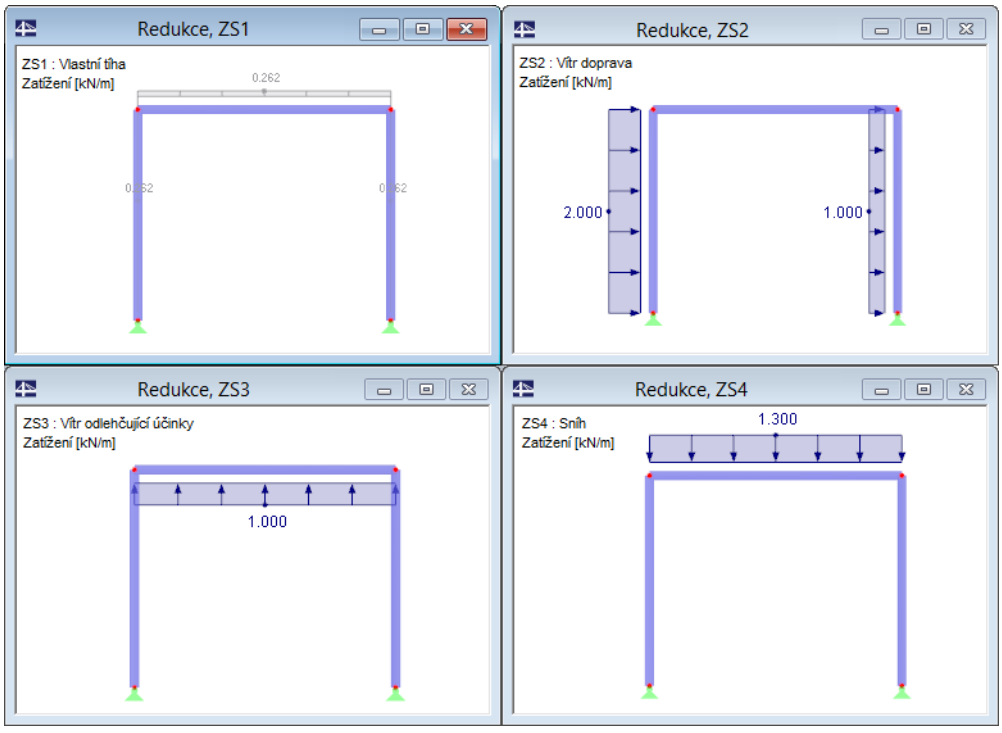
V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku nebo ji případně vybrat ze seznamu.

Příklad: Redukce počtu generovaných kombinací

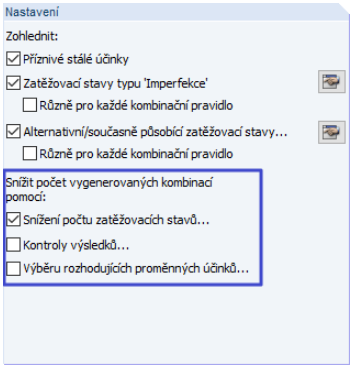
Cílem kombinace účinků je nalézt pro každé místo konstrukce nejméně příznivou skladbu zatížení. Můžeme přitom

- buď spočítat veškeré matematicky možné kombinace
- nebo se pokusit nalézt logické souvislosti, a tím snížit počet možných kombinací.

V případě symetrického dvoukloubového rámu jsou například dány následující zatěžovací stavy:



Obrázek 5.19 Dvoukloubový rám se 4 zatěžovacími stavy



Volba *Snížení počtu zatěžovacích stavů*

Zatěžovací stavy vyvozují následující normálové síly ve sloupech:

Zatěžovací stav	Označení	Působení	Síla N sloup vlevo	Síla N sloup vpravo
1	Vlastní tíha	stálé	tlak	tlak
2	Vítr vpravo	proměnné	tah	tlak
3	Vítr odlehčující	proměnné	tah	tah
4	Sníh	proměnné	tlak	tlak

Tabulka 5.3 Tahové a tlakové síly ve sloupech

Teoreticky je možných těchto 8 kombinací:

KZ1: ZS1 + ZS2 + ZS3 + ZS4

KZ2: ZS1

KZ3: ZS1 + ZS2

KZ4: ZS1 + ZS3

KZ5: ZS1 + ZS4

KZ6: ZS1 + ZS2 + ZS3

KZ7: ZS1 + ZS3 + ZS4

KZ8: ZS1 + ZS2 + ZS4

Počet daných kombinací můžeme redukovat, pokud například hledáme pouze kombinace s extrémními hodnotami normálových sil ve sloupech. Pro každý sloup můžeme vytvořit skupinu zatěžovacích stavů, které při uvážení stálého ZS1 vyvozují výlučně tahové nebo tlakové síly.

Skupina	Sloup vlevo	Sloup vpravo
Tahové síly	ZS1, ZS2, ZS3	ZS1, ZS3
Tlakové síly	ZS1, ZS4	ZS1, ZS2, ZS4

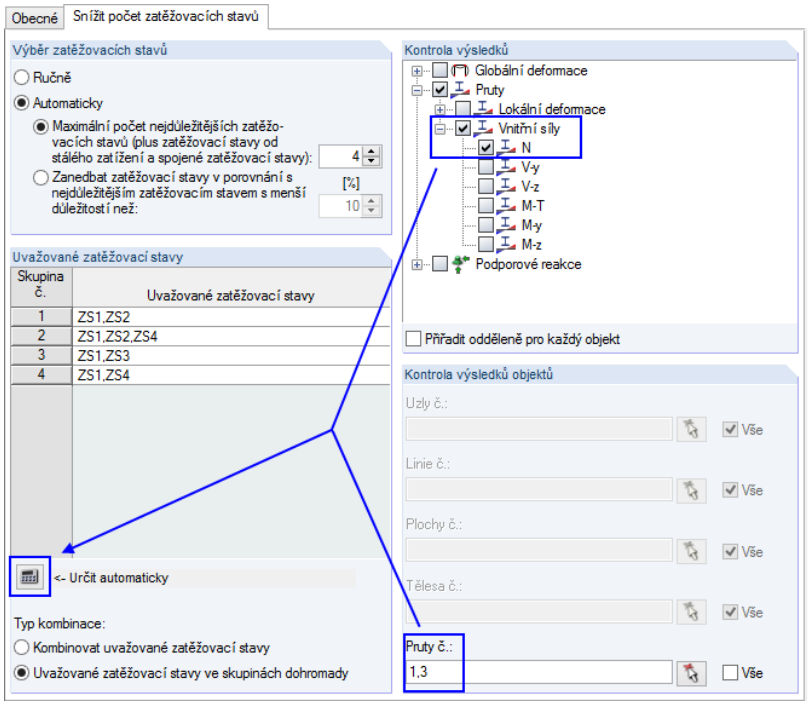
Tabulka 5.4 Skupiny zatěžovacích stavů

Dospějeme tak nikoli k 8, nýbrž pouze ke 4 kombinacím zatěžovacích stavů.

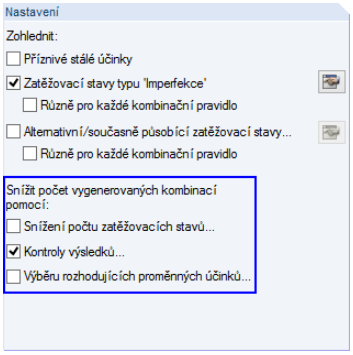
Snížení počtu kombinací dosáhneme tak, že v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* (viz obr. 5.10 ↗)

- zaškrtneme políčko *Snížení počtu zatěžovacích stavů...*
- v záložce *Snížit počet zatěžovacích stavů* v sekci *Kontrola výsledků* označíme pouze normálové síly
- v sekci *Kontrola výsledků objektů* uvedeme pouze čísla sloupů (viz obr. 5.20).

Jakmile klikneme na tlačítko [Určit automaticky], proběhne v RFEMu rychlý výpočet. Poté se v sekci *Uvažované zatěžovací stavy* zobrazí již zmíněné čtyři skupiny zatěžovacích stavů, které můžeme vidět také v tabulce 5.4 .



Obrázek 5.20 Automatické určení skupin zatěžovacích stavů



Volba *Kontrola výsledků*

Touto metodou se ze zatěžovacích stavů vytvoří lineární kombinace výsledků. Pro každý bod se vyhodnotí extrémní hodnoty a příslušné zatěžovací stavy, takže vždy získáme maximální a minimální kombinaci zatěžovacích stavů. Z daných extrémních kombinací se pak vychází při tvorbě kombinací zatěžovacích stavů.

Zatěžovací stavy vedou k následujícím normálovým silám *N* ve sloupech:

ZS	Označení	Působení	N sloup vlevo	N sloup vpravo
1	Vlastní tíha	stálé	tlak (-10 kN)	tlak (-10 kN)
2	Vítr vpravo	proměnné	tah (5 kN)	tlak (-5 kN)
3	Vítr odlehčující	proměnné	tah (3 kN)	tah (3 kN)
4	Sníh	proměnné	tlak (-12 kN)	tlak (-12 kN)

Tabulka 5.5 Tahové a tlakové síly ve sloupech

RFEM vytvoří následující dočasnou kombinaci výsledků: ZS1/stálé + ZS2 + ZS3 + ZS4

V případě normálových sil ve sloupech dostaneme při superpozici následující extrémní hodnoty:

Skupina	Sloup vlevo	Sloup vpravo
Maximální normálová síla	-2 kN (ZS1, ZS2, ZS3)	-7 kN (ZS1, ZS3)
Minimální normálová síla	-22 kN (ZS1, ZS4)	-27 kN (ZS1, ZS2, ZS4)

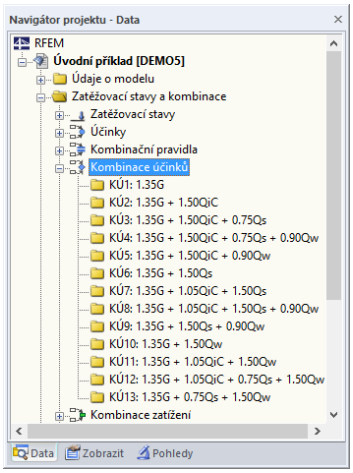
Tabulka 5.6 Skupiny zatěžovacích stavů

Také tímto způsobem obdržíme nikoli již 8 kombinací zatěžovacích stavů, ale pouze 4.

Údaje v záložce *Redukovat - kontrola výsledků* je třeba nastavit podobně jako na obr. 5.20.

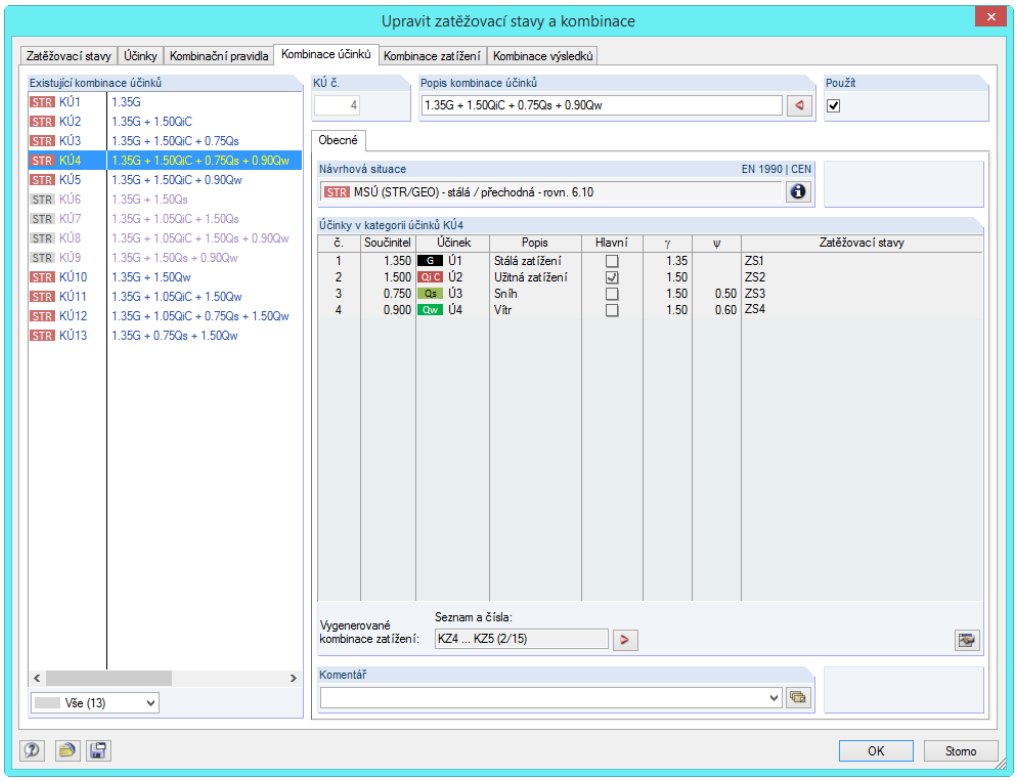
5.4 Kombinace účinků

Obecný popis

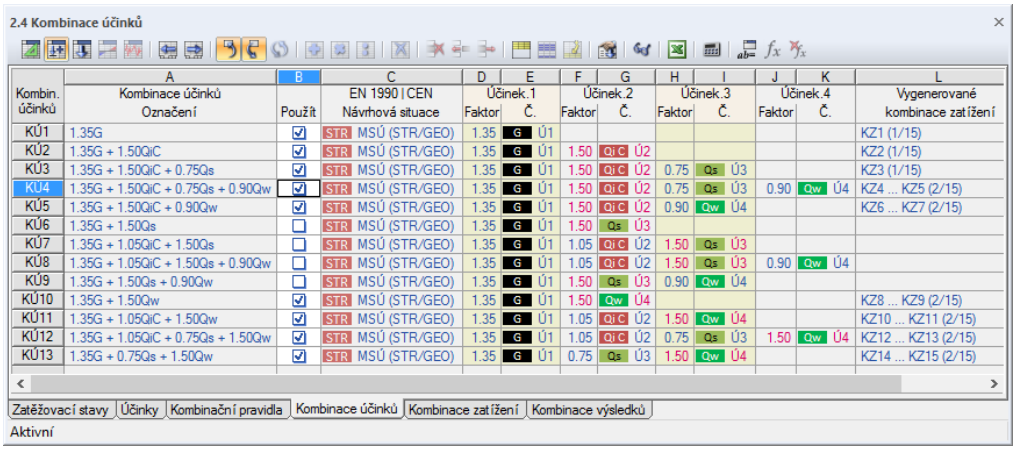


Po otevření této záložky v dialogu, resp. tabulky 2.4 se účinky automaticky složí do kombinací podle daných kombinačních pravidel a zobrazí se jako takzvané „kombinace účinků“. Údaje jsou v přehledu seřazené podle účinků. To odpovídá způsobu, jak jsou účinky popsané v normách. Můžeme zde stanovit, které kombinace účinků nakonec budou připadat v úvahu pro tvorbu kombinací zatížení, resp. kombinací výsledků.

Kombinace účinků zahrnuje veškeré možnosti, jak lze kombinovat zatěžovací stavy stejného účinku. Nesmí se proto zaměňovat s kombinací zatížení nebo s kombinací výsledků, které představují vždy jen jednu variantu z daných možností.



Obrázek 5.21 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace účinků*



2.4 Kombinace účinků

Kombin. účinků	A Kombinace účinků Označení	B Použít	C EN 1990 | CEN Návrhová situace	D Účinek.1 Faktor	E Účinek.1 Č.	F Účinek.2 Faktor	G Účinek.2 Č.	H Účinek.3 Faktor	I Účinek.3 Č.	J Účinek.4 Faktor	K Účinek.4 Č.	L Vygenerované kombinace zatížení
KÚ1	1.35G	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1							KZ1 (1/15)
KÚ2	1.35G + 1.50QiC	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qi C Ú2					KZ2 (1/15)
KÚ3	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qi C Ú2	0.75	Qs Ú3			KZ3 (1/15)
KÚ4	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs + 0.90Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qi C Ú2	0.75	Qs Ú3	0.90	Qw Ú4	KZ4 ... KZ5 (2/15)
KÚ5	1.35G + 1.50QiC + 0.90Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qi C Ú2	0.90	Qw Ú4			KZ6 ... KZ7 (2/15)
KÚ6	1.35G + 1.50Qs	☐	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qs Ú3					
KÚ7	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs	☐	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.05	Qi C Ú2	1.50	Qs Ú3			
KÚ8	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs + 0.90Qw	☐	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.05	Qi C Ú2	1.50	Qs Ú3	0.90	Qw Ú4	
KÚ9	1.35G + 1.50Qs + 0.90Qw	☐	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qs Ú3	0.90	Qw Ú4			
KÚ10	1.35G + 1.50Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.50	Qw Ú4					KZ8 ... KZ9 (2/15)
KÚ11	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.05	Qi C Ú2	1.50	Qw Ú4			KZ10 ... KZ11 (2/15)
KÚ12	1.35G + 1.05QiC + 0.75Qs + 1.50Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	1.05	Qi C Ú2	0.75	Qs Ú3	1.50	Qw Ú4	KZ12 ... KZ13 (2/15)
KÚ13	1.35G + 0.75Qs + 1.50Qw	☑	STR MSÚ (STR/GEO)	1.35	G Ú1	0.75	Qs Ú3	1.50	Qw Ú4			KZ14 ... KZ15 (2/15)

Zatěžovací stavy | Účinky | Kombinační pravidla | Kombinace účinků | Kombinace zatížení | Kombinace výsledků

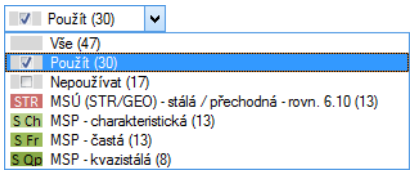
Aktivní

Obrázek 5.22 Tabulka 2.4 *Kombinace účinků*

Kombinace účinků č.

Kombinace vytvořené z účinků se číslují průběžně. Kombinace účinků zahrnuje veškeré možnosti, jak lze zohlednit zatěžovací stavy stejného účinku. Dané možnosti závisí na kategorii účinku a kombinačních pravidlech.

V levé dolní části sekce *Existující kombinace účinků* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* lze vygenerované kombinace filtrovat podle návrhových situací nebo podle důležitosti.



Obrázek 5.23 Možnosti filtrování v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*

Označení kombinace účinků

RFEM kombinacím automaticky zadává krátká označení, která vychází ze součinitelů spolehlivosti a ze symbolů pro jednotlivé účinky a která jsou vyjádřením kombinačních pravidel. Označení lze v případě potřeby upravovat.

Pomocí tlačítka v dialogu se můžeme rychle přesunout do předchozí záložky. V dané záložce je již vybráno kombinační pravidlo, podle něhož se vytvořila aktuálně zvolená kombinace účinků.

Použít

Zaškrtnutí tohoto kontrolního políčka znamená, že se vybraná kombinace účinků zohlední při tvorbě kombinací zatížení, resp. kombinací výsledků. Tímto způsobem můžeme některé kombinace účinků vyřadit nebo opět aktivovat.

Pokud se ve zvláštních případech stane, že některá kombinace účinků se vytvoří dvakrát, jedna z nich se automaticky deaktivuje.

Návrhová situace

Návrhová situace právě vybrané kombinace účinků se zobrazí pro kontrolu ještě jednou. Tlačítko [Informace k návrhové situaci...] slouží uživateli k překontrolování kombinačního pravidla dané návrhové situace. Pokud na něj klikneme, zobrazí se dialog s vysvětlivkami (viz obr. 5.14).

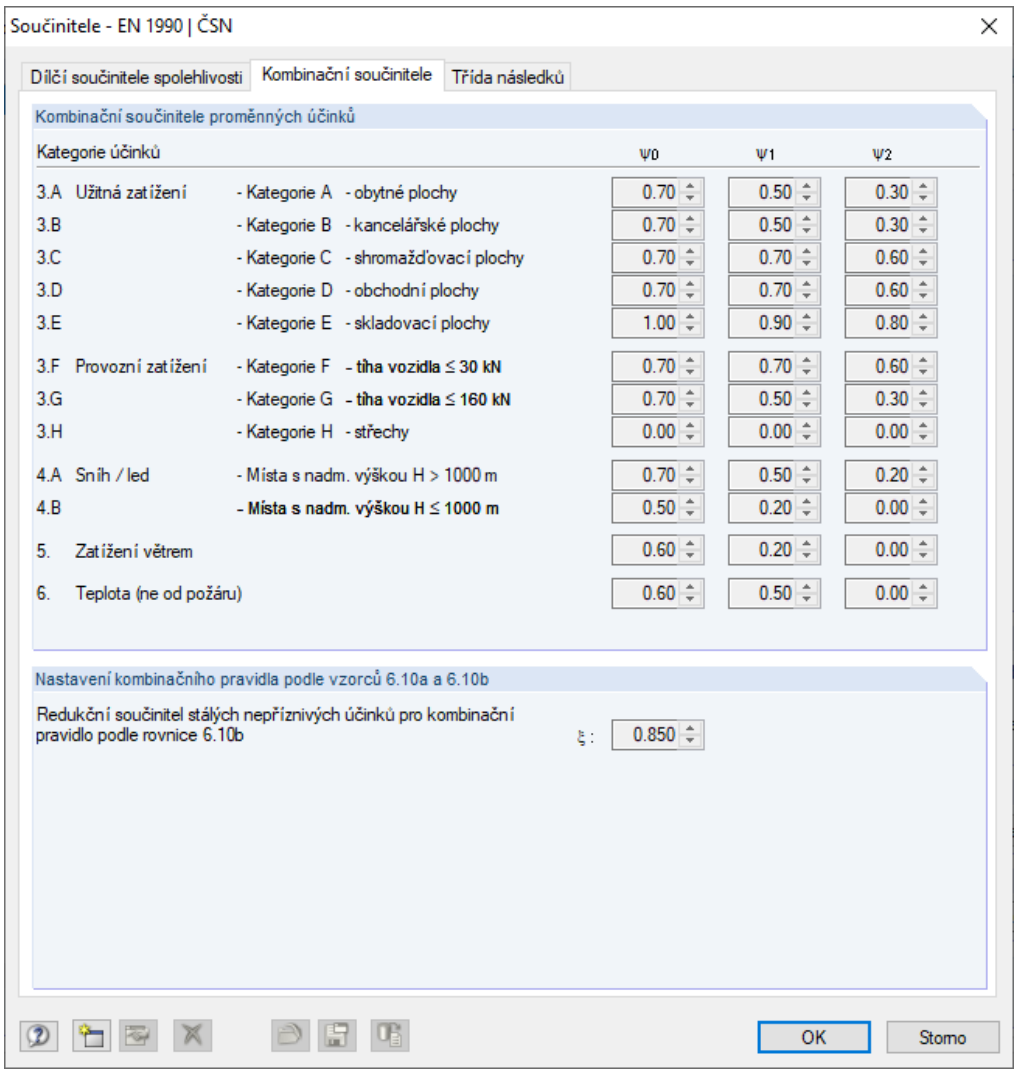
Účinky v kombinaci účinků

V těchto sloupcích můžeme vidět účinky z dané kombinace s příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti a kombinačními součiniteli.

Pokud se některý účinek v kombinaci považuje za *hlavní*, je také v tomto dialogu odpovídajícím způsobem označen. V takovém případě se dosadí do rovnic 5.1 až 5.7 jako účinek $Q_{k,1}$ (viz kapitola 5.3 Kombinační pravidla).

Uvedené *faktory* vychází z hodnot, které předepisuje zvolená norma. V případě EN 1990 se jedná o dílčí součinitele spolehlivosti γ, kombinační součinitele ψ, redukční součinitele ξ a případně součinitele spolehlivosti K_{FI} každého účinku, které vyplývají z návrhové situace a kategorie účinku.

Dílčí a kombinační součinitele můžeme zkontrolovat a v případě normy zadané uživatelem také upravit po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...]. Otevře se dialog *Součinitele*, v němž jsou součinitele uspořádány do několika záložek. První záložku *Dílčí součinitele spolehlivosti* můžeme vidět na obr. 12.27. V záložce *Kombinační součinitele* se zobrazí přehled hodnot součinitelů ψ a ξ.



Obrázek 5.24 Dialog *Součinitele*, záložka *Kombinační součinitele*

V sekci *Účinky v kombinaci účinků* jsou vyjmenovány všechny *zatěžovací stavy*, které jednotlivé účinky zahrnují, a jsou tu uvedeny veškeré možnosti, jak lze tyto stavy v daném účinku zohlednit. Tyto možnosti přitom závisí na typu účinku a na působení (současném nebo střídavém). Předpokládá se, že u typu účinku „Stálé zatížení“ a „Předpětí“ se všechny přiřazené zatěžovací stavy použijí vždy současně, pokud jsme u nich nedefinovali „střídavé“ působení. V případě proměnných, mimořádných a seizmických účinků lze přiřazené zatěžovací stavy skládat do všech platných kombinací.

Vygenerované kombinace zatížení, resp. kombinace výsledků

Do této sekce, resp. do daného sloupce v tabulce se data doplní v průběhu generování kombinací, které se automaticky spustí po zavření příslušné záložky v dialogu, resp. tabulky. Z těchto údajů rychle získáme přehled o číslech a počtu vygenerovaných kombinací zatížení, příp. kombinací výsledků.

Kombinace zatížení a kombinace výsledků popisujeme v kapitolách 5.5 a 5.6.

Příklad

Vygenerované kombinace zatížení
KZ1 ... KZ3 (3/47)
KZ4 ... KZ6 (3/47)
KZ7 ... KZ10 (4/47)
KZ11 ... KZ14 (4/47)
KZ15 ... KZ17 (3/47)
KZ18 ... KZ21 (4/47)
KZ22 ... KZ25 (4/47)
KZ26 ... KZ29 (4/47)
KZ30 ... KZ33 (4/47)
KZ34 ... KZ36 (3/47)
KZ37 ... KZ39 (3/47)
KZ40 ... KZ43 (4/47)
KZ44 ... KZ47 (4/47)

V příkladu, který je znázorněn vlevo, se pro návrhovou situaci MSÚ vygeneruje celkem 47 kombinací zatížení. U kombinace účinků **KÚ12** (předposlední řádek) se vytvoří čtyři kombinace zatížení KZ40 až KZ43:

První účinek Ú1 z kategorie účinků „Stálá zatížení“ vstupuje do kombinace zatížení se součinitelem $\gamma = 1{,}35$. Zatěžovací stavy 1 a 2, které obsahuje, se vyskytují ve všech kombinacích zatížení společně.

Druhý účinek Ú2 patří do kategorie účinků „Sníh“ a v kombinacích zatížení se násobí součinitelem $\gamma * \psi = 1{,}50 * 0{,}50 = 0{,}75$.

Třetím účinkem Ú3 se počet vygenerovaných kombinací zdvojnásobuje, protože tento účinek z kategorie „Vítr“ zahrnuje dva zatěžovací stavy 4 a 5, které působí střídavě. V kombinacích zatížení se tento účinek násobí součinitelem $\gamma \cdot \psi = 1{,}50 \cdot 0{,}60 = 0{,}90$.

Čtvrtý účinek Ú4 se řadí k „užitným zatížením - kategorie B“ a do všech čtyř kombinací zatížení vstupuje se součinitelem $\gamma = 1{,}50$. Jedná se přitom o hlavní účinek.

Účinky v kategorii účinků KÚ12

č.	Součinitel	Účinek	Popis	Hlavní	γ	ψ	Zatěžovací stavy
1	1.350	G Ú1	Stálá zatížení	☐	1.35		ZS1 ZS2
2	0.750	Qs Ú2	Sníh	☐	1.50	0.50	ZS3
3	0.900	Qw Ú3	Vítr	☐	1.50	0.60	ZS4 ZS5
4	1.500	Qi B Ú4	Užitná zatížení	☑	1.50		ZS6

Vygenerované kombinace zatížení: Seznam a čísla: KZ40 ... KZ43 (4/47)

Obrázek 5.25 Účinky v kombinaci účinků KÚ12

Nakonec je třeba uvážit zatěžovací stavy 7 a 8 typu „Imperfekce“, které se pojí ke směru větru z obou zatěžovacích stavů účinku Ú3. Vytvořit se mají jednou kombinace zatížení s imperfekcí a jednou bez imperfekce.

RFEM tak vytvoří pro KÚ12 následující kombinace zatížení:

KZ40: 1,35ZS1 + 1,35ZS2 + 0,75ZS3 + 0,9ZS4 + 1,5ZS6

KZ41: 1,35ZS1 + 1,35ZS2 + 0,75ZS3 + 0,9ZS4 + 1,5ZS6 + ZS7

KZ42: 1,35ZS1 + 1,35US2 + 0,75ZS3 + 0,9ZS5 + 1,5ZS6

KZ43: 1,35ZS1 + 1,35ZS2 + 0,75ZS3 + 0,9ZS5 + 1,5ZS6 + ZS8

Pomocí tlačítka > v dialogu se můžeme rychle přesunout do záložky *Kombinace zatížení*. V dané záložce je již vybrána první kombinace, která se vytvořila z aktuální kombinace účinků.

Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámku nebo ji případně vybrat ze seznamu.

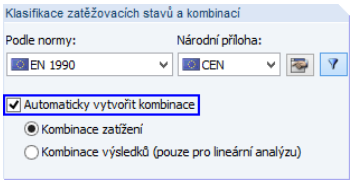
5.5 Kombinace zatížení

Obecný popis

Rozdíl mezi kombinací zatížení a kombinací výsledků

Kombinace zatížení (**KZ**) představují jednu z možností, jak spolu skládat jednotlivé zatěžovací stavy. Druhou možností je tvoření kombinací výsledků (**KV**).

Kombinace zatížení vzniká součtem zatížení z vybraných zatěžovacích stavů, vynásobených příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti. Vytvoří se tak jeden „velký zatěžovací stav“ a spočítají se jeho účinky na konstrukci. Naproti tomu v případě kombinace výsledků (viz kapitola 5.6) se nejdříve spočítají účinky jednotlivých zatěžovacích stavů. Výsledky se pak skládají do kombinací s uvážením dílčích součinitelů spolehlivosti.

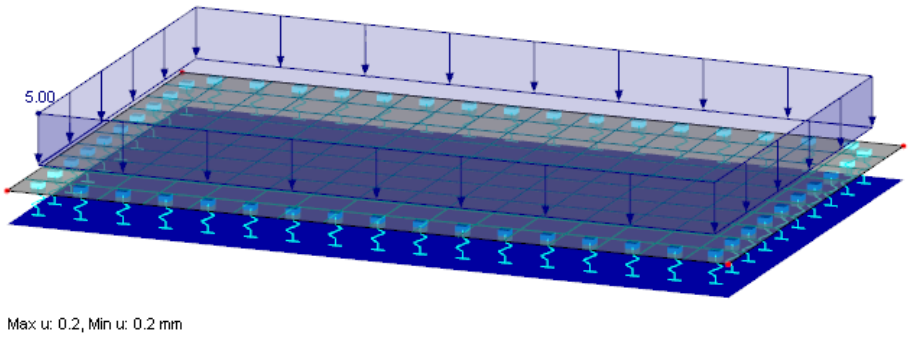


Zaškrtávací políčko v dialogu *Model - základní údaje*

Zatěžovací stavy lze skládat do kombinací ručně (viz kapitola 5.5.1) nebo automaticky v programu RFEM (viz kapitola 5.5.2), podle nastavení v dialogu *Model - základní údaje* (viz obr. 12.23). Dané nastavení se odrazí i na vzhledu záložky *Kombinace zatížení* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*.

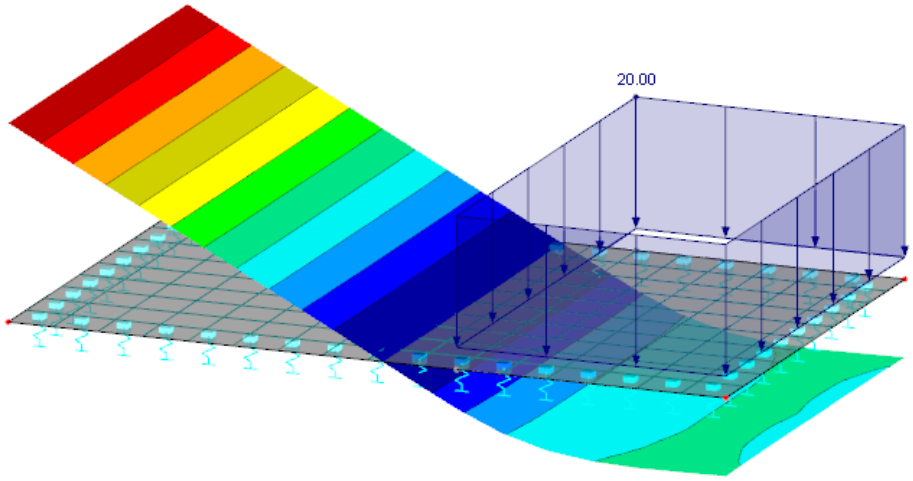
Pokud má proběhnout superpozice několika zatěžovacích stavů podle teorie II. nebo III. řádu nebo pokud konstrukce obsahuje nelineární prvky, lze tvořit výlučně kombinace zatížení. Důvod nám ozřejmí následující příklad:

Pružně uložená deska je zatížena dvěma zatěžovacími stavy: v prvním zatěžovacím stavu působí plošné zatížení na celou desku, v druhém zatěžovacím stavu pouze na její část. Vlastní tíha desky se nezohledňuje. Uložení desky je neúčinné v tahu, tzn. nepřenáší žádné odlehčující síly.



Obrázek 5.26 Zatížení a deformace v ZS 1

Uložení v prvním zatěžovacím stavu působí na celou plochu.

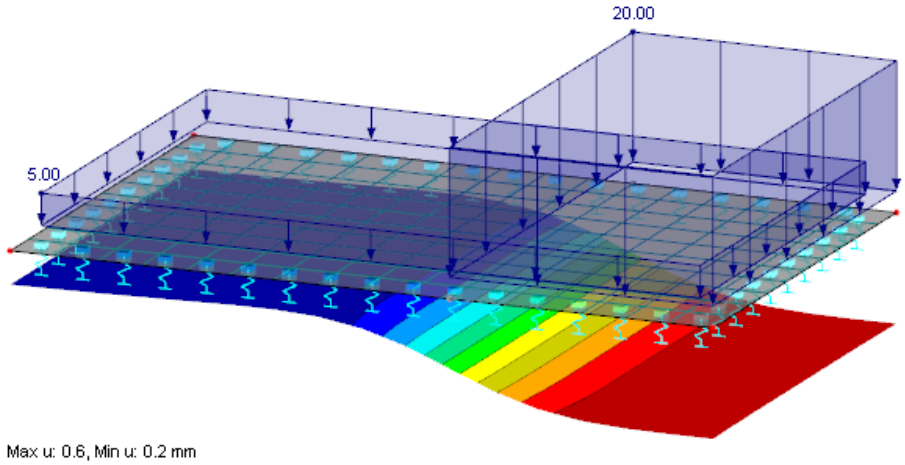


Obrázek 5.27 Zatížení a deformace v ZS 2

V druhém zatěžovacím stavu působí uložení pouze v pravé části desky, levá část desky je odlehčena.

Pokud oba zatěžovací stavy složíme do **kombinace výsledků**, zobrazí se varovná hláška, že sčítat výsledky není v tomto případě z důvodu nelinearit přípustné. deformace z obou zatěžovacích stavů se počítají pro rozdílné statické konstrukce. V případě kombinace výsledků by bylo možné pozorovat odlehčení v levé části desky z druhého zatěžovacího stavu.

Správným řešením je tak vytvoření superpozice v **kombinaci zatížení**. Z následujícího obrázku je zřejmé, že uložení je pro sečtená zatížení účinné.



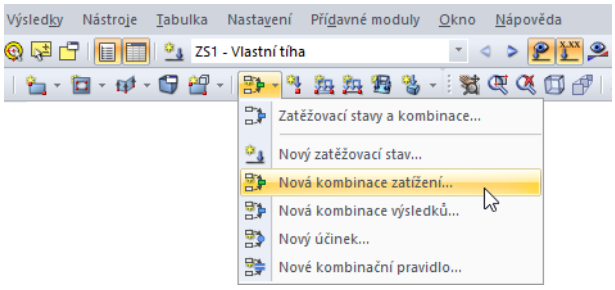
Obrázek 5.28 Zatížení a deformace v kombinaci zatížení

5.5.1 Kombinace zadané uživatelem

Vytvoření nové kombinace zatížení

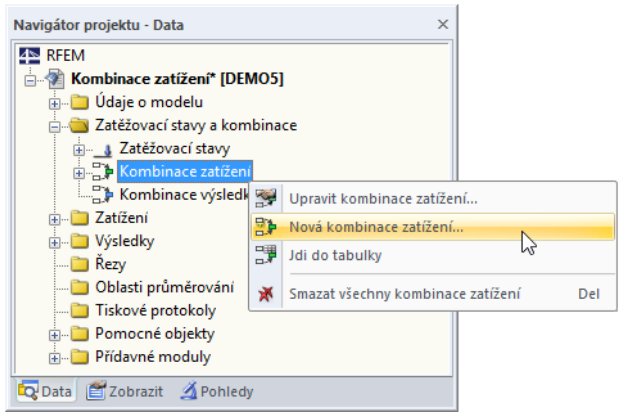
Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* k vytvoření nové kombinace zatížení lze vyvolat několika způsoby:

- z hlavní nabídky **Vložit → Zatěžovací stavy a kombinace → Kombinace zatížení...**
- kliknutím na tlačítko [Nová kombinace zatížení] v panelu nástrojů



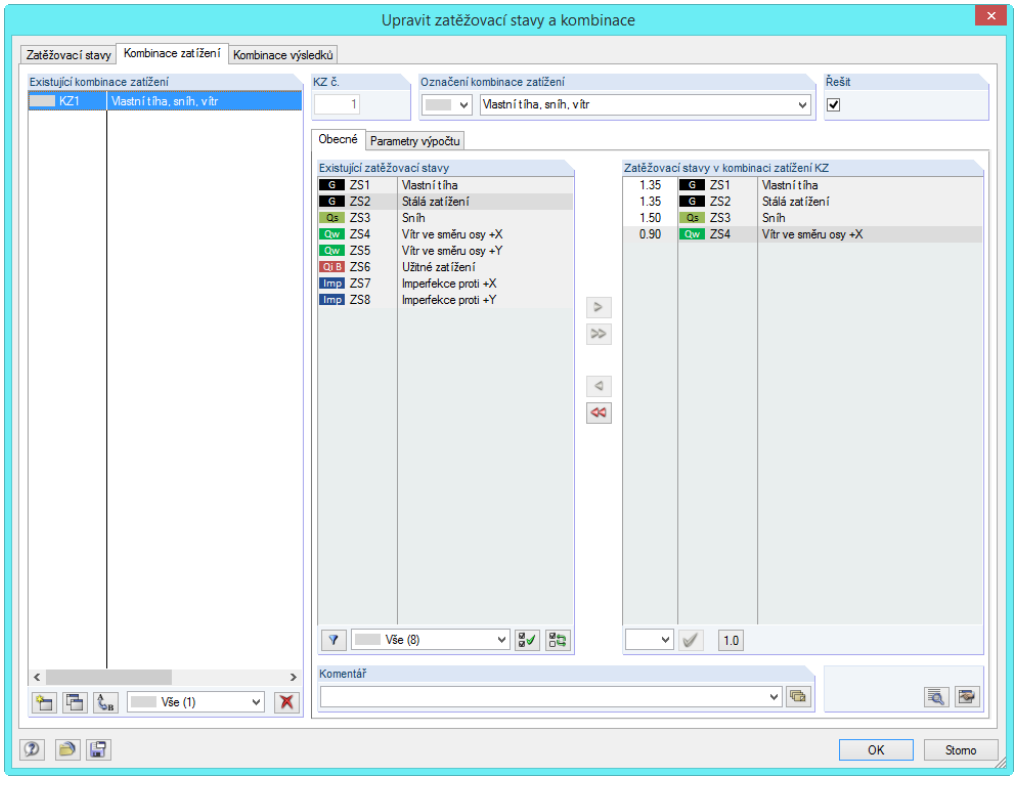
Obrázek 5.29 Tlačítko *Nová kombinace zatížení* v panelu nástrojů

- v navigátoru dat z místní nabídky položky *Kombinace zatížení*



Obrázek 5.30 Místní nabídka položky *Kombinace zatížení* v navigátoru Data

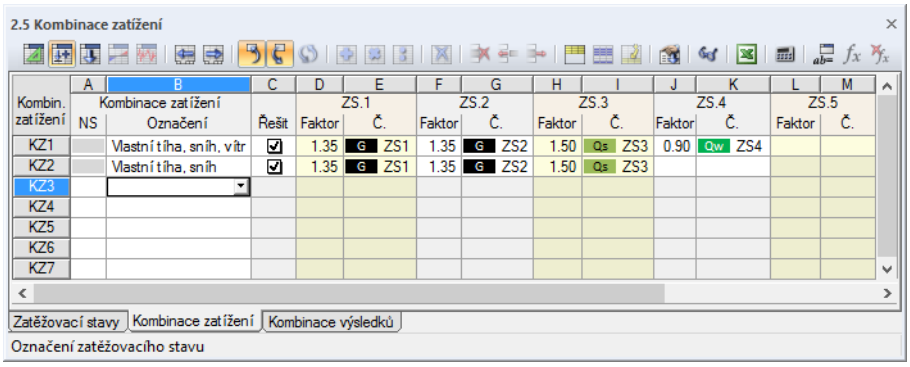
Zobrazí se dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*. V záložce *Kombinace zatížení* je předem nastavena nová kombinace zatížení.



Obrázek 5.31 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace zatížení*

Níže se budeme věnovat záložce *Obecné*. Záložku *Parametry výpočtu* popisujeme v kapitole 7.3.1.

- Novou kombinaci zatížení můžeme zadat také do volného řádku v tabulce 2.5 *Kombinace zatížení*.

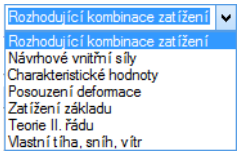


Obrázek 5.32 Tabulka 2.5 *Kombinace zatížení*

Kombinace zatížení č.

Číslo nové kombinace zatížení se vyplní automaticky v poli *KZ č.* Toto číslo ovšem může uživatel nahradit jiným číslem. Pořadí kombinací zatížení můžeme dodatečně upravovat po kliknutí na tlačítko [Přečíslovat vybrané kombinace zatížení...] v dialogu (viz tabulka 5.7 a kapitola 11.4.18).

Označení kombinace zatížení



Zadat lze libovolný název. Uživatel ho může buď vyplnit ručně nebo může vybrat některé označení ze seznamu. Ručně zadané položky se ukládají v seznamu a jsou k dispozici i v jiných modelech.

Řešit

Zaškrtnutí tohoto políčka znamená, že daná kombinace zatížení se bude při výpočtu uvažovat. Tímto způsobem můžeme některé kombinace zatížení z výpočtu vyřadit nebo naopak aktivovat.

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení

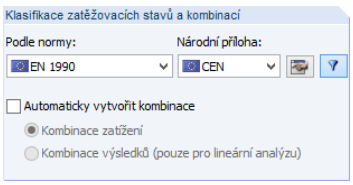
V těchto sloupcích se zobrazí zatěžovací stavy s příslušnými součiniteli.

Uvedené *faktory* vychází z hodnot, které předepisuje zvolená norma. V případě EN 1990 se jedná o dílčí součinitele spolehlivosti γ, kombinační součinitele ψ, redukční součinitele ξ a případně součinitele spolehlivosti K_{FI} každého účinku, které vyplývají z návrhové situace a kategorie účinku.

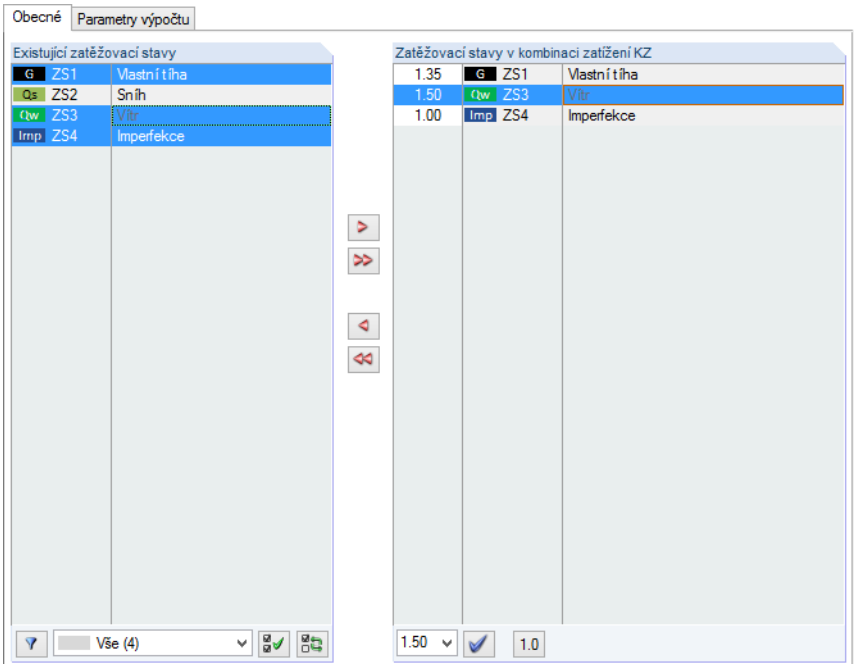
Dílčí a kombinační součinitele můžeme zkontrolovat a případně upravit po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...]. Otevře se dialog *Součinitele*, v němž jsou součinitele uspořádány do několika záložek. První záložku *Dílčí součinitele spolehlivosti* pro EN 1990 můžeme vidět na obr. 12.27. V záložce *Kombinační součinitele* se uvádí hodnoty součinitelů ψ a ξ (viz obr. 5.24). Součinitel spolehlivosti K_{FI} můžeme vybrat ze seznamu v záložce *Třída následků* nebo ho můžeme stanovit ručně.

Skládání zatěžovacích stavů do kombinací

V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* lze zatěžovací stavy zařadit do kombinace následovně: požadované zatěžovací stavy vybereme kliknutím myší v seznamu *Existující zatěžovací stavy*. Několikanásobný výběr je možný (jak je v OS Windows obvyklé) se stisknutou klávesou [Ctrl]. Tlačítkem > převedeme vybrané zatěžovací stavy do seznamu *Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení* vpravo a automaticky se k nim přiřadí i příslušné dílčí a kombinační součinitele.



Nastavení normy v dialogu *Model - základní údaje*



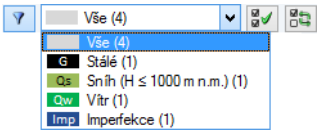
Obrázek 5.33 Několikanásobný výběr zatěžovacích stavů a kombinace zatížení vytvořená podle EN 1990

Součinitele se vytvoří v souladu s normou, kterou jsme zadali v dialogu *Model - základní údaje* (viz kapitola 12.2.1).

Předem nastavené součinitele lze zkontrolovat a případně upravit po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...] v dialogu *Součinitele* (viz obr. 5.24 a obr. 12.27).

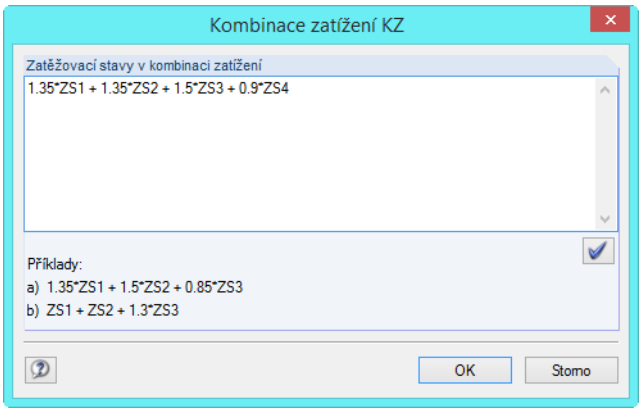
Pokud chceme upravit hodnotu součinitele některého zatěžovacího stavu, který jsme převedli do určité kombinace zatížení, musíme tento stav vybrat v seznamu *Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení*. Nyní můžeme ve vstupním poli níže uvést vhodný součinitel nebo ho vybereme ze seznamu. Po kliknutí na tlačítko [Nastavit faktor pro vybrané zatěžovací stavy] se k zatěžovacímu stavu přiřadí nový součinitel.

Pokud chceme určitý zatěžovací stav z kombinace zatížení odstranit, vybereme ho v dialogu v sekci *Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení*. Tlačítkem nebo dvojím kliknutím ho poté převedeme do sloupce *Existující zatěžovací stavy*.



V dolní části sekce *Existující zatěžovací stavy* jsou k dispozici možnosti filtrování. Díky nim lze snáze přiřazovat zatěžovací stavy podle jejich začlenění do kategorií účinků nebo vybírat z dosud nepřiřazených zatěžovacích stavů. Tlačítka popisujeme v tabulce 5.7.

Tlačítko [Upravit kombinaci zatížení pomocí textového pole...] v pravé dolní části slouží k ručnímu zadání kombinací zatížení ve zvláštním dialogu.



Obrázek 5.34 Dialog *Kombinace zatížení* pro zadání kombinace pomocí textového pole

Ve vstupním poli *Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení* lze sčítat (nebo případně také odečítat) zatěžovací stavy vynásobené libovolnými součiniteli. Vnořování není přípustné.

Příklad: ZS1 + 0,5*ZS3
K jednoduchému zatížení ze zatěžovacího stavu 1 se přičte polovina zatížení ze zatěžovacího stavu 3.

Po kliknutí na tlačítko [Nastavit zadání v tabulce] se zadané údaje převedou do seznamu *Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení* ve výchozím dialogu.

Komentář

Pro bližší popis kombinace zatížení tu může uživatel uvést vlastní poznámku nebo vybrat určitý komentář ze seznamu.

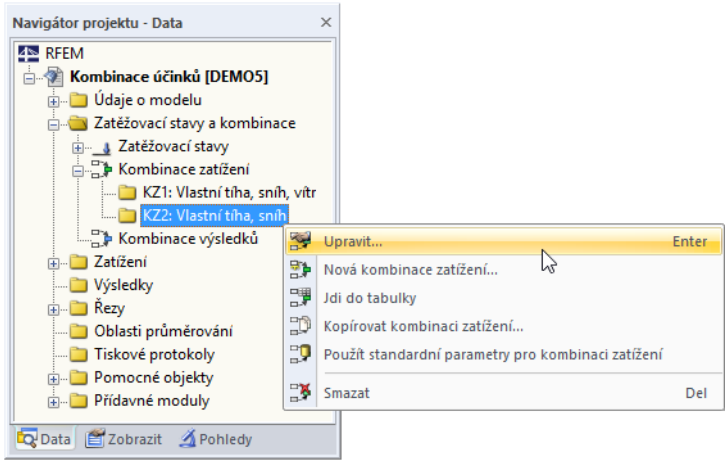
Parametry výpočtu

V záložce *Parametry výpočtu* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* lze nastavit různé parametry pro výpočet. Tyto parametry podrobně popisujeme v kapitole 7.3.1.

Úprava kombinace zatížení

Uživatel má několik možností, jak dodatečně upravovat kombinace zatížení:

- z hlavní nabídky **Úpravy → Zatěžovací stavy a kombinace → Kombinace zatížení...**
- z místní nabídky kombinace zatížení v navigátoru *Data* nebo dvojím kliknutím na příslušnou kombinaci



Obrázek 5.35 Místní nabídka kombinace zatížení

V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* (viz obr. 5.31) je třeba příslušnou kombinaci zatížení vybrat kliknutím myší. Následně můžeme upravit její zadávací kritéria.

Tlačítka

V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinacese* pod seznamem *Existující kombinace zatížení* a *Existující zatěžovací stavy* zobrazí několik tlačítek. Mají následující význam:

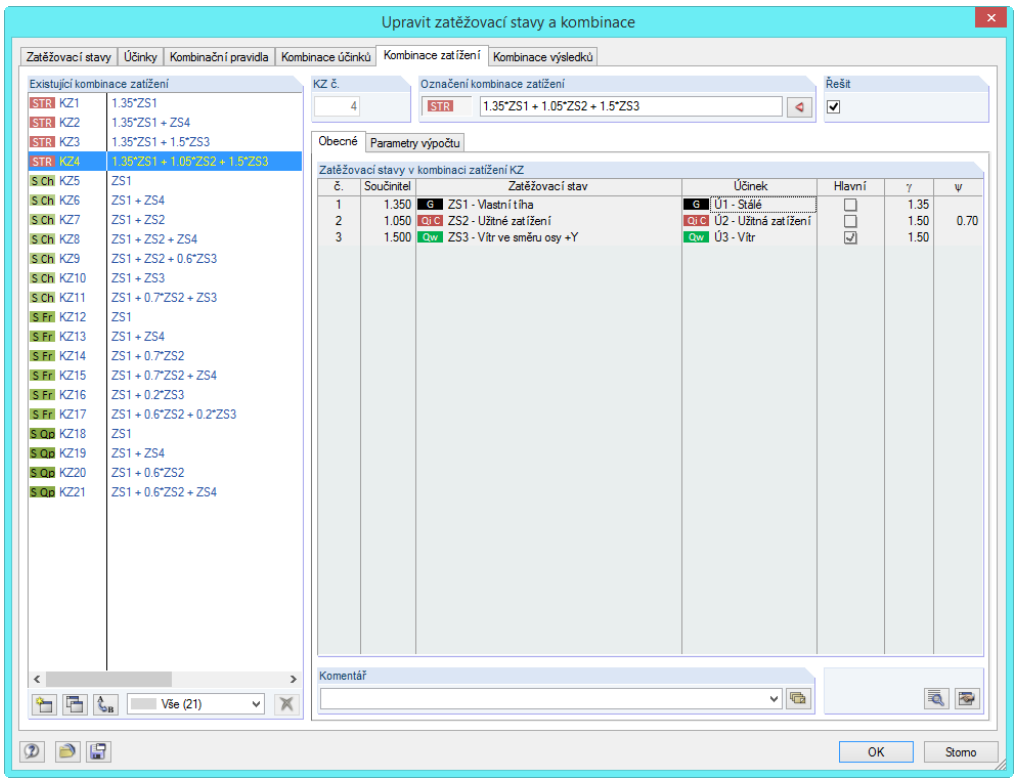
	Vytvoří novou kombinaci zatížení.
	Vytvoří novou kombinaci zatížení kopírováním vybrané kombinace.

	Vybraná kombinace zatížení se přečísluje. Nové číslo je třeba zadat ve zvláštním dialogu. Uvedené číslo nesmí mít žádná dříve zadaná kombinace zatížení.
	Slouží ke smazání vybrané kombinace zatížení.
	V seznamu se zobrazí pouze zatěžovací stavy, které ještě nejsou obsaženy v kombinaci zatížení.
	Slouží k výběru všech zatěžovacích stavů v seznamu.
	Obrátí výběr zatěžovacích stavů.

Tabulka 5.7 Tlačítka v záložce *Kombinace zatížení*

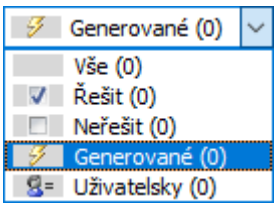
5.5.2 Vygenerované kombinace

Pokud přepneme do záložky *Kombinace zatížení* v dialogu, resp. do tabulky 2.5, kombinace se automaticky vytvoří. Vzhledem k tomu, že zatěžovací stavy nebyly složeny do kombinace ručně, zobrazí se záložka *Obecné* v obměněné podobě (viz obr. 5.31, pro případ uživatelsky zadaných kombinací).



Obrázek 5.36 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace zatížení*

Kombinace zatížení č.



Kombinace zatížení vygenerované na základě kombinací účinků se číslují průběžně.

V levé dolní části dialogu v sekci *Existující kombinace zatížení* lze vygenerované kombinace filtrovat podle různých kritérií.

Označení kombinace zatížení

RFEM kombinacím zadává krátká označení, která vychází ze součinitelů spolehlivosti a z čísel jednotlivých zatěžovacích stavů a která jsou vyjádřením kombinačních pravidel. Označení lze v případě potřeby upravovat.

Pomocí tlačítka v dialogu se můžeme rychle přesunout zpět do záložky *Kombinace účinků* (viz kapitola 5.4). V dané záložce je již vybrána kombinace účinků, podle níž se vytvořila aktuálně zvolená kombinace zatížení.

Řešit

Zaškrtnutí daného políčka znamená, že se pro vybranou spočítají výsledky.

Zatěžovací stavy v kombinaci zatížení

V těchto sloupcích se zobrazí zatížení s příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti a kombinačními součiniteli. Součinitele vygenerovaných kombinací nelze měnit.

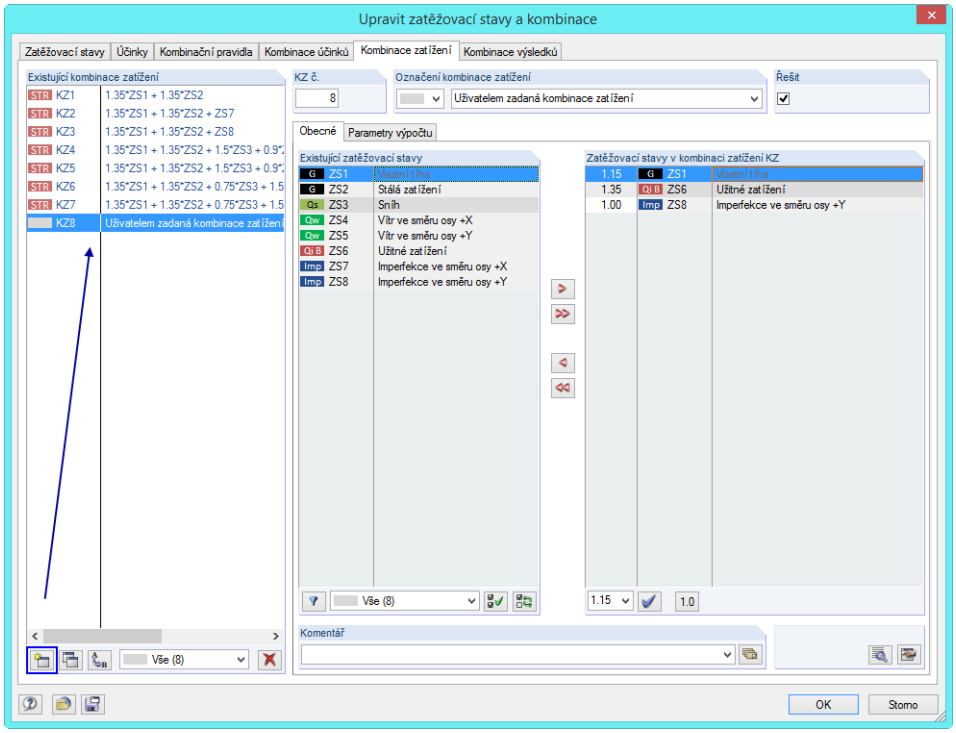
Pokud se některý zatěžovací stav v kombinaci považuje za *hlavní*, je také v tomto dialogu odpovídajícím způsobem označen.

Po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...] můžeme zkontrolovat a případně upravit dílčí a kombinační součinitele. Dialog *Součinitele* je uspořádán do několika záložek (viz obr. 12.27 a obr. 5.24).

Přidání kombinace zatížení

Vygenerované kombinace zatížení nelze upravovat, můžeme je pouze smazat nebo vyloučit z výpočtu odškrtnutím políčka *Řešit*.

Tlačítko [Vytvořit novou kombinaci zatížení...] v levé dolní části sekce *Existující kombinace zatížení* (viz obr. 5.37) umožňuje připojit na seznam kombinací novou, uživatelem zadanou kombinaci zatížení. Pro ruční zadání se vzhled záložky *Obecné* upraví.



Obrázek 5.37 Přidání uživatelsky zadané kombinace zatížení

V kapitole 5.5.1 podrobně popisujeme, jak lze kombinace zatížení ručně vytvářet.

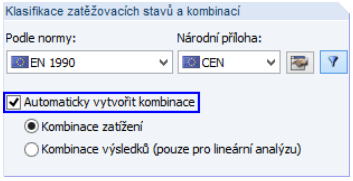
5.6 Kombinace výsledků

Obecný popis

Rozdíl mezi kombinací zatížení a kombinací výsledků

Kombinace zatížení (**KZ**) představují jednu z možností, jak spolu skládat jednotlivé zatěžovací stavy. Druhou možností je tvoření kombinací výsledků (**KV**).

V případě kombinace výsledků se nejdříve spočítají účinky jednotlivých zatěžovacích stavů. Výsledky se pak skládají do kombinací s uvážením dílčích součinitelů spolehlivosti. Naproti tomu kombinace zatížení (viz kapitola 5.5) vzniká součtem vybraných zatěžovacích stavů, vynásobených příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti, čímž se vytvoří jeden „velký zatěžovací stav“, který se potom spočítá.



Zaškrtávací políčko v dialogu *Model - základní údaje*

Zatěžovací stavy lze skládat do kombinací ručně (viz kapitola 5.6.1) nebo automaticky v programu RFEM (viz kapitola 5.7). Závisí na nastavení v dialogu *Model - základní údaje* (viz obr. 12.23). Dané nastavení se odrazí i na vzhledu záložky *Kombinace výsledků* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*.

Kombinace výsledků nejsou vhodné pro nelineární výpočty, neboť mohou vést k nesprávným výsledkům. K výpadku nelineárních prvků (např. tahových prutů, podloží) dochází v jednotlivých zatěžovacích stavech většinou odlišně. Vnitřní síly těchto prvků tak nelze správně kombinovat. Navíc dochází v celém modelu k redistribuci sil (viz příklad v kapitole 5.5).

Do kombinace výsledků lze skládat výsledky zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a také jiných kombinací výsledků.

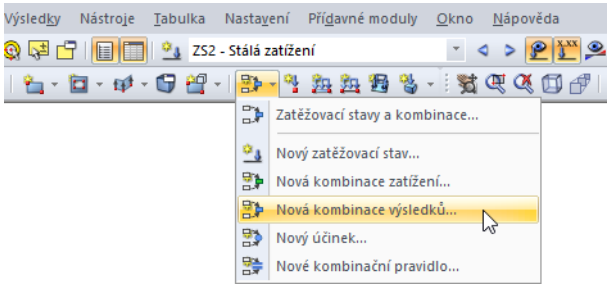
Obvykle se vnitřní síly sčítají. Nicméně v zásadě je možné je i odečítat. Je však třeba si uvědomit, že se při tom obrátí znaménka, takže např. tahové síly se změní v tlakové síly. V případě odečítání vnitřních sil tak doporučujeme zkopírovat příslušný zatěžovací stav (viz kapitola 5.1) a v kopii zatěžovacího stavu nastavit v záložce *Parametry výpočtu* součinitel zatížení na −1,00. Tento zatěžovací stav se následně přičte do kombinace výsledků.

5.6.1 Kombinace zadané uživatelem

Vytvoření nové kombinace výsledků

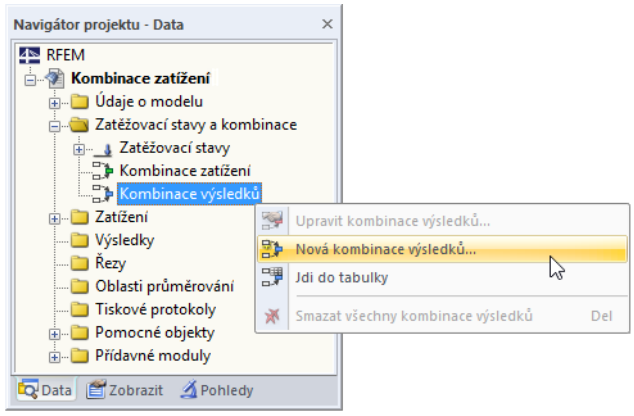
Uživatel může vyvolat dialog k založení nové kombinace výsledků několika způsoby:

- z hlavní nabídky **Vložit** → **Zatěžovací stavy a kombinace** → **Kombinace výsledků...**
- kliknutím na tlačítko [Nová kombinace výsledků] v panelu nástrojů



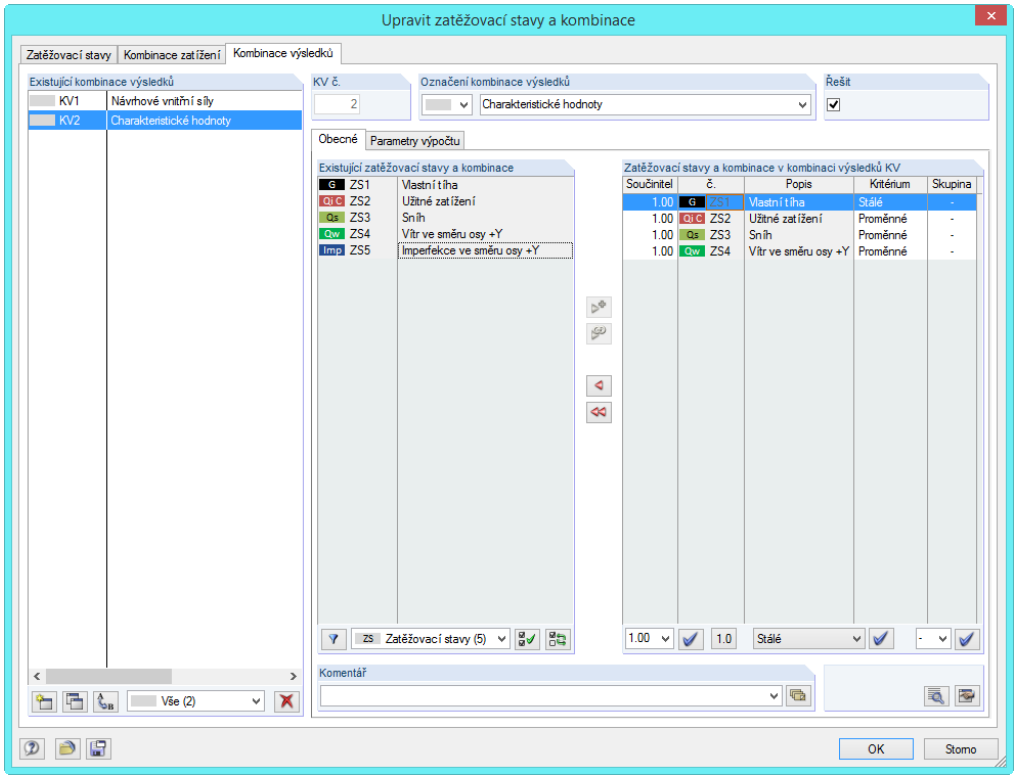
Obrázek 5.38 Tlačítko *Nová kombinace výsledků* v panelu nástrojů

- v navigátoru dat z místní nabídky položky *Kombinace výsledků*



Obrázek 5.39 Místní nabídka položky *Kombinace výsledků* v navigátoru Data

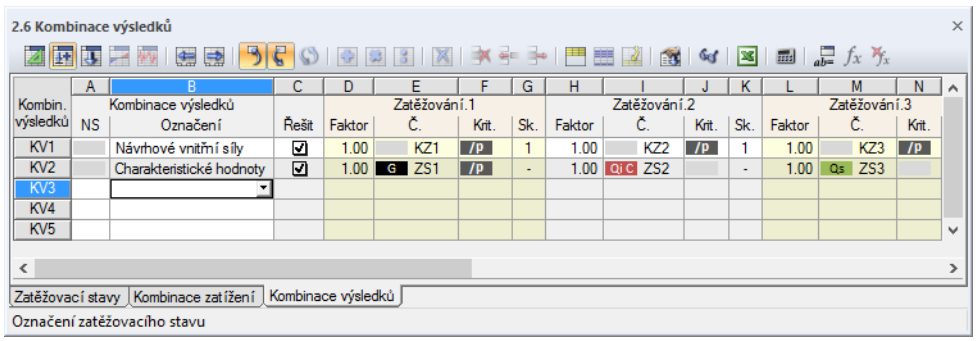
Zobrazí se dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*. V záložce *Kombinace výsledků* je předem nastavena nová kombinace výsledků.



Obrázek 5.40 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace výsledků*

Níže se budeme věnovat záložce *Obecné*. Záložku *Parametry výpočtu* popisujeme v kapitole 7.3.2.

- Novou kombinaci výsledků můžeme zadat také do volného řádku v tabulce 2.6 *Kombinace výsledků*.

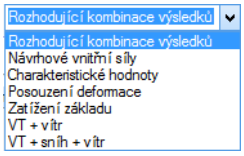


Obrázek 5.41 Tabulka 2.6 *Kombinace výsledků*

Kombinace výsledků č.

Číslo nové kombinace výsledků se vyplní automaticky v poli *KV č.* Toto číslo ovšem může uživatel nahradit jiným číslem. Pořadí kombinací výsledků můžeme dodatečně upravovat po kliknutí na tlačítko [Přečíslovat vybrané kombinace výsledků...] v dialogu (viz tabulka 5.8 a kapitola 11.4.18).

Označení kombinace výsledků



Zadat lze libovolný název. Uživatel ho může buď vyplnit ručně nebo může vybrat některé označení ze seznamu. Ručně zadané položky se ukládají v seznamu a jsou k dispozici i v jiných modelech.

Řešit

Zaškrtnutí tohoto políčka znamená, že daná kombinace výsledků se bude při výpočtu uvažovat. Tímto způsobem můžeme některé kombinace výsledků z výpočtu vyřadit nebo opět aktivovat.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků

V těchto sloupcích se zobrazí zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků s příslušnými součiniteli.

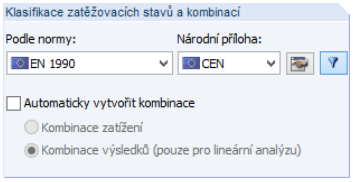
Uvedené *faktory* vychází z hodnot, které předepisuje zvolená norma. V případě EN 1990 se jedná o dílčí součinitele spolehlivosti γ, kombinační součinitele ψ, redukční součinitele ξ a případně součinitele spolehlivosti K_{FI} každého účinku, které vyplývají z návrhové situace a kategorie účinku.

Dílčí a kombinační součinitele podle normy můžeme zkontrolovat a případně upravit po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...]. Otevře se dialog *Součinitele*, v němž jsou součinitele uspořádány do několika záložek. První záložku *Dílčí součinitele spolehlivosti* pro EN 1990 můžeme vidět na obr. 12.27. V záložce *Kombinační součinitele* se uvádí hodnoty součinitelů ψ a ξ (viz obr. 5.24). Součinitel spolehlivosti K_{FI} můžeme vybrat ze seznamu v záložce *Třída následků* nebo ho můžeme stanovit ručně.

Skládání zatížení do kombinací výsledků

Postup skládání zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků do dalších kombinací v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* je následovný: požadované položky vybereme kliknutím myší v seznamu *Existující zatěžovací stavy a kombinace*. Několikanásobný výběr je možný (jak je v OS Windows obvyklé) se stisknutou klávesou [Ctrl] (viz obr. 5.42). Pomocí tlačítek a převedeme vybrané položky do seznamu *Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků* vpravo.

Obrázek 5.42 Několikanásobný výběr pro alternativní posouzení dvou zatěžovacích stavů



Nastavení normy v dialogu *Nový model - základní údaje*

Součinitele se dosazují v souladu s normou, kterou jsme zadali v dialogu *Model - základní údaje*. V případě potřeby lze předem nastavené hodnoty dílčích součinitelů spolehlivosti (viz kapitola 12.2.1) upravit po kliknutí na tlačítko [Upravit nastavení].

Pokud chceme určité zatížení z kombinace výsledků odstranit, vybereme ho v dialogu v sekci *Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků*. Tlačítkem nebo dvojím kliknutím ho poté převedeme zpět do sloupce *Existující zatěžovací stavy a kombinace*.

U zatěžovacích stavů, kombinací zatížení nebo jiných kombinací výsledků, které se mají do vytvářené kombinace zahrnout, se zohlední charakter jejich působení. Nastavit lze následující možnosti:

- **Kritérium zatížení**
  - Stálé

    Pokud má být zatížení stálou nebo bezpodmínečně nutnou složkou kombinace, nastavíme u něj kritérium na *stálé*, resp. /s.
  - Proměnné

    zatížení *Kritérium* vstupuje do kombinace pouze v případě, že jeho vnitřní síly nepříznivě ovlivní výsledek.

Kritérium superpozice

- Kombinace „+“

  Výsledky zatížení se v kombinaci s kritériem „+“ sčítají. V dialogu slouží tlačítko k převedení označených zatěžovacích stavů, kombinací zatížení či kombinací výsledků na seznam zatížení, která daná kombinace bude zahrnovat.

- Alternativní kombinace

  Pokud mezi zatížení v kombinaci místo výrazu „+“ vložíme kritérium „nebo“, resp. „o“, pak se výsledky daných zatížení nesčítají, ale navzájem se vylučují. Do výsledku se zahrnou pouze hodnoty zatížení s největšími nepříznivými účinky. V dialogu lze vybraná zatížení převést tlačítkem na seznam zatížení, která kombinace výsledků obsahuje.

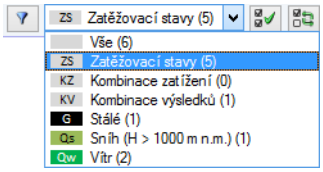
  Alternativně působící zatížení jsou ve sloupci *Skupina* označena stejným číslem.

  Kritérium „orto“ (anglicky „nebo až“) platí pro seznam alternativně působících zatížení od první jmenované po poslední položku. Položky, které se mezi nimi nacházejí, nejsou uvedeny.

  Zatížení v alternativním vztahu musí být jednotně označena jako ‚stálá‘ nebo ‚proměnná‘. Nepřípustné je tak např. „ZS1/s nebo ZS2“.

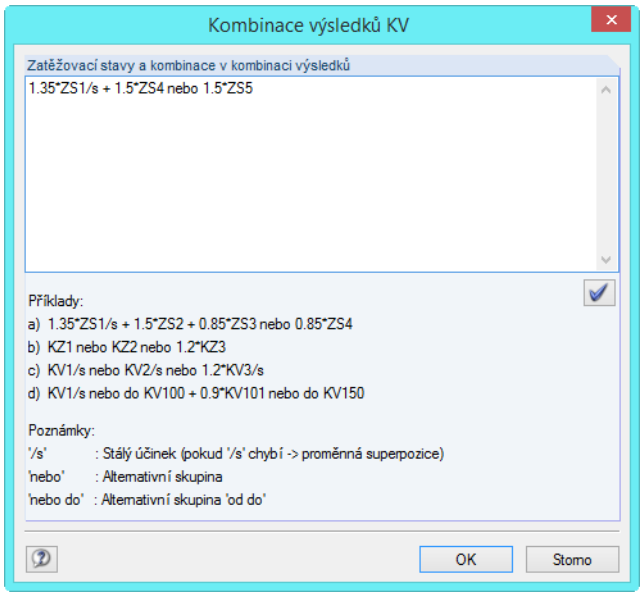
Součinitele můžeme u jednotlivých převedených zatížení upravovat: myší vybereme zatížení v seznamu *Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků* a následně ve vstupním políčku níže uvedeme vhodný součinitel nebo ho vybereme ze seznamu. Po kliknutí na tlačítko [Nastavit faktor na vybraný] se nový součinitel přiřadí k příslušnému zatížení.

Obdobně lze dodatečně upravit kritérium zatížení (stálé nebo proměnné působení) nebo také příslušnost do skupiny. Nové kritérium se přiřadí k vybranému zatížení po kliknutí na tlačítko [Nastavit kritérium na vybrané].



V dolní části sekce *Existující zatěžovací stavy a kombinace* jsou k dispozici možnosti filtrování. Díky nim je výběr položek snazší, protože umožňují zobrazit pouze zatěžovací stavy nebo kombinace zatížení či kombinace výsledků, případně pouze zatížení z určité kategorie účinků. Uživatel má dále možnost omezit seznam pouze na dosud nepřiřazená zatížení. Tlačítka popisujeme v tabulce 5.8.

Tlačítko [Upravit kombinaci výsledků pomocí textového pole...] v pravé dolní části slouží k ručnímu zadání kombinací výsledků ve zvláštním dialogu.



Obrázek 5.43 Dialog *Kombinace výsledků* pro zadání kombinace pomocí textového pole

Ve vstupním poli *Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků* lze sčítat, popř. spojovat výrazem „nebo“ zatěžovací stavy násobené libovolnými součiniteli. Vnořování není přípustné.

Příklady:

- **ZS1/s + ZS2/s + ZS3**

  Zatěžovací stavy 1 a 2 vstupují do kombinace jako stálé, zatímco zatěžovací stav 3 jako proměnný.

- **ZS1/s + KZ2 + ZS3 nebo ZS4 nebo ZS5** (lze zapsat také jako **ZS1/s + KZ2 + ZS3 nebo až ZS5**)

  Zatěžovací stav 1 je stálou složkou kombinace, kombinace zatížení 2 proměnnou. Účinky zatěžovacích stavů 3, 4 a 5 jsou také proměnné, přičemž do kombinace se zahrne působení pouze jednoho z nich - zatěžovacího stavu s nejméně příznivými účinky.

- **1,2KZ1/s + 0,2KV1 nebo -0,2KV1**

  Kombinace zatížení 1 vynásobená součinitelem 1,2 je stálou složkou kombinace. Sečte se s kombinací výsledků 1 vynásobenou buď kladným nebo záporným součinitelem 0,2.

- **KV1/s nebo KV2/s nebo KV3/s nebo KV4/s** (odpovídá **KV1/s nebo až KV4/s**)

  Kombinace výsledků 1 až 4 jsou stálé a budou se porovnávat mezi sebou. Výsledkem výpočtu bude nejméně příznivá obálka hodnot.

Po kliknutí na tlačítko [Nastavit zadání v tabulce] se zadané údaje převedou do seznamu *Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků* ve výchozím dialogu.

Komentář

Pro bližší popis kombinace výsledků tu může uživatel uvést vlastní poznámku nebo vybrat určitý komentář ze seznamu.

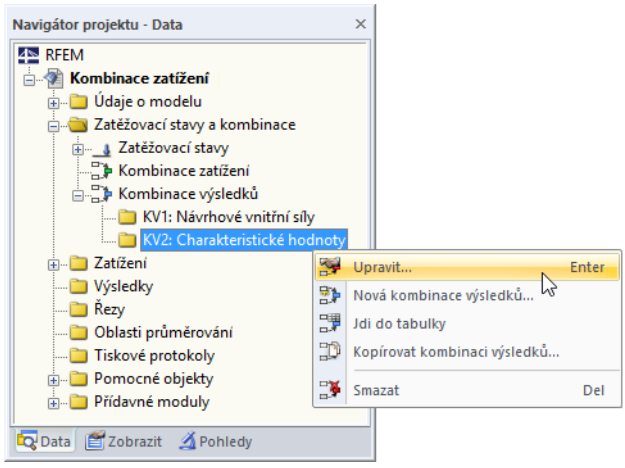
Parametry výpočtu

V záložce *Parametry výpočtu* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* lze nastavit různé parametry pro výpočet. Tyto parametry podrobně popisujeme v kapitole 7.3.1.

Úprava kombinace výsledků

Uživatel má několik možností, jak dodatečně upravovat kombinace výsledků:

- z hlavní nabídky **Úpravy → Zatěžovací stavy a kombinace → Kombinace výsledků...**
- z místní nabídky kombinace výsledků v navigátoru *Data* nebo dvojím kliknutím na příslušnou kombinaci



Obrázek 5.44 Místní nabídka kombinace výsledků

V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* (viz obr. 5.40) je třeba příslušnou kombinaci

výsledků vybrat kliknutím myší. Následně můžeme upravit její zadávací kritéria.

Tlačítka

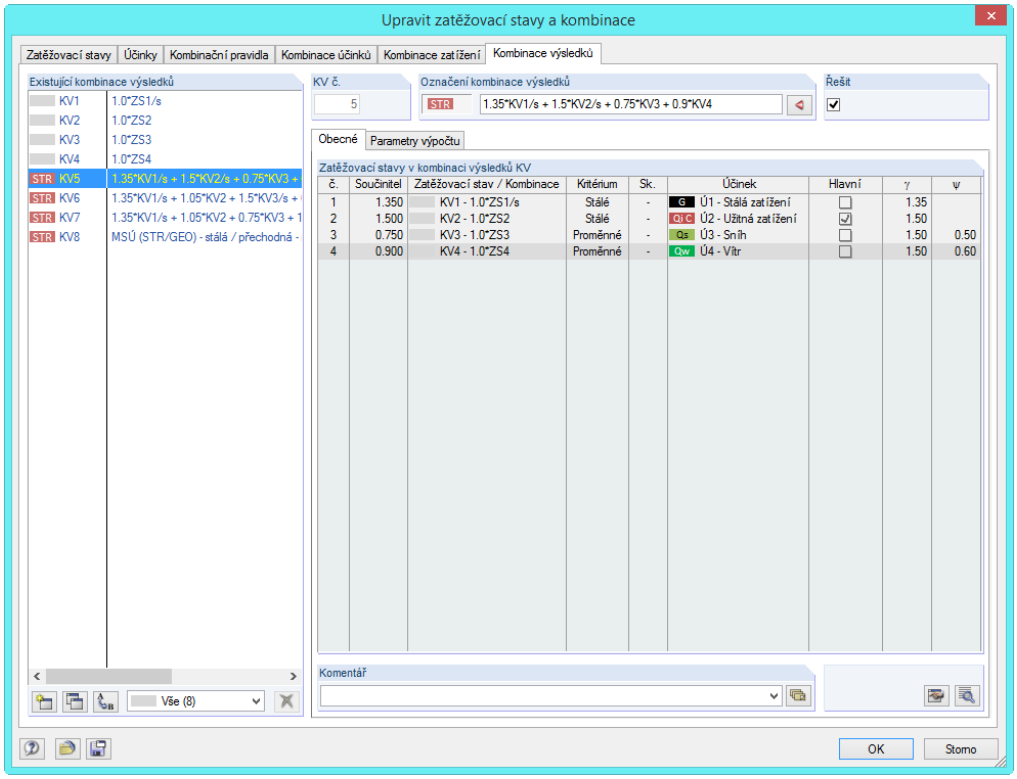
V dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* se nachází pod seznamy *Existující kombinace výsledků* a *Existující zatěžovací stavy a kombinace* několik tlačítek. Mají následující funkce:

	Vytvoří novou kombinaci výsledků.
	Vytvoří novou kombinaci výsledků zkopírováním vybrané kombinace.
	Vybrané kombinaci výsledků se přidá nové číslo, které se musí zadat v dialogu. Uvedené číslo nesmí mít žádná dříve zadaná kombinace výsledků.
	Slouží ke smazání vybrané kombinace výsledků.
	V seznamu se zobrazí pouze zatěžovací stavy, které ještě nejsou obsaženy v kombinaci výsledků.
	Slouží k výběru všech zatěžovacích stavů v seznamu.
	Obrátí výběr zatěžovacích stavů.

Tabulka 5.8 Tlačítka v záložce *Kombinace výsledků*

5.6.2 Vygenerované kombinace

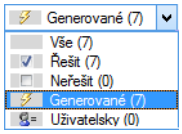
Pokud přepneme do záložky *Kombinace výsledků* v dialogu, resp. do tabulky 2.6, kombinace se automaticky vytvoří. Vzhledem k tomu, že zatěžovací stavy nebyly složeny do kombinace ručně, zobrazí se záložka *Obecné* v obměněné podobě (viz obr. 5.40, pro případ uživatelsky zadaných kombinací).



Obrázek 5.45 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace výsledků*

Kombinace výsledků

Kombinace výsledků vytvořené na základě kombinací účinků se číslují průběžně.



V levé dolní části dialogu v sekci *Existující kombinace výsledků* lze vygenerované kombinace filtrovat podle různých kritérií.

Označení kombinace výsledků

RFEM kombinacím zadává krátká označení, která vychází ze součinitelů spolehlivosti a z čísel jednotlivých zatěžovacích stavů a která jsou vyjádřením kombinačních pravidel. Označení lze v případě potřeby upravovat.

Pomocí tlačítka v dialogu se můžeme rychle přesunout zpět do záložky *Kombinace účinků* (viz kapitola 5.4). V dané záložce je již vybrána kombinace účinků, podle níž se vytvořila aktuálně zvolená kombinace výsledků.

Řešit

Zaškrtnutí daného políčka znamená, že se pro kombinaci vybranou v sekci *Existující kombinace výsledků* spočítají výsledky.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků

V těchto sloupcích se zobrazí zatížení s příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti a kombinačními součiniteli. Součinitele vygenerovaných kombinací nelze měnit.

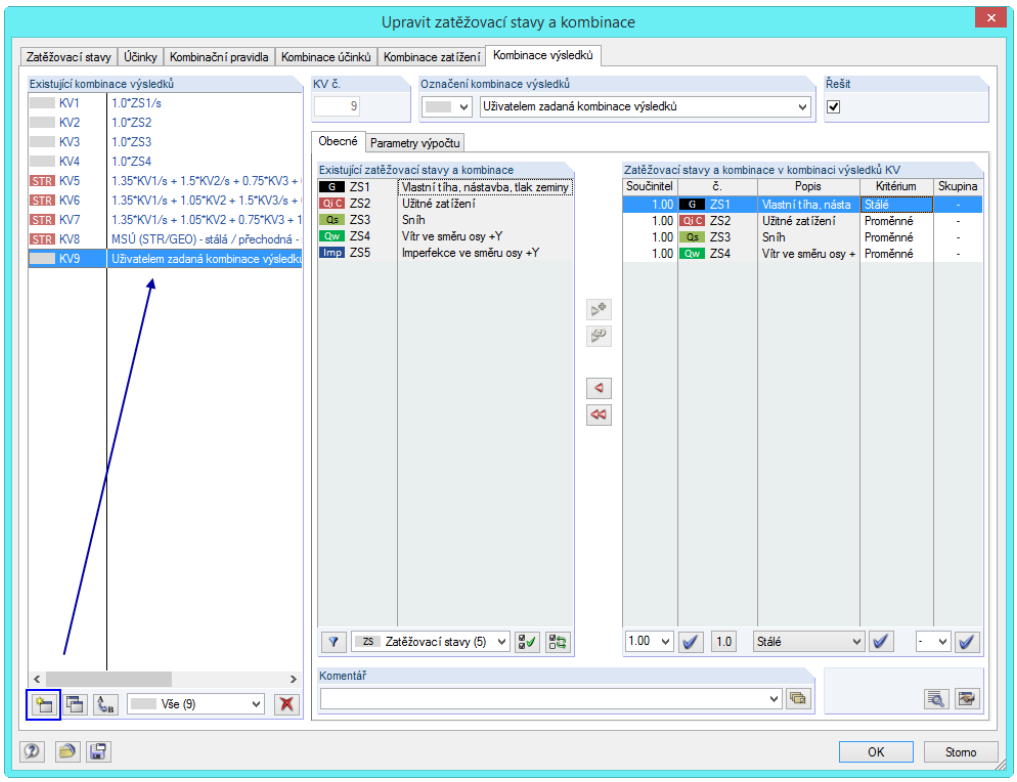
Pokud se některý zatěžovací stav v kombinaci považuje za *hlavní*, je také v tomto dialogu odpovídajícím způsobem označen.

Po kliknutí na tlačítko [Kombinační součinitele...] můžeme zkontrolovat a případně upravit dílčí a kombinační součinitele. Dialog *Součinitele* je uspořádán do několika záložek (viz obr. 12.27 a obr. 5.24).

Přidání kombinace výsledků

Vygenerované kombinace výsledků nelze upravovat, můžeme je pouze smazat nebo vyloučit z výpočtu odškrtnutím políčka *Řešit*.

Tlačítko [Vytvořit novou kombinaci výsledků] v levé dolní části sekce *Existující kombinace výsledků* umožňuje připojit na seznam kombinací novou, uživatelem zadanou kombinaci výsledků. Pro ruční zadání kombinace se vzhled záložky *Obecné* upraví.



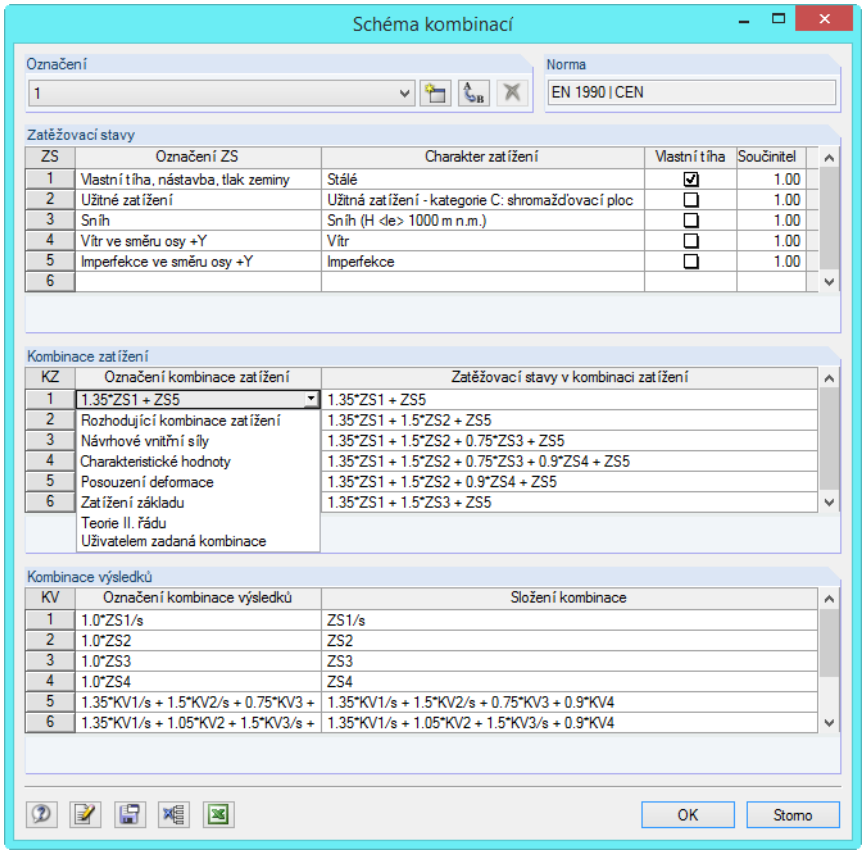
Obrázek 5.46 Přidání uživatelsky zadané kombinace výsledků

V kapitole 5.6.1 podrobně popisujeme, jak lze kombinace výsledků ručně vytvářet.

5.7 Schéma kombinací

Kombinace lze vytvářet a ukládat jako *schémata kombinací* do databáze pro jejich pozdější použití. Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje → Schéma kombinací...



Obrázek 5.47 Dialog *Schéma kombinací*

V sekci *Označení* vybereme kombinační schéma ze seznamu nebo vytvoříme nové schéma pomocí tlačítka [Vytvořit nové schéma kombinací...].

Pokud jsme v daném modelu již zadali zatěžovací stavy, zobrazí se v sekci *Zatěžovací stavy*. Další zatěžovací stavy lze doplnit tak, že poslední políčko v daném seznamu potvrdíme klávesou [Enter] nebo [Tab]. Ve sloupci pro *označení ZS* můžeme vybrat i některý předem zadaný název ze seznamu.

Složení jednotlivých kombinací zatížení a kombinací výsledků se uvádí v příslušných sekcích (viz kapitola 5.5 a kapitola 5.6).

Kliknutím na tlačítko uložíme kombinační schéma. Pomocí tlačítka je možné vytvořit zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků.

Dále nezapomeneme zadat v RFEMu ještě příslušná zatížení. Kombinační schéma představuje jen jakousi osnovu zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků.

V dalších modelech, které se opírají o stejné kombinační schéma, lze všechny zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků vygenerovat bez nutnosti zadávat další vstupní údaje: otevřeme opět tento dialog, vybereme v seznamu v sekci *Označení* příslušné schéma a převezmeme ho kliknutím na tlačítko [OK].

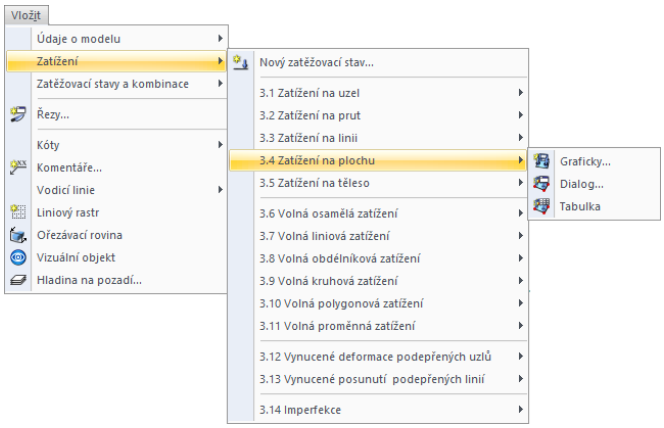
6 Zatížení

Stejně jako v případě zadávání dat o konstrukci nabízí RFEM i pro definování zatížení několik možností. Zatížení tak lze zadávat v **dialogu**, v **tabulce** a často také přímo v **grafickém okně**.

Otevření vstupního dialogu

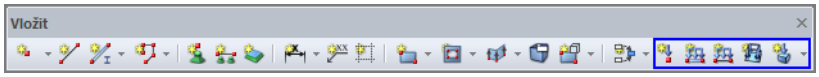
Vstupní dialogy a grafické zadání lze vyvolat různými způsoby.

Hlavní nabídka *Vložit*



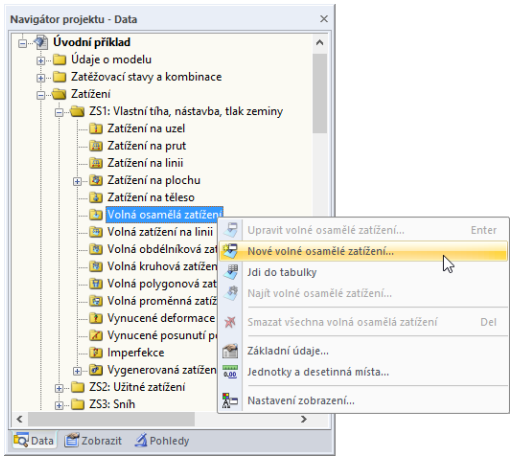
Obrázek 6.1 Hlavní nabídka *Vložit* → *Zatížení*

Panel nástrojů *Vložit*



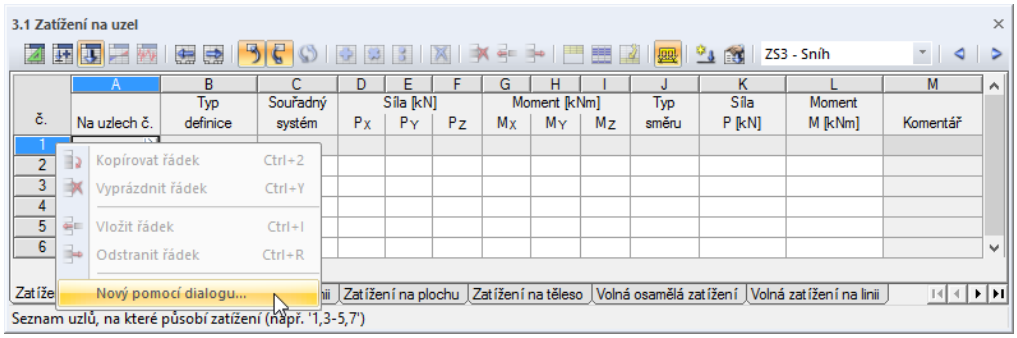
Obrázek 6.2 Panel nástrojů *Vložit*

Místní nabídka v navigátoru *Data*



Obrázek 6.3 Místní nabídka zatížení v navigátoru *Data*

Místní nabídka položek v tabulce nebo dvojí kliknutí na ně



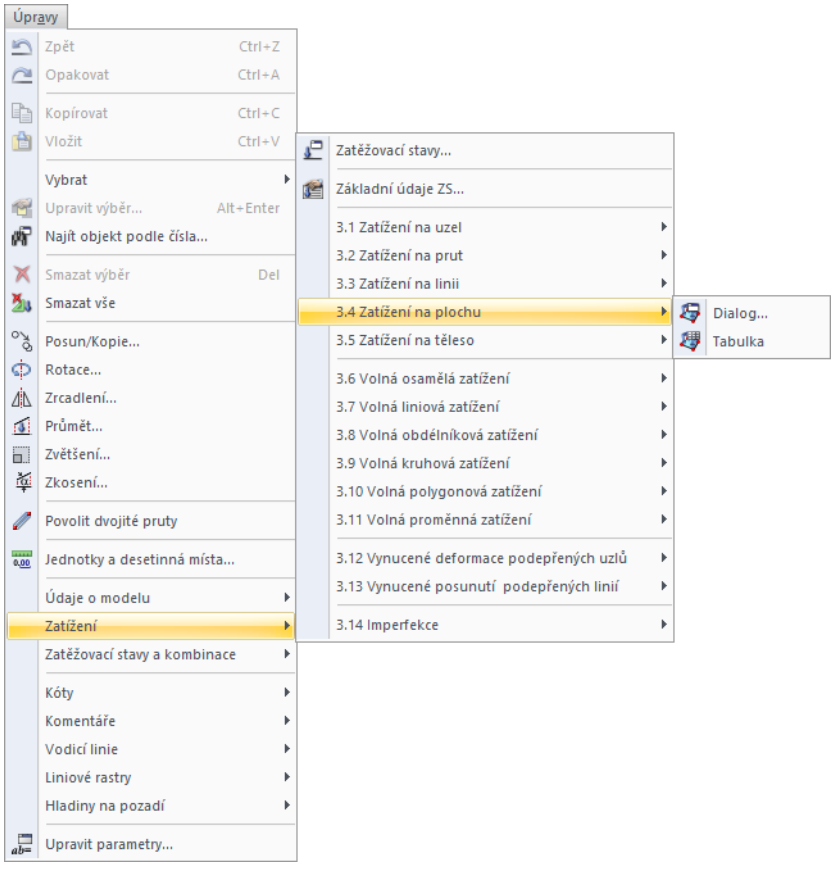
Obrázek 6.4 Místní nabídka v tabulkách s údaji o zatížení

Vstupní dialog lze otevřít z místní nabídky čísel řádků v tabulce nebo dvojím kliknutím na ně.

Otevření dialogu pro úpravu dat

Program nabízí různé možnosti, jak otevřít dialog pro úpravu zatížení.

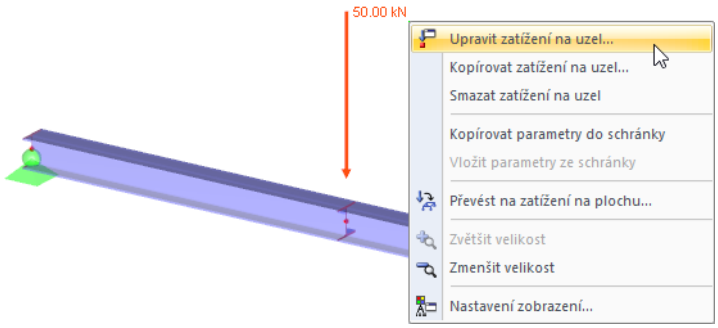
Hlavní nabídka *Úpravy*



Obrázek 6.5 Hlavní nabídka *Úpravy* → *Zatížení*

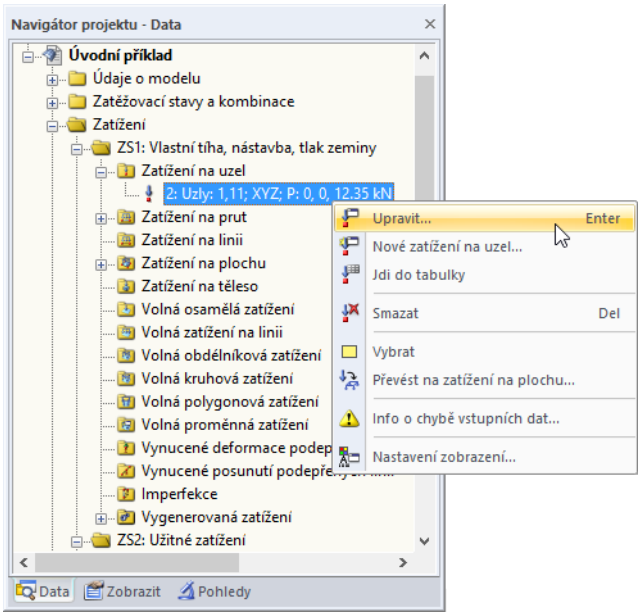
Volba *Dialog...* je k dispozici pouze v případě, že jsme zatížení předem vybrali.

Místní nabídka objektů v grafickém okně nebo dvojí kliknutí na ně



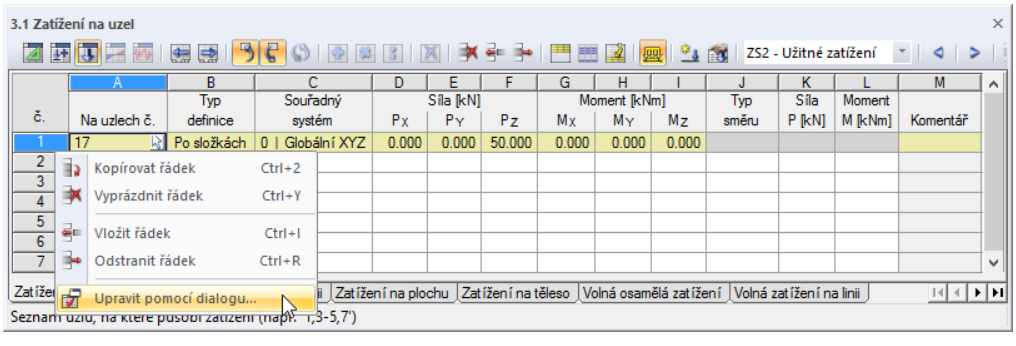
Obrázek 6.6 Místní nabídka zatížení v pracovním okně

Místní nabídka položek v navigátoru *Data* nebo dvojí kliknutí na ně



Obrázek 6.7 Místní nabídka jednotlivých zatížení v navigátoru *Data*

Místní nabídka položek v tabulce nebo dvojí kliknutí na ně

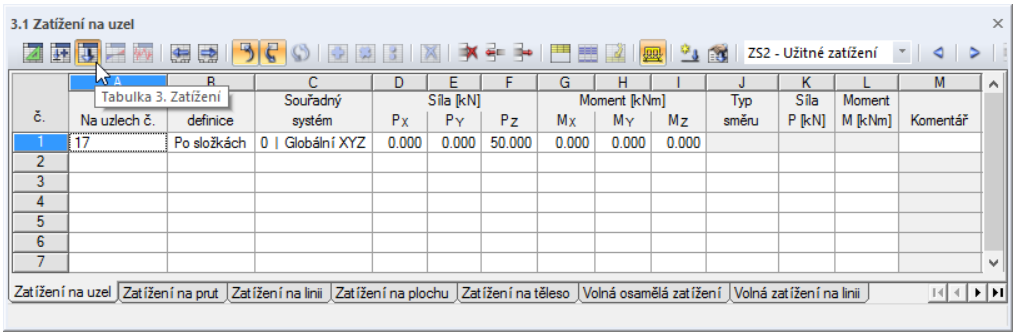


Obrázek 6.8 Místní nabídka v tabulkách s údaji o zatížení

Dialog pro úpravu dat lze otevřít z místní nabídky čísel řádků v tabulce nebo dvojím kliknutím na ně.

Zadání v tabulkách

Vstupy a změny provedené v grafickém prostředí se ihned projeví v tabulkách a naopak. Tabulky s daty o zatížení se zpřístupní po kliknutí na třetí tlačítko zleva v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 6.9 Tlačítko [Tabulka 3. Zatížení]

Údaje v tabulkách lze rychle upravovat nebo importovat (viz kapitola 11.5).

Ve všech dialozích i tabulkách lze k zatížení pro bližší popis připojit komentář. Použít přitom lze i předpřipravené komentáře (viz kapitola 11.1.4).

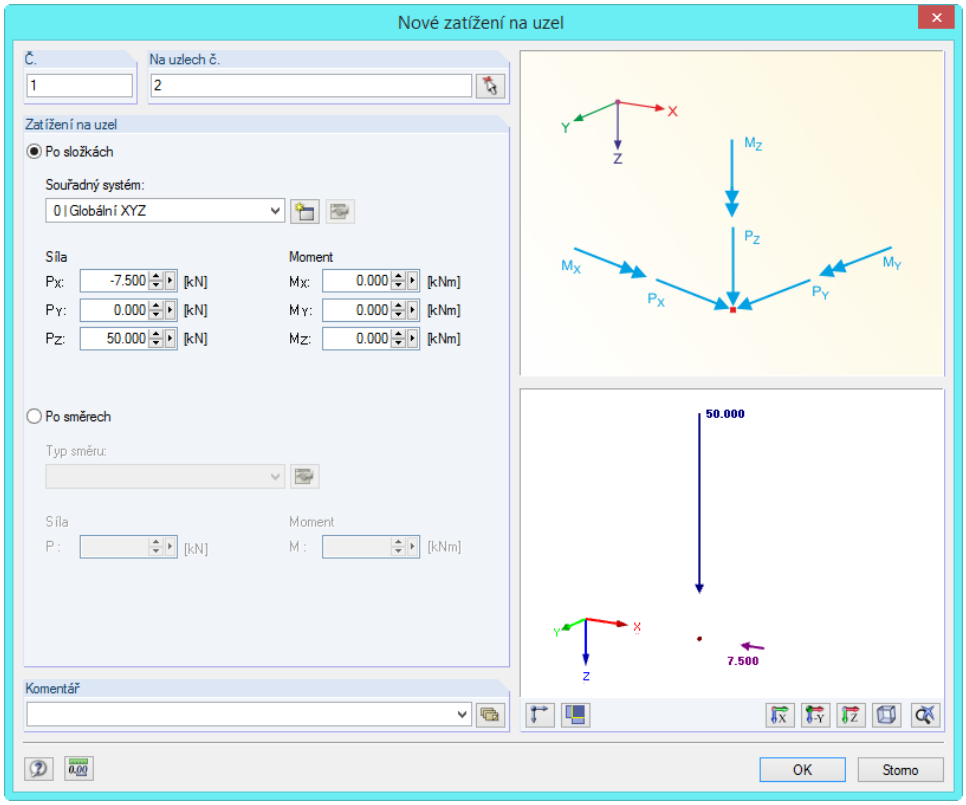
Pomocí funkce v hlavní nabídce **Tabulka → Optimalizovat údaje o zatížení** lze určit, zda se mají údaje o zatížení vypsat do jednotlivých řádků v aktuálně otevřené tabulce, příp. ve všech tabulkách anebo zda se má zobrazit pouze jejich souhrn. Toto nastavení lze provést také z panelu nástrojů v tabulce pomocí vlevo znázorněných tlačítek. Nacházejí se vpravo vedle seznamu zatěžovacích stavů.

6.1 Zatížení na uzel

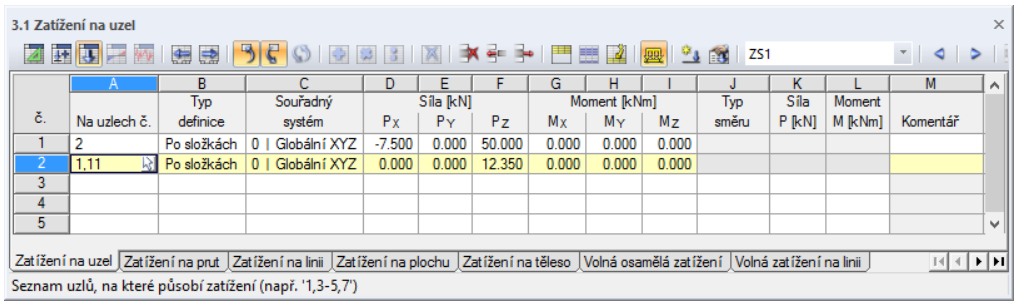
Obecný popis

Uzel může být zatížen silami a momenty (viz kapitola 4.1).

Před zadáním zatížení na uzel je třeba definovat uzel.



Obrázek 6.10 Dialog *Nové zatížení na uzel*



Obrázek 6.11 Tabulka 3.1 *Zatížení na uzel*

Číslo zatížení na uzel se v dialogu *Nové zatížení na uzel* vyplní automaticky. Uživatel ho však může změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli.

Na uzlech č.

V tomto poli se zadají čísla uzlů, na které má zatížení působit. Pomocí funkce lze zadávat uzly i grafickým výběrem.

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o zatížení a po kliknutí na tlačítko [OK] vybereme v grafickém okně postupně příslušné uzly.

Typ definice

Zatížení na uzel lze zadat po *složkách* ve vztahu k osám globálního či uživatelem zadaného souřadného systému anebo v určitém *směru* vzhledem k některému objektu.

Souřadný systém

Síly a momenty v uzlu jsou většinou vztaženy *po složkách* jako vektory ke globálnímu souřadnému systému. Použít lze také uživatelem zadaný souřadný systém.

Síla P_X / P_Y / P_Z

V případě zadání *po složkách* je třeba složky sil uvést do příslušných polí. Pokud jsme v základních údajích vybrali rovinnou konstrukci, jsou přístupná pouze relevantní zadávací políčka.

Moment M_X / M_Y / M_Z

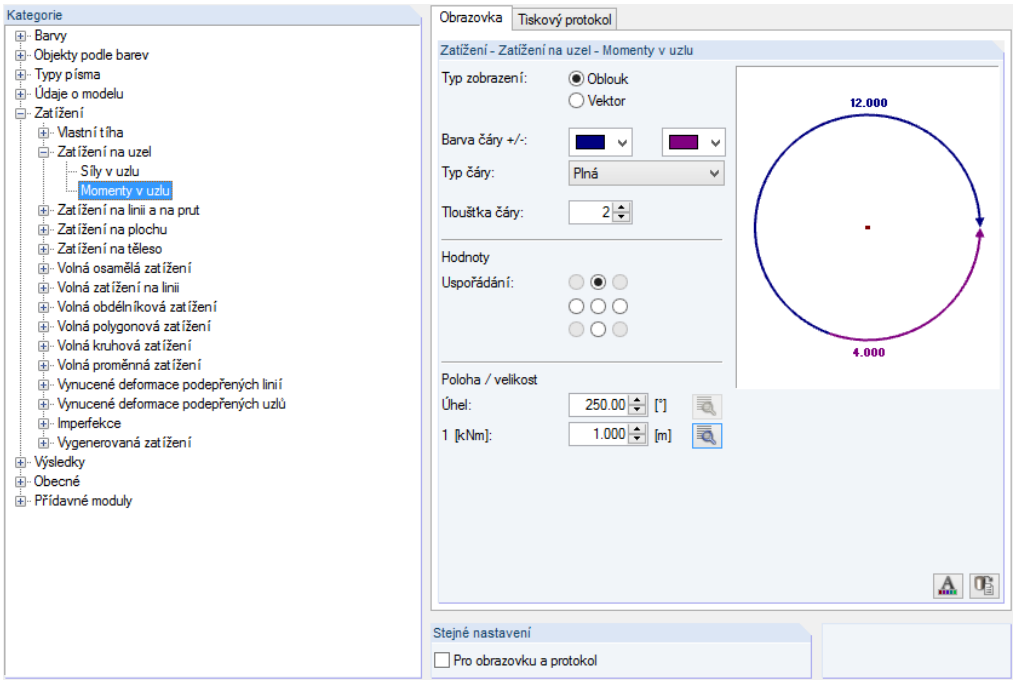
Do daných vstupních polí v dialogu nebo v tabulce se zadávají hodnoty momentů.

Kladný moment působí pravotočivě okolo kladné globální, resp. uživatelem zadané osy. Osový kříž pro vyznačení globálních souřadných os v grafickém okně RFEMu usnadňuje zadání údajů.

Kromě vektorového zobrazení může uživatel zvolit i obloukové zobrazení. Zobrazení (viz kapitola 11.1.2) se nastavuje z hlavní nabídky

Nastavení ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Upravit...

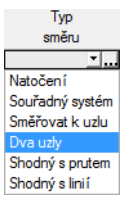
V dialogu *Vlastnosti zobrazení* klikneme vlevo v sekci *Kategorie* na **Zatížení ⟶ Zatížení na uzel ⟶ Momenty v uzlu** a v pravé části dialogu pak jako typ zobrazení vybereme *Oblouk*.



Obrázek 6.12 Dialog *Vlastnosti zobrazení* (výřez): obloukové zobrazení momentů v uzlu

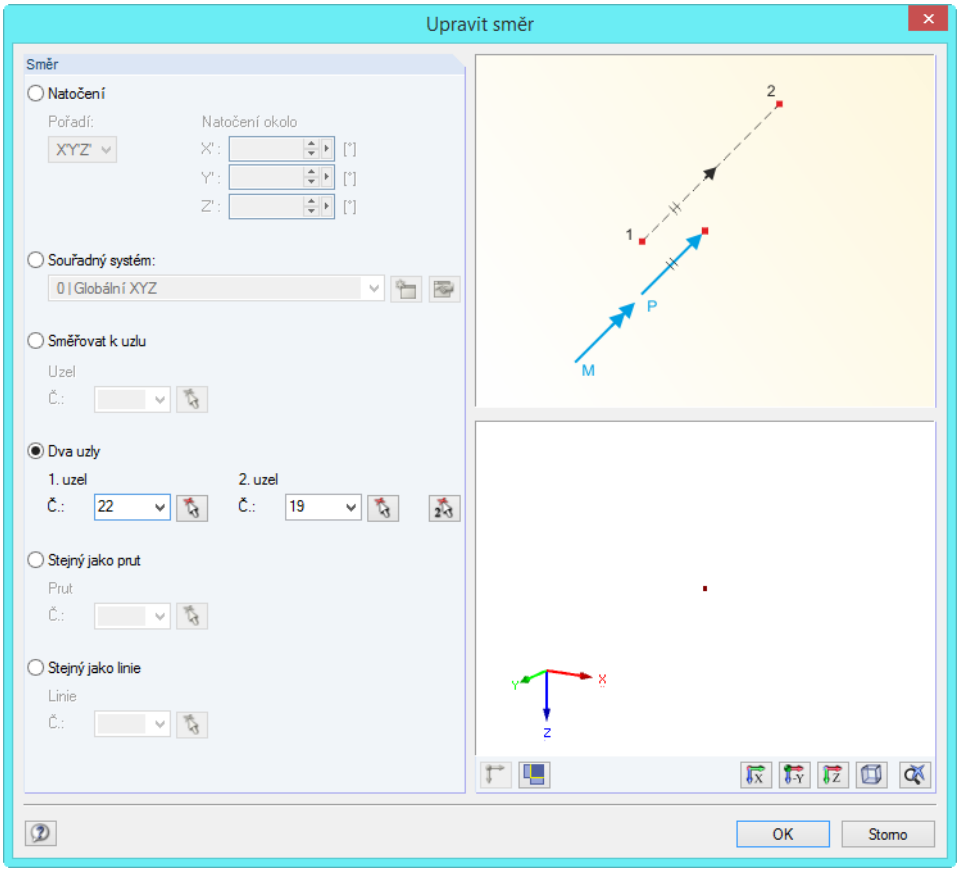
Zatížení na uzly lze také importovat ze souboru Excel (viz kapitola 12.5.2).

Typ směru



V případě, že zatížení na uzel zadáváme *po směru*, můžeme stanovit směr zatížení nezávisle na souřadném systému. V seznamu máme k dispozici různé možnosti.

Po nastavení požadované volby se otevře dialog *Upravit směr*, v kterém lze zadat další parametry.



Obrázek 6.13 Dialog *Upravit směr*

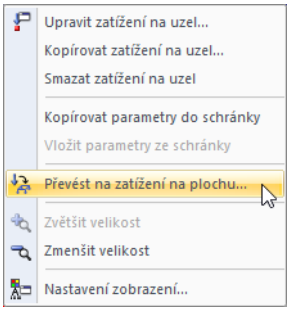
Síla P

V případě zadání sil *po směru* se hodnoty sil uvedou v tomto vstupním poli v dialogu, resp. v příslušném sloupci v tabulce.

Moment M

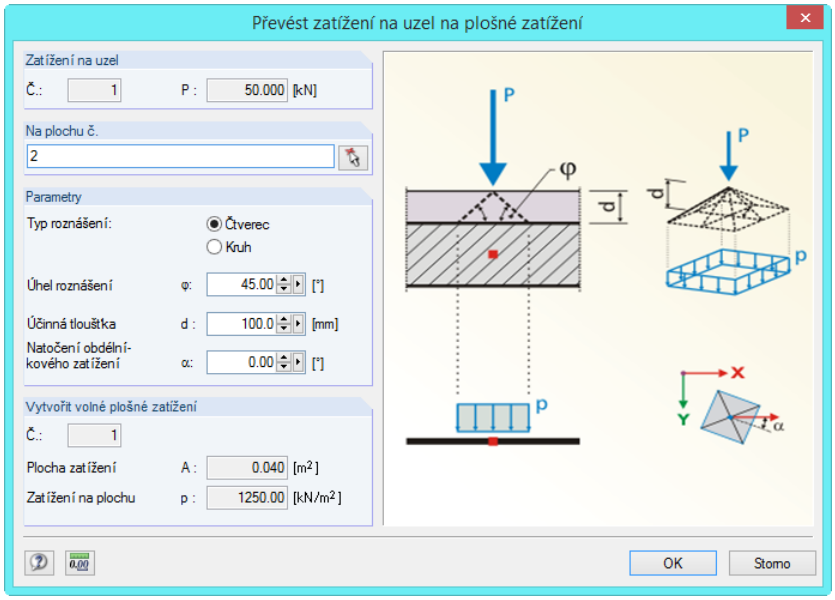
Do daného vstupního pole v dialogu, resp. v příslušném sloupci v tabulce se zadávají hodnoty momentů.

Převod zatížení na uzel na plošné zatížení



Zatížení na uzel vedou zpravidla v důsledku soustředěného zatížení na jeden jediný bod v síti konečných prvků k singularitám. Ke zmírnění tohoto účinku lze použít v hlavní nabídce **Nástroje** funkci **Převést zatížení na uzel / na linii na zatížení na plochu**... Dialog pro převedení uzlového zatížení na plošné lze otevřít také z místní nabídky uzlového zatížení, kterou vidíme na obrázku vlevo. Místní nabídku aktivujeme jako obvykle kliknutím na objekt pravým tlačítkem myši.

V tomto dialogu (viz obr. 6.14) lze zadat typ a úhel roznášení zatížení a další parametry. Po kliknutí na [OK] se vytvoří příslušné volné obdélníkové, příp. kruhové zatížení.



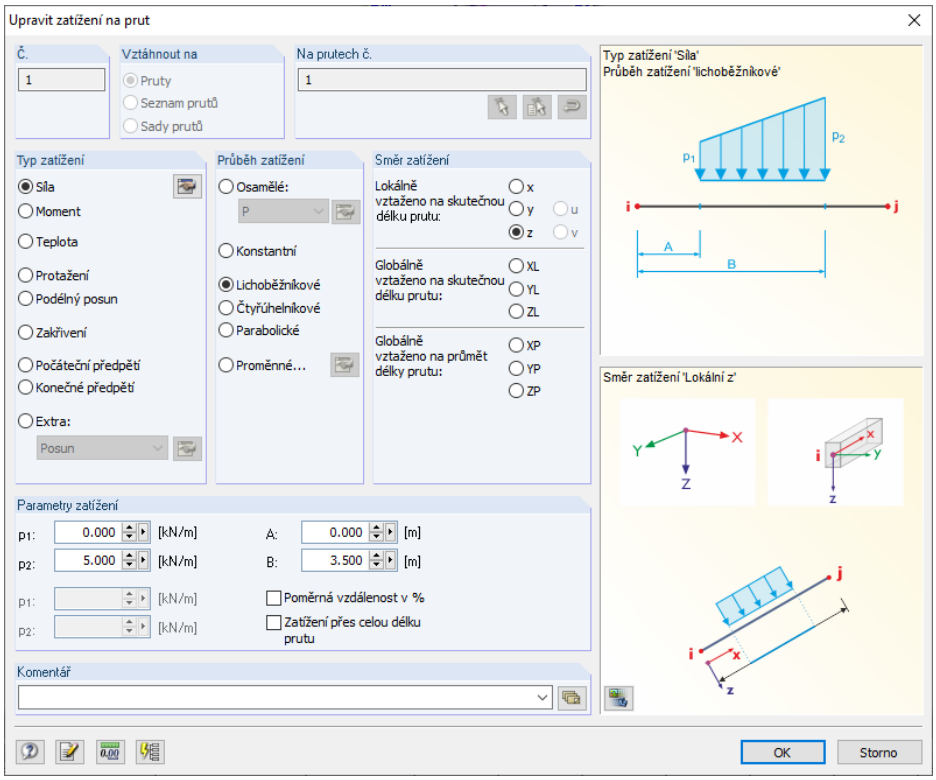
Obrázek 6.14 Dialog *Převést zatížení na uzel na plošné zatížení*

6.2 Zatížení na prut

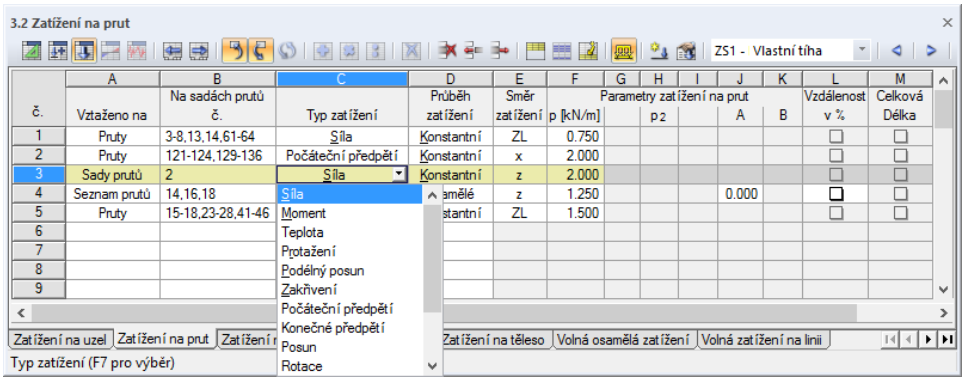
Obecný popis

Prut lze zatížit silami, momenty, teplotními účinky, předpětím nebo vynucenými deformacemi.

Před zadáním zatížení na prut je třeba definovat prut.



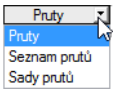
Obrázek 6.15 Dialog *Nové zatížení na prut*



Obrázek 6.16 Tabulka 3.2 *Zatížení na prut*

Číslo zatížení na prut se v dialogu *Nové zatížení na prut* vyplní automaticky. Uživatel ho však může změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli.

Vztaženo na



V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušné sekci v dialogu může uživatel vybrat, na které prvky konstrukce má zatížení působit. Volit lze mezi následujícími možnostmi:

Pruty

Zatížení působí na prut nebo na několik prutů jednotlivě.

Seznam prutů

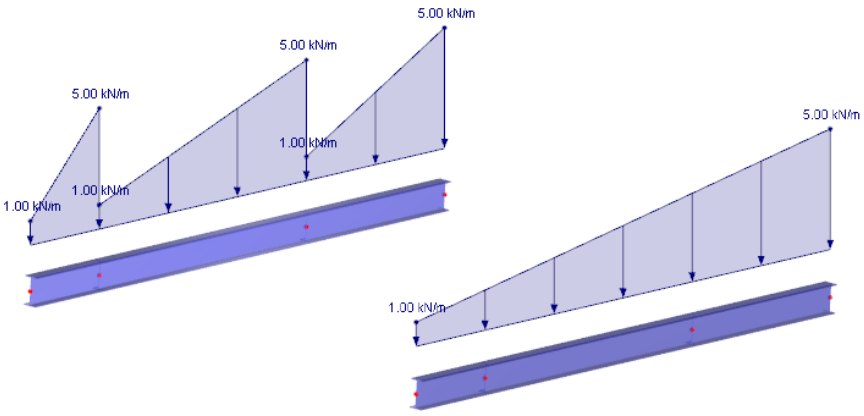
Zatížení působí v tomto případě na celou skupinu prutů, které jsou uvedeny v seznamu. Rozdíl oproti první možnosti je pak v případě lichoběžníkového zatížení značný, protože parametry zatížení se neuvažují u každého jednotlivého prutu zvlášť, nýbrž u všech prutů ze seznamu jako celku (pro celkovou délku). Lichoběžníkové zatížení vztažené na několik jednotlivých prutů a na seznam prutů lze porovnat na obr. 6.17.

Možnost vztáhnout zatížení na seznam prutů dovoluje uživateli zadat zatížení přesahující jeden prut, aniž by bylo třeba definovat nový sled prutů. Zatížení lze pak snadno změnit na zatížení působící na jednotlivé pruty.

Sady prutů

Zatížení působí na určitou sadu prutů nebo na několik sad prutů. I v tomto případě se parametry zatížení budou uvažovat u prutů z dané sady jako celku.

Sady prutů se dělí na sledy prutů a skupiny prutů (viz kapitola 4.21). Zatímco zatížení lze ke sledům prutů vztahovat neomezeně, v případě skupin prutů by měl uživatel postupovat opatrně: vztáhnout lichoběžníková zatížení ke skupinám prutů je většinou problematické.



Obrázek 6.17 Lichoběžníkové zatížení vztažené na *pruty* (vlevo) a na *seznam prutů* (vpravo)

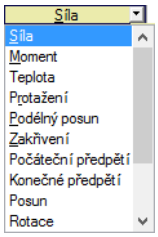
Na prutech č.

V tomto poli se uvedou čísla prutů, popř. sad prutů, na které má zatížení působit. Pruty lze vybrat i graficky pomocí příslušné funkce.

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o zatížení. Po kliknutí na [OK] postupně vybereme příslušné pruty nebo sady prutů v grafickém okně.

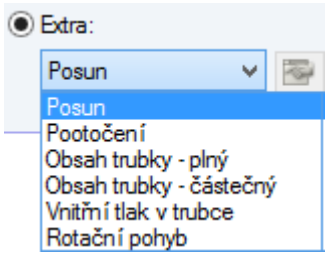
V případě lichoběžníkového nebo proměnného zatížení vztaženého k seznamu prutů lze v dialogu upravit pořadí čísel prutů pomocí tlačítka [Otočit orientaci prutů].

Typ zatížení



V této sekci se stanoví typ zatížení. V závislosti na označené volbě se mohou deaktivovat určité části dialogu, popř. sloupce v tabulce. Uživatel může vybrat některý z následujících typů zatížení:

Typ zatížení	Krátký popis
Síla	Osamělé, konstantní nebo lichoběžníkové zatížení silou. Pomocí tlačítka je možné zadat excentricitu zatížení.
Moment	Osamělé, konstantní nebo lichoběžníkové zatížení momentem.
Teplota	Zatížení teplotou rovnoměrně rozložené po celém průřezu prutu nebo teplotní rozdíl mezi horní a dolní stranou prutu. Zatížení může mít po délce prutu konstantní nebo lichoběžníkový průběh. Kladná hodnota zatížení znamená, že se prut, resp. jeho horní strana zahřívá.
Protažení	Vynucené protažení nebo zkrácení prutu ε. Kladná hodnota zatížení znamená, že se prut prodlužuje. Předpětí je tak třeba definovat jako záporné protažení prutu. Míru smršťování lze stanovit pomocí vlevo znázorněného tlačítka na základě parametrů pro autogenní smršťování a smršťování od vysychání (viz obr. 6.25).
Podélný posun	Vynucené protažení nebo zkrácení prutu posunem koncového uzlu o Δ l.
Zakřivení	Vynucené zakřivení prutu.



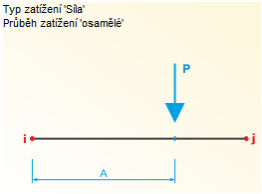
Počáteční předpětí	Předpínací síla, která působí na prutu před výpočtem. Kladná hodnota zatížení znamená, že se prut prodlužuje.
Konečné předpětí	Normálová síla, která má působit na prut po výpočtu (vyloučeno v případě tuhých a lanových prutů). Kladná hodnota zatížení znamená, že se prut prodlužuje.
Posun	Vynucený posun o vzdálenost Δ pro výpočet příčinkových čar.
Pootočení	Vynucené pootočení o úhel φ pro příčinkové čáry.
Obsah trubky - plný	Konstantní zatížení v důsledku úplného naplnění trubky. Je třeba zadat objemovou tíhu γ obsahu trubky.
Obsah trubky - částečný	Konstantní zatížení v důsledku částečného naplnění trubky. Kromě objemové tíhy obsahu trubky γ je třeba zadat výšku plnění *d*.
Vnitřní tlak v trubce	Rovnoměrný vnitřní tlak v trubce.
Rotační pohyb	Odstředivá síla hmoty a úhlová rychlost ω působící na prut. Osu rotačního pohybu lze zadat po kliknutí na tlačítko .

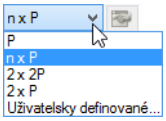
Tabulka 6.1 Typy zatížení

Díky zobrazení v grafickém okně v dialogu vpravo nahoře si uživatel ihned lépe představí zvolený typ zatížení a také vliv znamének sil a protažení.

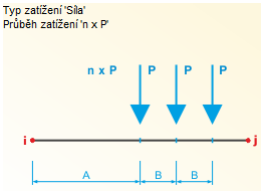
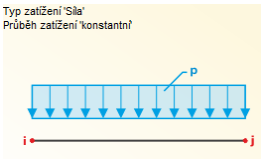
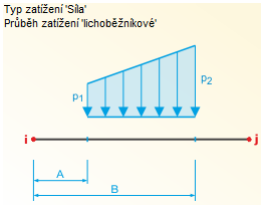
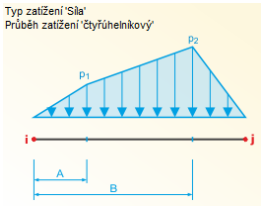
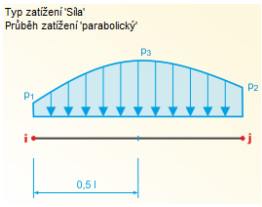
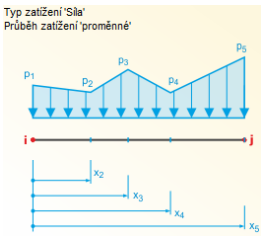
Průběh zatížení

V sekci *Průběh zatížení* lze vybírat z několika různých možností. Také průběh zatížení se v dialogu graficky znázorní v okně vpravo nahoře.

Průběh zatížení	**Diagram**	**Popis**
Osamělé P		Osamělé zatížení, osamělý moment. V sekci *Parametry zatížení na prut* se určí velikost osamělého zatížení resp. osamělého momentu a vzdálenost bodu, v němž zatížení působí, od počátku prutu.

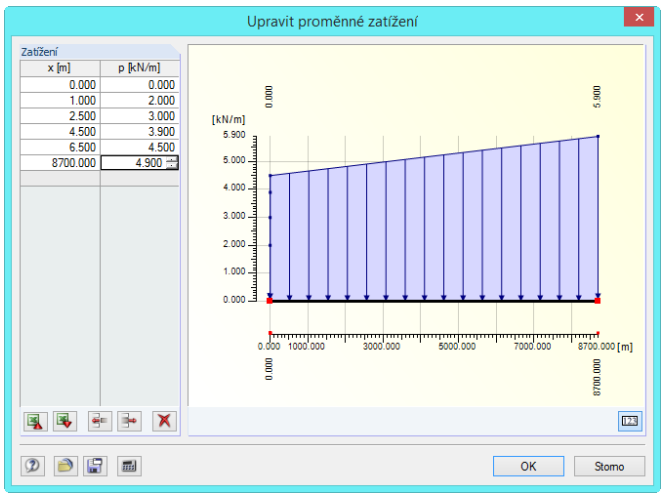


Vícenásobná zatížení

Osamělé n x P		Vícenásobná osamělá zatížení resp. momenty. V seznamu je obsaženo několik možností uspořádání dvojic zatížení nebo vícenásobných osamělých zatížení jako např. osových zatížení. Zatížení je možné definovat také jako *uživatelsky definovaná* zatížení v samostatném dialogu, který lze vyvolat tlačítkem . Vlevo znázorněná možnost je vhodná pro stejně velké síly, které působí v konstantní vzdálenosti. V sekci *Parametry zatížení na prut* se zadá velikost osamělého zatížení, vzdálenost bodu působení prvního zatížení od počátku prutu a vzdálenost mezi jednotlivými zatíženími.
Konstantní		Konstantní spojité zatížení, konstantní spojitý moment. V sekci *Parametry zatížení na prut* se určí velikost konstantního spojitého zatížení na prut resp. konstantní moment v prutu.
Licho-běžníkové		Lichoběžníkové zatížení, lichoběžníkový moment. Pro lineárně proměnný průběh zatížení se v sekci *Parametry zatížení na prut* určí obě velikosti zatížení a vzdálenosti podle grafického znázornění v dialogu. Vytvořit lze i trojúhelníková zatížení, pokud jednu velikost zatížení nastavíme na nulu. Vzdálenosti lze zadat i v poměru k délce prutu, zaškrtneme-li políčko *Poměrná vzdálenost v* %.
Čtyřúhelníkové		Čtyřúhelníkové zatížení. U zatížení s lineárně proměnným průběhem v jednotlivých úsecích zadáme v sekci *Parametry zatížení* velikosti a vzdálenosti zatížení podle obrázku vpravo .
Parabolické		Parabolické zatížení, parabolický moment. Zatížení má po celé délce prutu parabolický průběh. V sekci *Parametry zatížení* zadáme velikost zatížení na počátku, konci i ve středu prutu.
Proměnné		Polygonové spojité zatížení. Pomocí tlačítka se otevře dialog znázorněný na obr. 6.18. Tam je možné zadat parametry průběhu zatížení nebo je naimportovat.

Tabulka 6.2 Průběhy zatížení

Při zadání proměnného zatížení lze libovolně definovat místa x na prutu s příslušnými pořadnicemi zatížení p. Je ovšem třeba dávat pozor na vzestupné řazení míst x. Interaktivní grafické zobrazení umožňuje ihned zkontrolovat zadání.



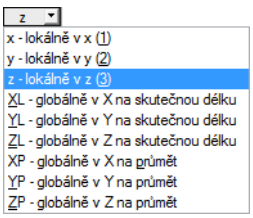
Obrázek 6.18 Dialog *Upravit proměnné zatížení*

Tlačítka v tomto dialogu mají následující funkce:

Tlačítko	Funkce
	Export tabulky do MS Excelu.
	Import tabulky z MS Excelu.
	Vložení prázdného řádku nad řádkem, v kterém se nachází kurzor myši.
	Smazání aktuálního řádku.
	Smazání všech zadaných údajů.

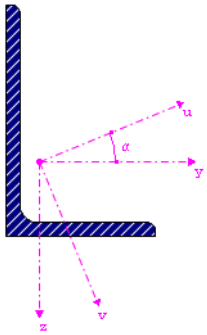
Tabulka 6.3 Tlačítka v dialogu *Upravit proměnné zatížení*

Směr zatížení



Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os prutu x, y, z resp. u, v (viz kapitola 4.13). Na výpočet podle teorie I. řádu nemá vliv, zda je zatížení definováno lokálně nebo globálně. V případě geometricky nelineárního výpočtu ovšem mohou lokálně či globálně definovaná zatížení vést k rozdílům: pokud zatížení působí ve směru globální osy, pak si tento směr i při natočení konečných prvků zachová. Jestliže zatížení působí ve směru lokální osy prutu, pootočí se v závislosti na natočení konečných prvků i směr zatížení na prutu.

Pokud jsme v základních údajích modelu konstrukce vybrali rovinnou konstrukci, nezpřístupní se pro zadání směru zatížení všechny možnosti.



Lokálně

Orientace os prutu je popsána v kapitole 4.17, oddíl Natočení prutu. Lokální osa x je vždy podélnou osou prutu. V případě symetrických průřezů představuje osa y takzvanou ‚silnou' osu, osa z pak ‚slabou' osu průřezu prutu. U nesymetrických průřezů lze zatížení vztáhnout buď k hlavním osám u a v daného průřezu nebo ke standardním osám pro zadání y a z.

Příkladem lokálně definovaných zatížení je zatížení střešní konstrukce větrem, zatížení teplotou nebo předpětí.

Globálně

Pokud zatížení působí ve směru některé osy globálního souřadného systému XYZ, nemusíme se již zajímat o orientaci lokálních os prutu.

Příkladem globálně definovaných zatížení je zatížení nástavbou nebo zatížení střešní konstrukce sněhem či zatížení stěn nebo štítu větrem.

Působení zatížení může být vztaženo na různé referenční délky :

- **Vztaženo na skutečnou délku prutu**

  Zatížení bude působit na celkovou, skutečnou délku prutu.

- **Vztaženo na průmět délky prutu v X / Y / Z**

  Zatížení působí na průmět prutu ve směru příslušné osy globálního souřadného systému. Tato volba se zaškrtne například při působení zatížení sněhem na průmět půdorysné plochy střechy.

RFEM uvažuje zatížení na prutu vždy ve středu smyku. S plánovitým kroucením, které vychází z geometrie průřezu (těžiště se nerovná středu smyku), se nepočítá. U nesymetrických průřezů je proto třeba navíc uvažovat krouticí moment, který odpovídá zatížení x vzdálenost ke středu smyku, pokud zatížení působí např. v těžišti.

Parametry zatížení na prut

V této sekci dialogu, resp. v příslušných sloupcích v tabulce se určují velikosti zatížení a případně další parametry. Pole jsou přístupná a opatřena odpovídajícím popisem v závislosti na předešlém nastavení.

Zatížení p_1 / p_2

V těchto polích se zadávají velikosti zatížení. Znaménka se řídí orientací vzhledem k osám globálního, popř. lokálního souřadného systému. V případě předpětí a změny teploty nebo délky znamená kladná hodnota zatížení, že se prut prodlužuje.

V případě lichoběžníkového zatížení je třeba zadat dvě hodnoty zatížení. V grafickém okně v dialogu vpravo nahoře jsou příslušné parametry zatížení dobře znázorněny.

Vzdálenost A / B

V případě osamělých nebo lichoběžníkových zatížení se v těchto polích zadávají vzdálenosti míst působení zatížení od počátku prutu. Vzdálenosti lze zadat i poměrně k délce prutu po zaškrtnutí políčka *Poměrná vzdálenost v %* (viz níže).

Grafické okno vpravo nahoře daného dialogu a tlačítko ve spodní části grafického okna jsou užitečné při zadávání parametrů.

Pokud je *směr zatížení* vztažen na průmět délky prutu XP, YP nebo ZP, pak je třeba vzdálenosti *A* a *B* zadat rovněž vzhledem k promítnuté délce prutu.

Poměrná vzdálenost v %

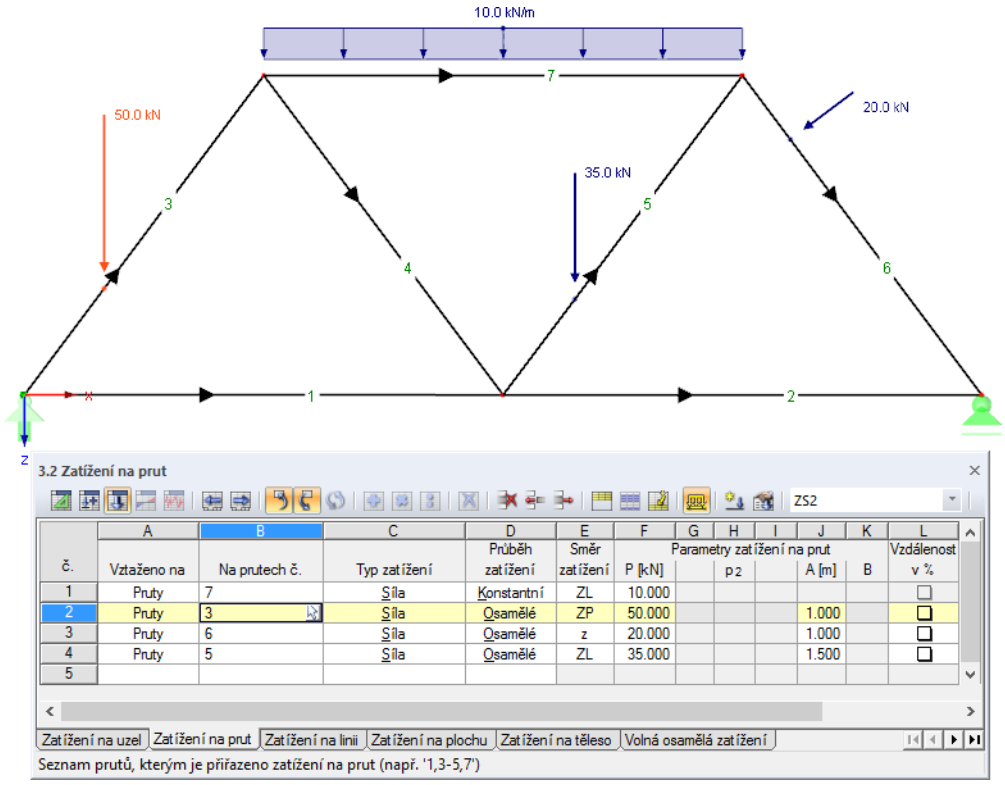
Pokud je toto políčko aktivováno, stanoví se vzdálenosti osamělých nebo lichoběžníkových zatížení poměrně k délce prutu. V opačném případě se zadají absolutní hodnoty v polích pro *vzdálenost A* a *B*.

Zatížení přes celou délku prutu

Toto pole lze aktivovat pouze v případě lichoběžníkových zatížení. Lineárně proměnné zatížení pak působí od počátku po konec prutu. *Parametry zatížení A / B* nemají v tomto případě význam, a proto nejsou daná políčka přístupná.

Příklad

Pro lepší představu uvedeme příklad zadání zatížení na pruty v rovinné příhradové konstrukci. Jak vidíme, pruty není třeba pro zadání osamělých břemen dělit mezilehlými body.



č.	A Vztaženo na	B Na prutech č.	C Typ zatížení	D Průběh zatížení	E Směr zatížení	F Parametry zatížení na prut P [kN]	G	H p2	I	J A [m]	K B	L Vzdálenost v %
1	Pruty	7	Síla	Konstantní	ZL	10.000						☐
2	Pruty	3	Síla	Osamělé	ZP	50.000				1.000		☐
3	Pruty	6	Síla	Osamělé	z	20.000				1.000		☐
4	Pruty	5	Síla	Osamělé	ZL	35.000				1.500		☐
5												

Obrázek 6.19 Příhradová konstrukce: spojité zatížení na horním pásu, osamělá břemena na diagonálách

6.3 Zatížení na linii

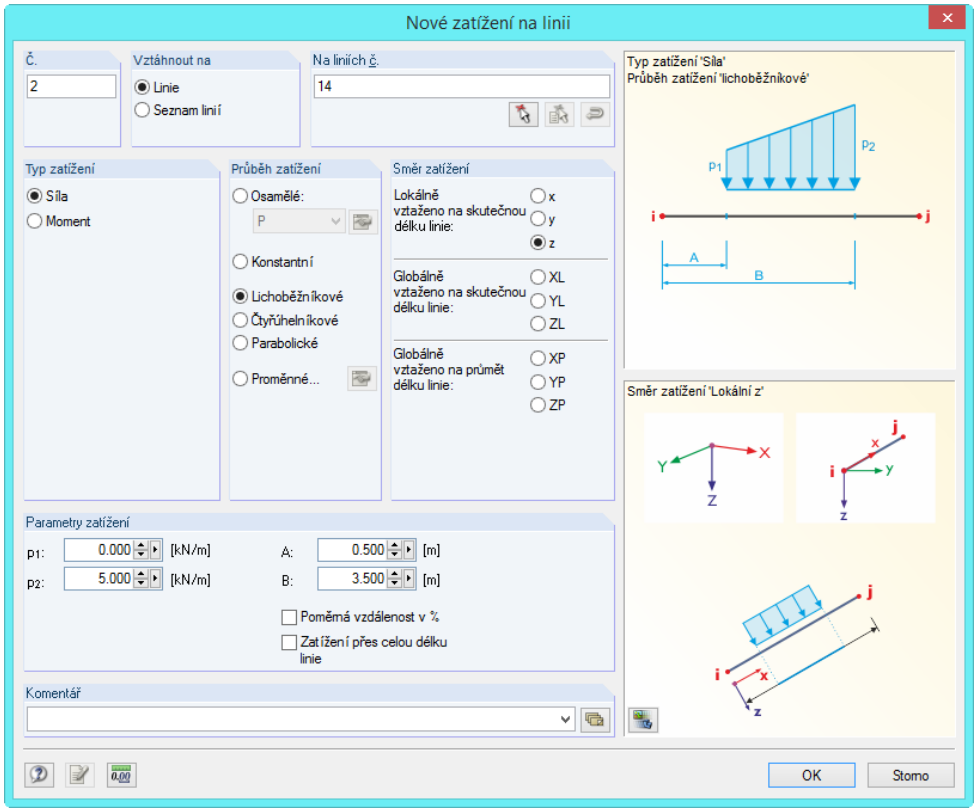
Obecný popis

Zatížení na linii jsou síly a momenty působící na linii (viz kapitola 4.2).

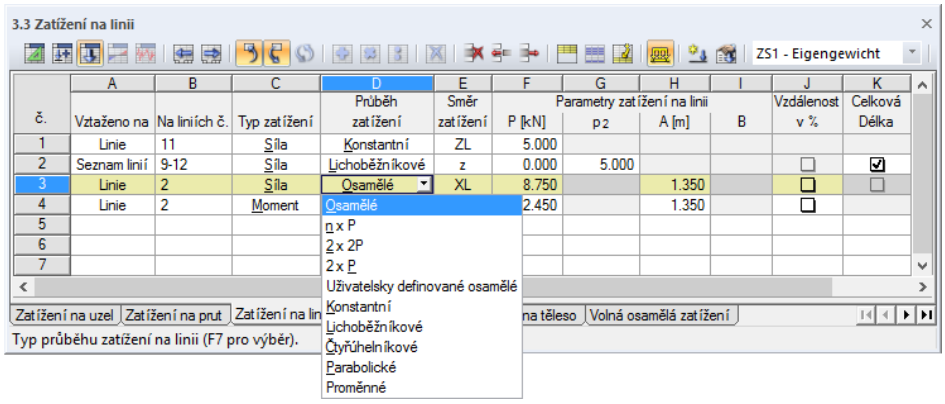
Před zadáním zatížení na linii je třeba definovat linii.

Zatížení na linii a zatížení na prut jsou velmi podobná. Oproti zatížení na prut chybí u zatížení na linii ty typy zatížení, které vyžadují materiálová data (např. zatížení teplotou nebo změna délky).

Jelikož prut je vlastností linie, lze zatížení na linii použít i na pruty, avšak pouze tehdy, jedná-li se o linie, které náleží do některé plochy. Pro prutyv čistě prutových konstrukcích nelze zatížení na linii použít.



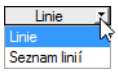
Obrázek 6.20 Dialog *Nové zatížení na linii*



Obrázek 6.21 Tabulka 3.3 *Zatížení na linii*

Číslo zatížení na linii se v dialogu *Nové zatížení na linii* vyplní automaticky. Uživatel ho však může změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli.

Vztaženo na



V této sekci může uživatel vybrat, na které objekty má zatížení působit. Volit lze mezi následujícími možnostmi:

Linie

Zatížení působí na linii nebo na několik linií jednotlivě.

Seznam linií

Zatížení působí v tomto případě na všechny linie ze seznamu jako celek. Rozdíl oproti první možnosti se pak projeví v případě lichoběžníkového zatížení (srov. obr. 6.17), protože parametry zatížení se neuvažují u každé jednotlivé linie zvlášť, nýbrž pro celkovou délku všech linií ze seznamu.

Na liniích č.

V tomto poli se zadají čísla linií, na které má zatížení působit. Linie lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o zatížení a po kliknutí na tlačítko [OK] vybereme v grafickém okně postupně příslušné linie.

Typ zatížení

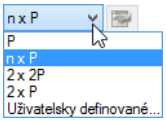
V této sekci určíme, o jaký typ zatížení se jedná. V závislosti na označené volbě se mohou deaktivovat určité části dialogu, popř. sloupce v tabulce. Uživatel může vybrat některý z následujících typů zatížení:

Typ zatížení	Krátký popis
Síla	Osamělé, konstantní, lichoběžníkové nebo proměnné zatížení silou.
Moment	Osamělé, konstantní nebo lichoběžníkové zatížení momentem.

Tabulka 6.4 Typy zatížení

Průběh zatížení

V sekci *Průběh zatížení* lze vybírat z několika různých možností. Také průběh zatížení se v dialogu graficky znázorní v okně vpravo nahoře. Pomocí tlačítka v obrázku níže je možné zatížení zobrazit v renderování.

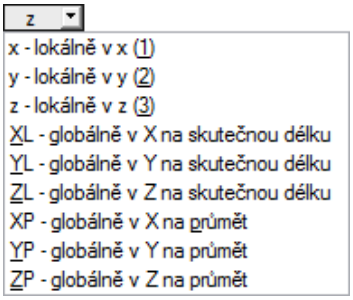


Vícenásobná zatížení

Průběh zatížení	Krátký popis
Osamělé	Osamělé nebo vícenásobné osamělé zatížení silou nebo momentem.
Konstantní	Konstantní spojité zatížení silou nebo momentem.
Lichoběžníkové	Lichoběžníkové zatížení silou nebo momentem.
Čtyřúhelníkové	Čtyřúhelníkové zatížení silou nebo momentem.
Parabolické	Parabolické zatížení silou nebo momentem.
Proměnné	Polygonové spojité zatížení. Pomocí vlevo znázorněného tlačítka se otevře dialog (viz obr. 6.18), v němž lze zadat parametry průběhu zatížení.

Tabulka 6.5 Průběhy zatížení

Průběhy zatížení na linii odpovídají do značné míry průběhům zatížení na prut. V tabulce 6.2 tyto průběhy podrobně popisujeme.



Směr zatížení

Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os linie x, y, z. Na výpočet podle teorie I. řádu nemá vliv, zda je zatížení definováno lokálně nebo globálně. V případě geometricky nelineárního výpočtu ovšem mohou lokálně či globálně definovaná zatížení vést k rozdílům: pokud zatížení působí ve směru globální osy, pak si tento směr i při natočení konečných prvků zachová. Jestliže zatížení působí ve směru lokální osy linie, pootočí se v závislosti na natočení konečných prvků i směr zatížení na linii.

Lokálně

Orientace os linií je znázorněna na obr. 4.103. Lokální osa x je vždy podélnou osou linie. Osa z je zpravidla rovnoběžná s globální osou Z.

Globálně

Pokud zatížení působí ve směru některé osy globálního souřadného systému XYZ, nemusíme se již zajímat o orientaci lokálních os linie.

Působení zatížení může být vztaženo na různé referenční délky :

- **Vztaženo na skutečnou délku linie**

  Zatížení bude působit na celkovou, skutečnou délku linie.

- **Vztaženo na průmět délky linie v X / Y / Z**

  Zatížení působí na průmět linie ve směru příslušné osy globálního souřadného systému. V dialogu se v grafickém okně vpravo vždy znázorní příslušný průmět délky linie.

Parametry zatížení na linii

V této sekci dialogu, resp. v příslušných sloupcích v tabulce se určují velikosti zatížení a případně další parametry. Pole jsou přístupná a opatřena popisem v závislosti na předešlém nastavení.

Zatížení P / p / p_2 / M / m / m_2

V těchto polích se zadávají velikosti zatížení. Znaménka se řídí orientací vzhledem k osám globálního, popř. lokálního souřadného systému. V případě lichoběžníkového zatížení je třeba zadat dvě hodnoty zatížení. V grafickém okně v dialogu vpravo nahoře jsou příslušné parametry zatížení dobře znázorněny.

Vzdálenost A / B

V případě osamělých nebo lichoběžníkových zatížení se v těchto polích zadávají vzdálenosti míst působení zatížení od počátku linie. Vzdálenosti lze zadat i poměrně k délce linie po zaškrtnutí políčka *Poměrná vzdálenost v %* (viz níže).

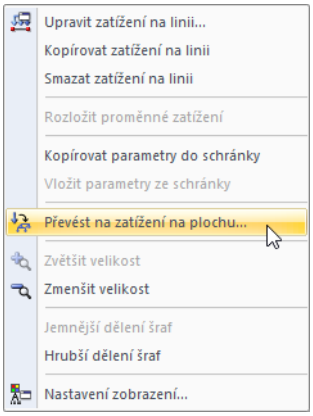
Grafické okno vpravo nahoře daného dialogu a tlačítko ve spodní části grafického okna jsou užitečné při zadávání parametrů.

Poměrná vzdálenost v %

Pokud je toto políčko aktivováno, stanoví se vzdálenosti osamělých nebo proměnných zatížení poměrně k délce linie. V opačném případě se zadají absolutní hodnoty v polích pro *vzdálenost A / B*.

Zatížení přes celou délku linie

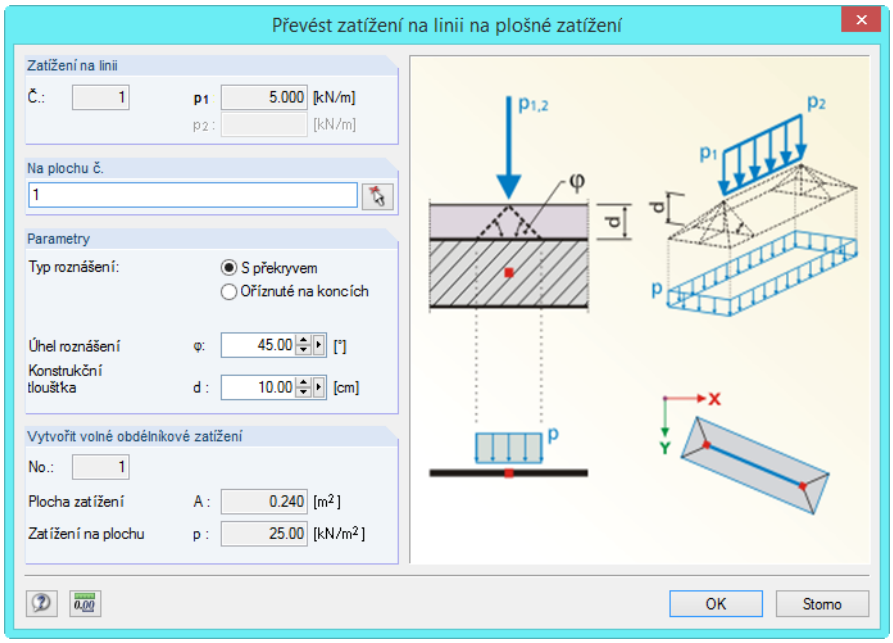
Toto pole lze aktivovat pouze v případě lichoběžníkových zatížení. Lineárně proměnné zatížení pak působí od počátku po konec linie. *Parametry zatížení A / B* nemají v tomto případě význam, a proto nejsou přístupná.



Místní nabídka zatížení na linii

Převod zatížení na linii na plošné zatížení

Zatížení na linii vedou často v důsledku soustředěného zatížení k singularitám. Ke zmírnění tohoto účinku lze použít v hlavní nabídce **Nástroje** funkci **Převést zatížení na uzel / na linii na zatížení na plochu...** Tuto volbu lze použít v případě přímých linií. Dialog pro převedení liniového na plošné zatížení lze otevřít také z místní nabídky liniového zatížení, kterou vidíme na obrázku vlevo. Místní nabídku aktivujeme jako obvykle kliknutím na objekt pravým tlačítkem myši.



Obrázek 6.22 Dialog *Převést zatížení na linii na plošné zatížení*

V tomto dialogu lze zadat typ a úhel roznášení zatížení a další parametry.

Po kliknutí na [OK] se vytvoří příslušné volné obdélníkové, resp. polygonové zatížení.

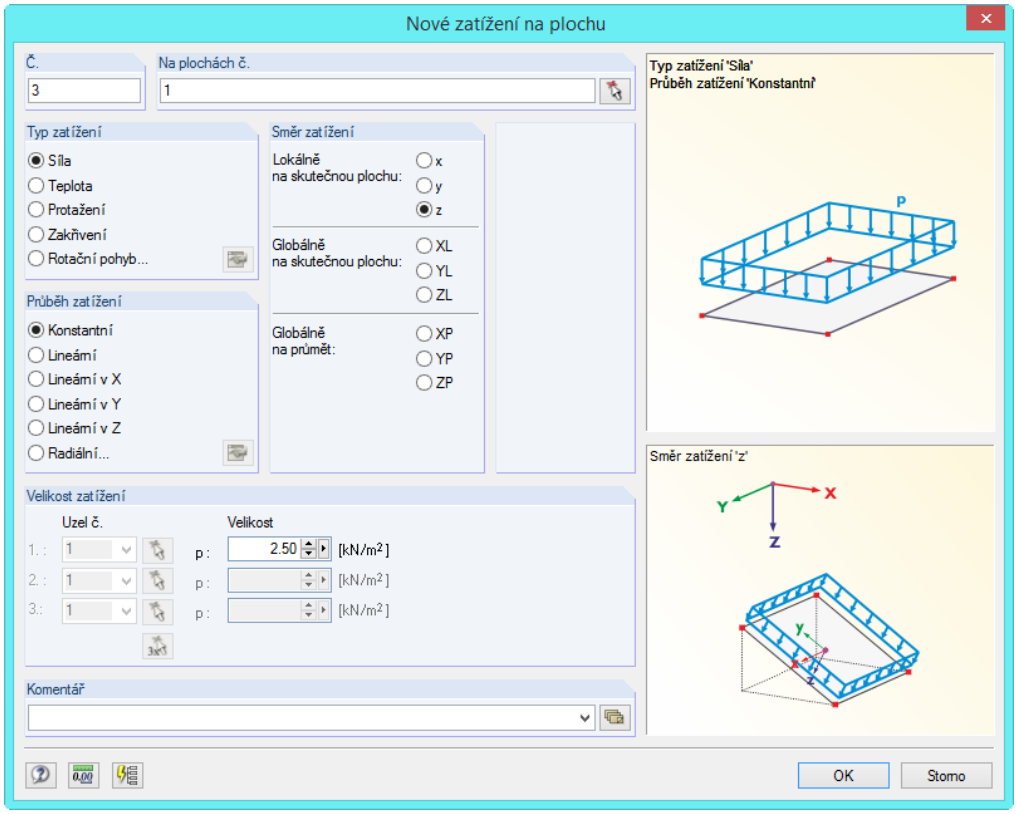
6.4 Zatížení na plochu

Obecný popis

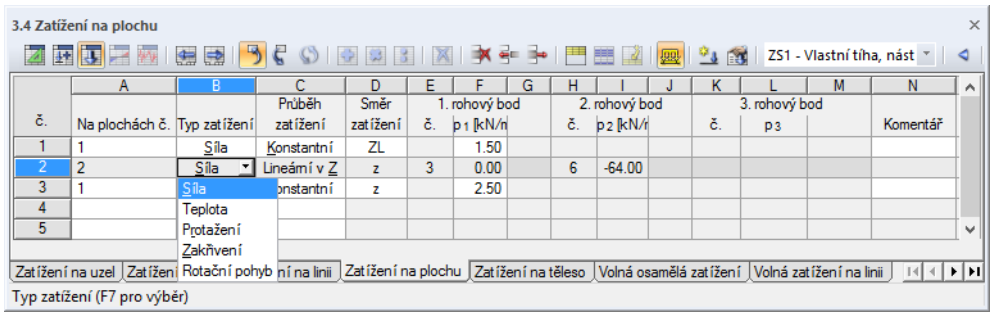
Plošná zatížení jsou síly, teplotní zatížení nebo vynucená přetvoření působící na všechny 2D prvky jedné plochy (viz kapitola 4.4).

Před zadáním zatížení na plochu je třeba mít již definovanou aspoň jednu plochu.

Plocha může být pomocí průniků rozdělena na několik dílčích ploch (viz kapitola 4.22). Dílčí plochy, které jsme deaktivovali, nebudou zatěžovány. Stejně tak zatížení nebude působit na otvory v dané ploše.



Obrázek 6.23 Dialog *Nové zatížení na plochu*



Obrázek 6.24 Tabulka 3.4 *Zatížení na plochu*

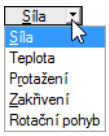
Číslo zatížení na plochu se v dialogu *Nové zatížení na plochu* vyplní automaticky. Uživatel ho však může změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli.

Na plochách č.

V tomto poli se zadají čísla ploch, na které má zatížení působit. Plochy lze vybrat pomocí funkce také v grafickém okně.

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o zatížení. Po kliknutí na tlačítko [OK] postupně vybereme myší příslušné plochy v grafickém okně.

Typ zatížení

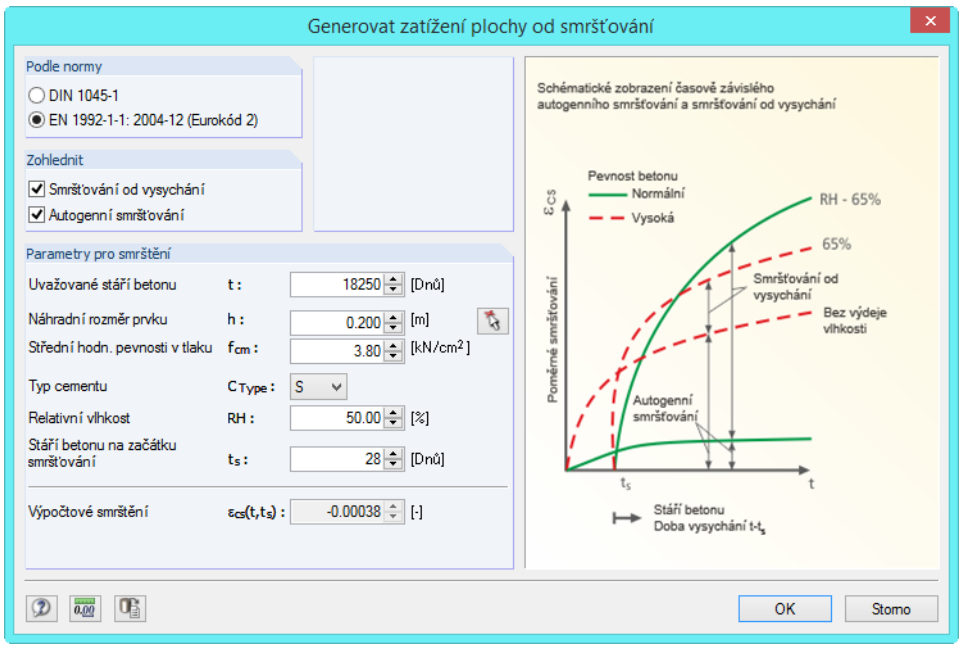


V této sekci určíme, o jaký typ zatížení se jedná. V závislosti na označené volbě se mohou deaktivovat určité části dialogu, popř. sloupce v tabulce. Uživatel může vybrat některý z následujících typů zatížení:

Typ zatížení	Krátký popis
Síla	Konstantní nebo lineárně proměnné zatížení plochy silou.
Teplota	Rovnoměrné, lineárně proměnné teplotní zatížení rozložené po tloušťce plochy nebo uspořádané radiálně. Kladná hodnota zatížení znamená, že se plocha resp. její horní strana zahřívá.
Protažení	Vynucené protažení nebo zkrácení ε plochy. Kladná hodnota zatížení znamená, že se plocha prodlužuje. Míru smršťovaní lze stanovit pomocí vlevo znázorněného tlačítka. Otevře se dialog (viz obr. 6.25) pro zadání parametrů smršťování.
Zakřivení	Vynucené zakřivení plochy.
Rotační pohyb	Odstředivá síla od hmoty a úhlová rychlost ω působící na plochu. Osu rotačního pohybu je třeba zadat po kliknutí na tlačítko ve zvláštním dialogu.

Tabulka 6.6 Typy zatížení

Parametry pro zatížení na plochy a pruty v důsledku smršťování lze zadat v samostatném dialogu pomocí tlačítka (viz obr. 6.25).

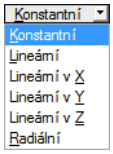


Obrázek 6.25 Dialog *Generovat zatížení plochy od smršťování*

Smršťování jako časově podmíněná změna objemu bez vnějšího působení zatížení nebo teploty se vyskytuje ve formě smršťování od vysychání, autogenního smršťování, plastického smršťování a karbonatačního smršťování. Z hlavních veličin, které proces smršťování ovlivňují (relativní vlhkost vzduchu RH, účinná tloušťka dílce h, pevnost betonu f_{cm}, typ cementu Z_{Typ}, stáří betonu na začátku smršťování t_s), se vypočítá míra smrštění $\varepsilon_{cs}(t,ts)$ k určitému časovému okamžiku t.

Po kliknutí na [OK] se daná hodnota převede jako změna délky ε do dialogu *Nové zatížení na plochu*.

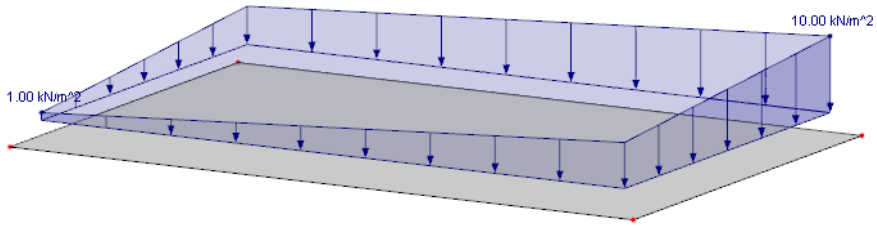
Průběh zatížení



Zatížení může působit na plochu jako *konstantní*, *lineární* nebo *radiální*.

Lineární

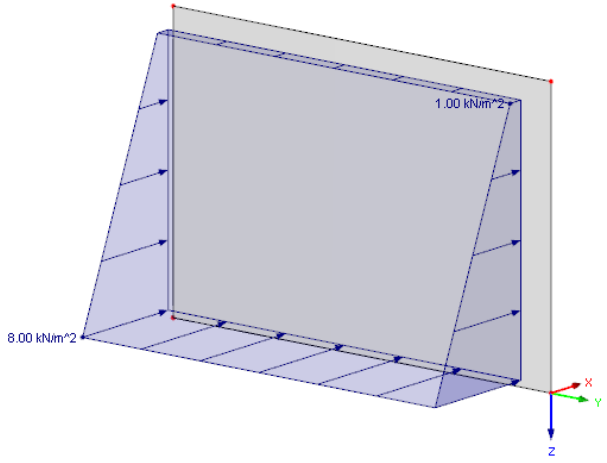
Velikost zatížení je třeba definovat ve třech uzlech, kterými je dána příslušná rovina.



Obrázek 6.26 Lineárně proměnné zatížení na plochu

Lineární v X / Y / Z

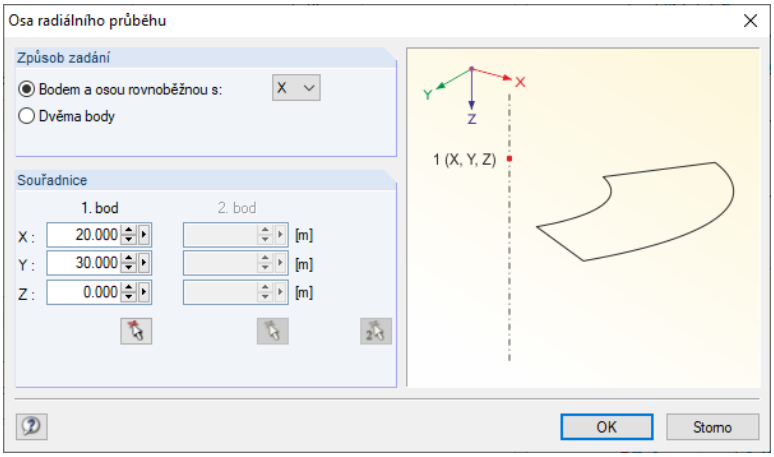
Zatížení na plochu může mít lineárně proměnný průběh ve směru některé osy globálního souřadného systému. V tomto případě je třeba zadat velikost zatížení pouze ve dvou uzlech. Tyto uzly mohou ležet i mimo zatíženou plochu, ovšem jen pokud se v nich vytvoří uzly sítě KP (tzn. nesmí se jednat o volné uzly).



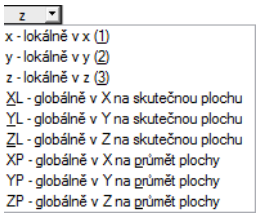
Obrázek 6.27 Zatížení na plochu lineárně proměnné ve směru osy Z

Radiální

Pro radiálně působící síly nebo teplotní zatížení je třeba zadat osu radiálního průběhu v samostatném dialogu. Ten je možné otevřít pomocí tlačítka .



Obrázek 6.28 Dialog *Osa radiálního průběhu*



Směr zatížení

Zatížení může působit ve směru lokálních os x, y, z, nebo globálních os X, Y, Z.

Lokálně na skutečnou plochu

Zatížení působící kolmo na plochu se zpravidla zadávají lokálně ve směru osy **z**. Zatížení se takto definuje například v případě zatížení střešních ploch větrem nebo v případě vnitřního tlaku na skořepinu nádrže.

Zobrazení lokálních os plochy lze zapnout buď z navigátoru *Zobrazit* tak, že zaškrtneme položku **Model ⟶ Plochy ⟶ Osové systémy plochy x,y,z.** Alternativně je možné použít místní nabídku konkrétní plochy (viz obr. 4.122).

Globálně na skutečnou plochu

Pokud zatížení působí ve směru některé osy globálního souřadného systému XYZ, nemusíme se již v případě výpočtu podle teorie I. řádu zajímat o orientaci lokálních os plochy. V případě nelineárního výpočtu ovšem mohou lokálně či globálně definovaná zatížení vést k rozdílům: pokud zatížení působí ve směru globální osy, pak si tento směr i při natočení konečných prvků zachová. Jestliže zatížení působí ve směru lokální osy plochy, pootočí se v závislosti na natočení konečných prvků i směr zatížení na plochu.

Globálně na průmět

Zatížení působí na průmět plochy ve směru příslušné osy globálního souřadného systému. Tato volba se zaškrtne například při působení zatížení sněhem na průmět půdorysné plochy střechy.

V dialogu v grafickém okně vpravo se průměty ploch názorně zobrazí.

Velikost zatížení

V této sekci dialogu, resp. ve sloupcích v tabulce se zadávají velikosti zatížení a případně příslušné uzly. Pole jsou přístupná a opatřena odpovídajícím popisem v závislosti na předešlém nastavení.

Zatížení p / p_2 / p_3 / T / Δ T / ε / R / ω / α

V těchto polích se zadávají velikosti zatížení. Znaménka se řídí orientací vzhledem k osám globálního, popř. lokálního souřadného systému.

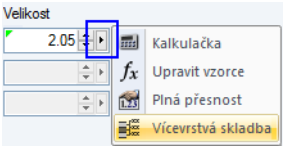
V případě lineárně proměnného zatížení je třeba zadat několik hodnot zatížení. V grafickém okně v dialogu vpravo nahoře jsou příslušné parametry zatížení dobře znázorněny.

Uzel č.

V případě lineárně proměnného zatížení je třeba zadat uzly, kterými je dána příslušná rovina a kterým budou hodnoty zatížení přiřazeny. V dialogu lze pomocí funkce zadávat uzly i grafickým výběrem.

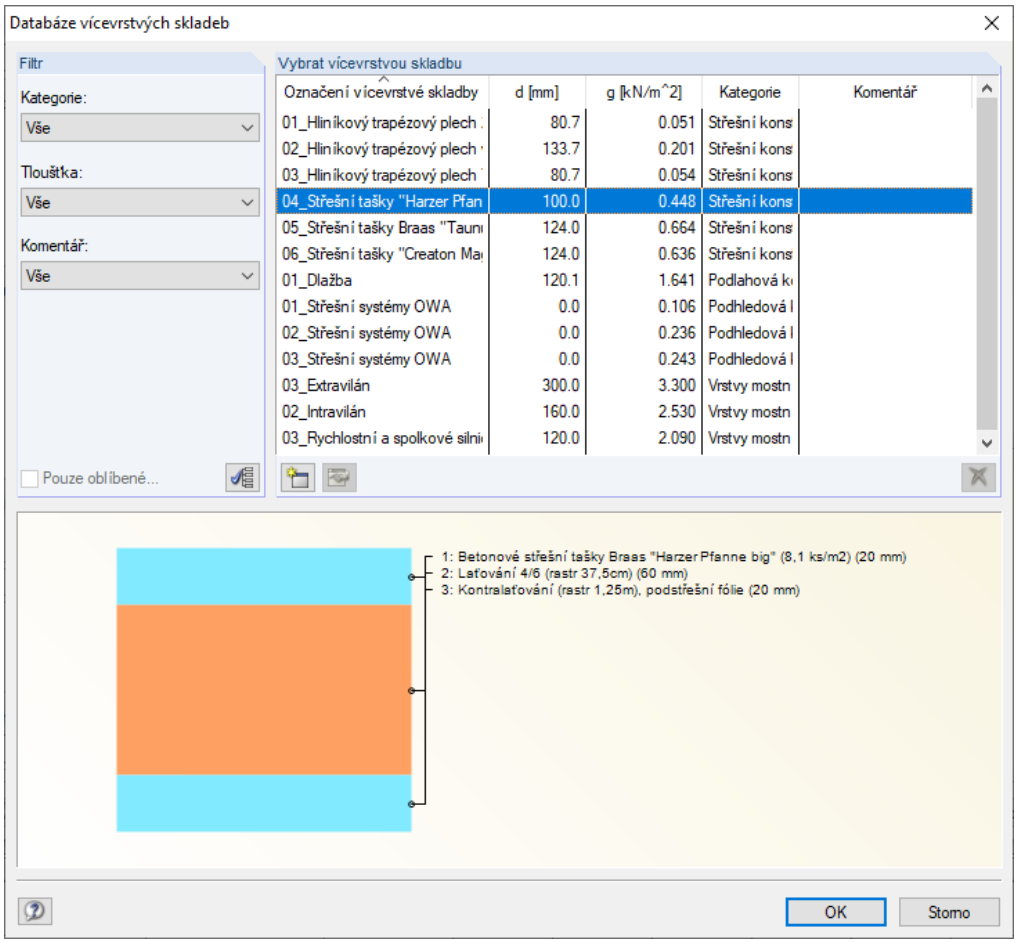
Zatížení vícevrstvou skladbou

Uživatel může vytvořit zatížení z plošné tíhy materiálů, které působí jako vícevrstvá skladba. Tímto řešením lze jednoduše obsáhnout např. konstrukci podlah nebo obložení.



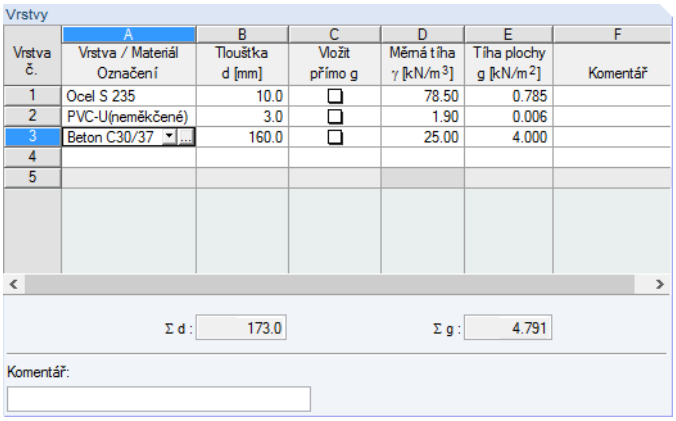
Danou funkci zajišťuje v dialogu *Nové zatížení na plochu* (obr. 6.23) tlačítko , které se nachází vpravo vedle pole pro zadání velikosti zatížení. V místní nabídce je pak třeba vybrat položku *Vícevrstvá skladba*.

Otevře se *databáze vícevrstvých skladeb*, kde je možné vybrat skladby, nebo zde zadat nové.



Obrázek 6.29 Dialog *Databáze vícevrstvých skladeb*

Koncept této databáze odpovídá koncepci databáze materiálů (viz kapitola 4.3). Pomocí tlačítek a lze vícevrstvé skladby vytvářet resp. upravovat.



Obrázek 6.30 Dialog *Nová vícevrstvá skladba*, sekce *Vrstvy*

Vrstvy lze skládat jednotlivě. Tlačítkem ... přitom můžeme otevřít databázi materiálů (viz kapitola 4.3).

Z tloušťky a *měrné tíhy* se určí tíha plochy (sloupec E). Aktuální vrstva se v grafickém okně v dialogu vyznačí šipkou.

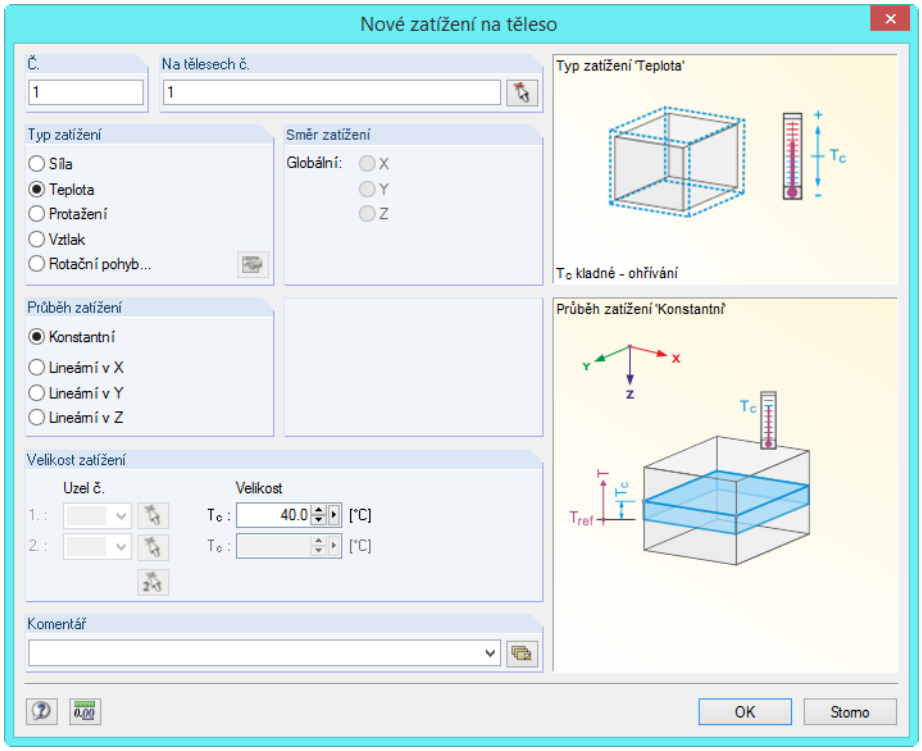
Po kliknutí na tlačítko [OK] se plošná tíha převezme do výchozího dialogu. Vstupní políčko se přitom označí zeleným trojúhelníkem (viz obrázek na okraji výše), který odkazuje na parametrickou hodnotu. Pokud na tento trojúhelník klikneme, vstupní parametry se opět zpřístupní a můžeme je upravovat.

6.5 Zatížení na těleso

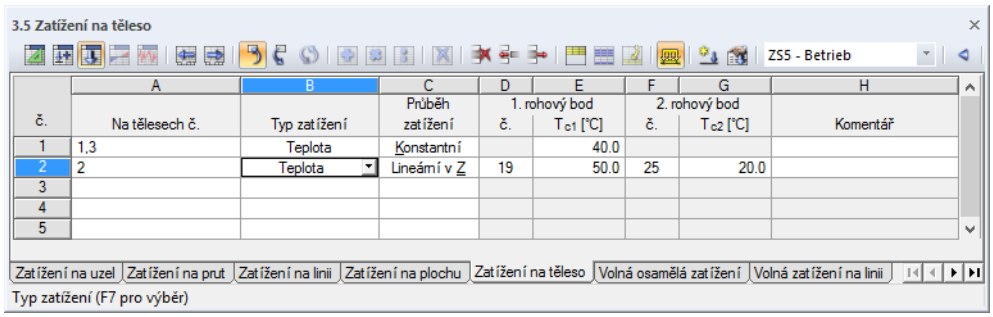
Obecný popis

Zatížení na těleso působí na všechny 3D prvky tělesa (viz kapitola 4.5).

Před zadáním zatížení na těleso je třeba mít již definováno aspoň jedno těleso.



Obrázek 6.31 Dialog *Nové zatížení na těleso*



Obrázek 6.32 Tabulka 3.5 *Zatížení na těleso*

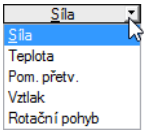
Číslo zatížení se v dialogu *Nové zatížení na těleso* vyplní automaticky, uživatel ho však může změnit.

Na tělesech č.

V tomto poli se uvedou čísla těles, na která má zatížení působit. Tělesa lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o zatížení. Po kliknutí na tlačítko [OK] následně vybereme myší příslušná tělesa v grafickém okně.

Typ zatížení



V této sekci určíme, o jaký typ zatížení se jedná. V dialogu se dynamicky zobrazí typy zatížení a parametry zadání. K dispozici jsou následující typy zatížení:

Typ zatížení	Krátký popis
Síla	Zatížení na těleso působící rovnoměrně ve směru některé globální osy.

Teplota	Konstantní nebo lineárně proměnné zatížení tělesa teplotou. Kladná hodnota zatížení znamená, že se těleso zahřívá.
Přetvoření	Rovnoměrné nebo lineárně proměnné vynucené protažení nebo zkrácení tělesa. Kladná hodnota zatížení znamená, že se těleso prodlužuje.
Vztlak	Tíhová síla vytlačovaného materiálu, příslušnou hustotu můžeme zadat ručně nebo [Převzít z databáze materiálů...]. *Hustota prostředí* se vztahuje ke standardní atmosféře 15 °C na úrovni hladiny moře.
Rotační pohyb	Odstředivá síla hmoty a úhlová rychlost ω působící na těleso. Osu rotačního pohybu je třeba zadat po kliknutí na tlačítko ve zvláštním dialogu.

Tabulka 6.7 Typy zatížení

Na tělesa můžeme dále zadat plošná či liniová zatížení.

Průběh zatížení

Zatížení na těleso může mít *konstantní* nebo *lineárně* proměnný průběh. Zatížení se definují v globálním souřadném systému X, Y nebo Z.

V případě lineárně proměnných zatížení je přitom třeba zadat dva uzly, jimž se přiřadí hodnoty zatížení. Tyto uzly mohou ležet i vně zatíženého tělesa, musí v nich však být vytvořeny uzly sítě KP.

Velikost zatížení

V této sekci dialogu, resp. ve sloupcích v tabulce se zadávají velikosti zatížení a případně příslušné uzly. Pole jsou přístupná a opatřena odpovídajícím popisem v závislosti na předešlém nastavení.

Uzel č.

U lineárně proměnných zatížení je třeba zadat dva uzly, na které se hodnoty zatížení vztahují. Pomocí těchto uzlů se zadá rovina. Uzly lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Velikost zatížení

V případě konstantního zatížení na těleso se zadává pouze jedna hodnota zatížení, u lineárně proměnného zatížení teplotou nebo protažením je třeba zadat dvě hodnoty.

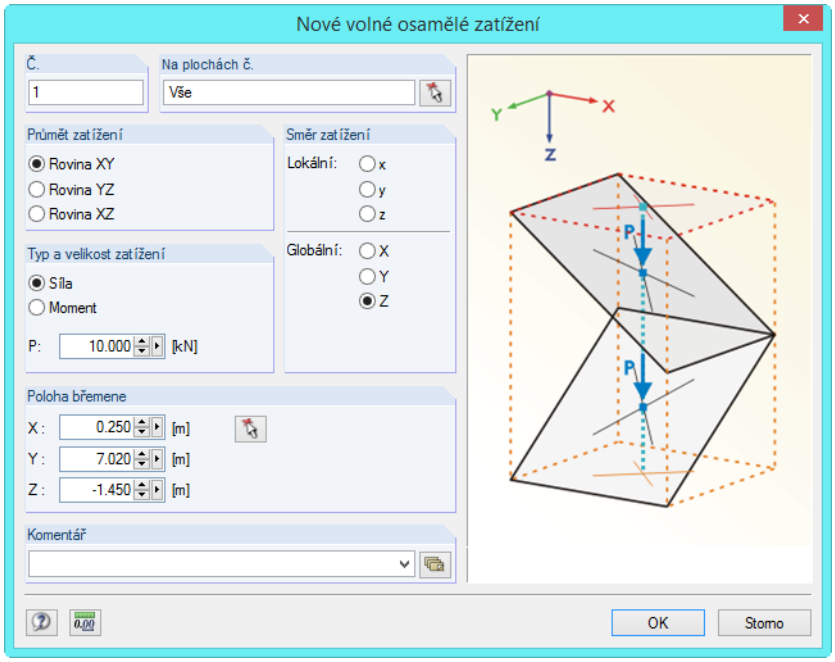
6.6 Volná osamělá zatížení

Obecný popis

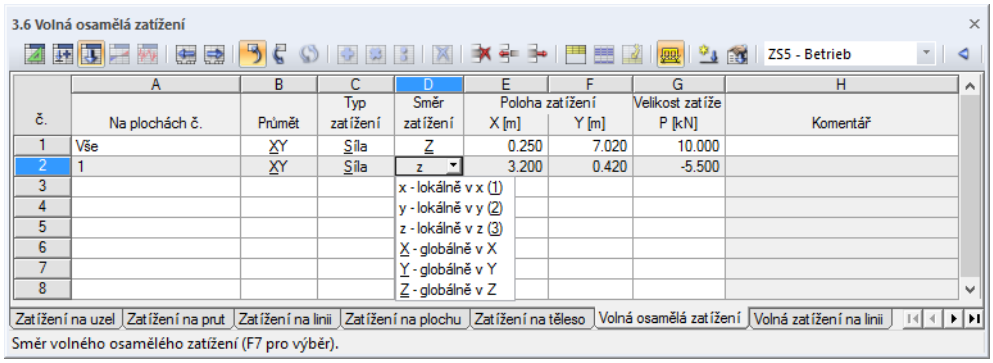
Volné osamělé zatížení je síla nebo moment působící v libovolném místě určené plochy. V bodě působení zatížení není vytvořen žádný uzel sítě KP.

Před zadáním volného osamělého zatížení je třeba mít již definovanou aspoň jednu plochu.

Uzlové reakce, které se importují z jiného modelu pomocí funkce *Převzít reakce jako zatížení...* (viz obr. 8.13), se uloží jako volná osamělá zatížení.



Obrázek 6.33 Dialog *Nové volné osamělé zatížení*



Obrázek 6.34 Tabulka 3.6 *Volná osamělá zatížení*

Na plochách č.

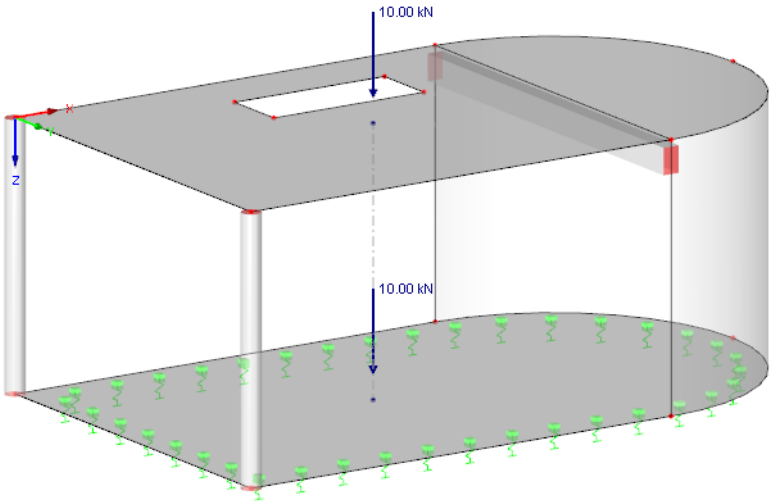
V tomto poli se zadají čísla ploch, na které má zatížení působit. Plochy lze pomocí funkce vybrat také v grafickém okně.

Z bodu zadaného ve sloupcích *Poloha zatížení* je vedena přímka kolmo k rovině průmětu zatížení. Pokud tato přímka prochází některou plochou uvedenou v seznamu, je zatížení umístěno do průsečíku přímky s danou plochou. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

Průmět zatížení

Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak jsme již zmínili výše, bude z bodu uvedeného ve sloupcích pro zadání polohy zatížení vedena pomyslná přímka kolmo na rovinu průmětu zatížení. Zatížení se pak umístí do všech průsečíků této přímky s plochou.

Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na plochu, na kterou má působit zatížení. V takovém případě nelze najít jednoznačný průsečík přímky s danou plochou.



Obrázek 6.35 Volné osamělé zatížení na strop: rovina průmětu zatížení XY s působením zatížení na stropní a základovou desku

Typ zatížení

V této sekci uvedeme, zda se jedná o osamělou sílu nebo moment. V dialogu pak ve vstupním poli pod přepínačem uvedeme hodnotu zatížení.

Směr zatížení

Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os plochy x, y, z. Lokální osy plochy lze zobrazit buď z navigátoru *Zobrazit* tak, že zaškrtneme položku **Model** ⟶ **Plochy** ⟶ **Osové systémy plochy x,y,z** nebo z místní nabídky konkrétní plochy (viz obr. 4.121 <a>).

Poloha zatížení

Bod působení zatížení zadáme tak, že do příslušných polí uvedeme jeho přesné souřadnice nebo ho v dialogu určíme graficky pomocí funkce .

Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v poli v dialogu uvedeme hodnotu osamělé síly nebo momentu.

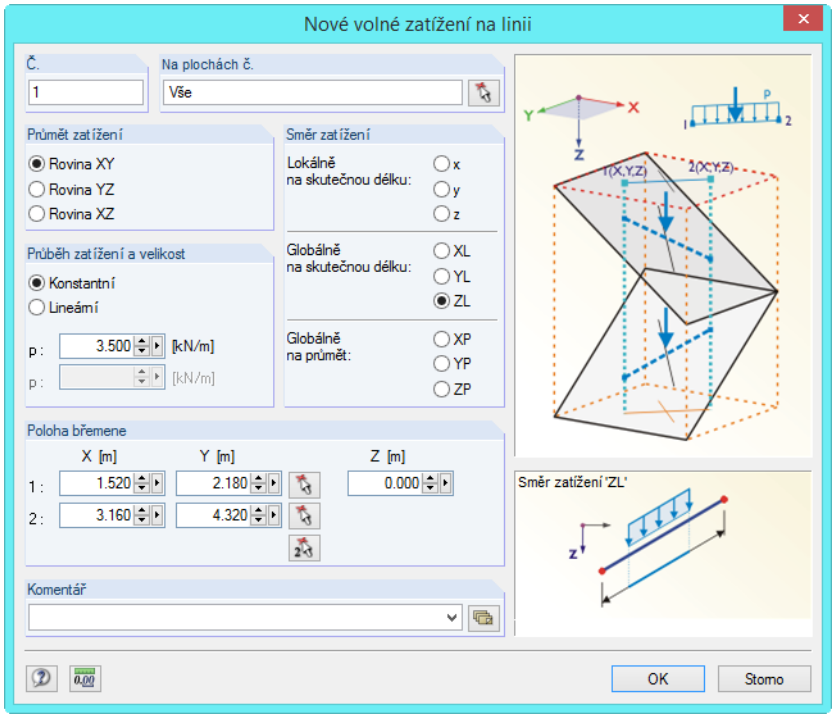
6.7 Volná zatížení na linii

Obecný popis

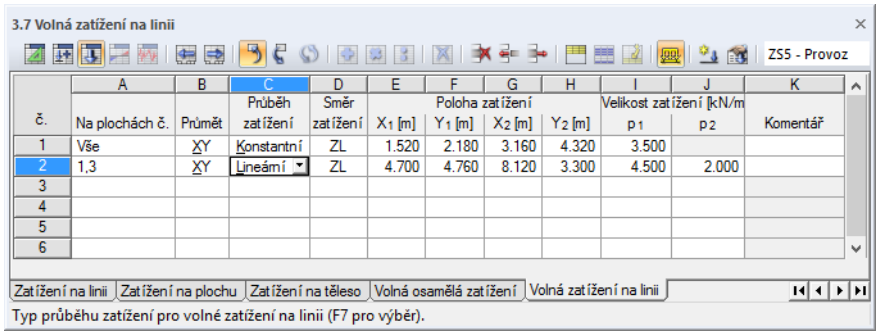
Volné liniové zatížení je konstantní nebo lineárně proměnné silové zatížení, které působí po celé délce libovolné, volně definované linie. Na linii nejsou vytvořeny žádné uzly sítě KP.

Před zadáním volného zatížení na linii je třeba mít již definovanou aspoň jednu plochu.

Liniové reakce, které se importují z jiného modelu pomocí funkce *Převzít reakce jako zatížení...* (viz obr. 8.13), se uloží jako volná zatížení na linii.



Obrázek 6.36 Dialog *Nové volné zatížení na linii*



Obrázek 6.37 Tabulka 3.7 *Volná zatížení na linii*

Na plochách č.

V tomto poli se uvedou čísla ploch, na které má zatížení působit. Plochy lze vybrat pomocí funkce také v grafickém okně.

Z obou bodů, zadaných ve sloupcích *Poloha zatížení*, jsou vedeny přímky kolmo k rovině průmětu zatížení. Pokud tyto přímky prochází některou plochou ze seznamu, je zatížení vloženo na spojnici obou průsečíků. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

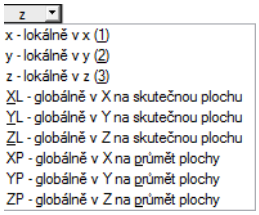
Průmět zatížení

Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak jsme již zmínili výše, budou z obou bodů, kterými se stanoví poloha zatížení, vedeny pomyslné přímky kolmo k rovině průmětu zatížení. Počáteční a koncové body volného liniového zatížení se pak umístí do všech průsečíků těchto přímek s plochami. Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na plochu, na kterou má působit zatížení. V takovém případě nelze najít jednoznačné průsečíky přímek s danou plochou.

Průběh zatížení

V této sekci uvedeme, zda se jedná o konstantní nebo lineárně proměnnou sílu. V dialogu pak ve vstupním poli pod přepínačem uvedeme jednu, resp. dvě hodnoty zatížení.

Směr zatížení



Zatížení může působit ve směru lokálních os plochy x, y, z nebo globálních os X, Y, Z. Zatížení působící kolmo na plochu se zpravidla zadávají lokálně ve směru osy z.

U globálně definovaného volného liniového zatížení, které nepůsobí kolmo na linii, lze účinek zatížení vztáhnout na různé referenční délky:

- **Vztaženo na skutečnou délku linie**

  Zatížení bude působit na celkovou, skutečnou délku linie.

- **Vztaženo na průmět délky linie v X / Y / Z**

  Zatížení působí na průmět linie ve směru příslušné osy globálního souřadného systému. V dialogu vpravo dole se příslušné délky názorně zobrazí.

Poloha zatížení

Bod působení zatížení zadáme tak, že do příslušných polí uvedeme jeho přesné souřadnice nebo ho v dialogu určíme graficky pomocí funkce .

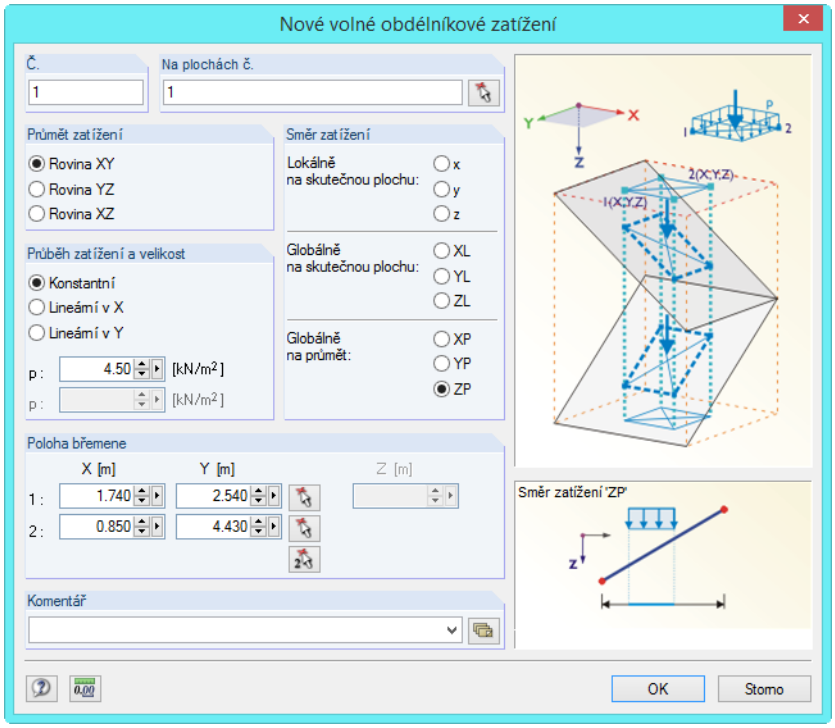
Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušném poli v dialogu uvedeme hodnotu liniového zatížení.

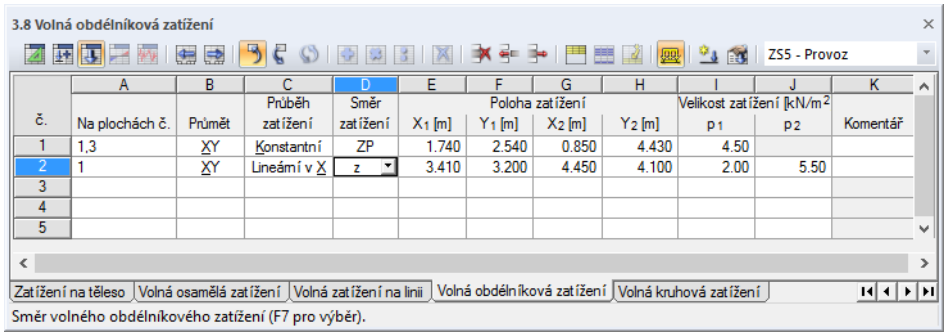
6.8 Volná obdélníková zatížení

Obecný popis

Volné obdélníkové zatížení je konstantní nebo lineárně proměnné plošné silové zatížení na obdélníkové části plochy.



Obrázek 6.38 Dialog *Nové volné obdélníkové zatížení*



č.	A Na plochách č.	B Průmět	C Průběh zatížení	D Směr zatížení	E X1 [m]	F Y1 [m]	G X2 [m]	H Y2 [m]	I p1	J p2	K Komentář
					Poloha zatížení				Velikost zatížení [kN/m²]		
1	1,3	XY	Konstantní	ZP	1.740	2.540	0.850	4.430	4.50		
2	1	XY	Lineární v X	z	3.410	3.200	4.450	4.100	2.00	5.50	
3											
4											
5											

Obrázek 6.39 Tabulka 3.8 *Volná obdélníková zatížení*

Na plochách č.

V tomto poli se uvedou čísla ploch, na které má zatížení působit. Výběr lze provést také graficky pomocí .

Počínaje rohovými body *polohy zatížení* se vytvářejí přímky kolmo na rovinu průmětu. Pokud tyto přímky prochází některou plochou ze seznamu, jejich průsečíky s touto plochou definují vrcholy polygonu vymezujícího plochu, na kterou působí zadané zatížení. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

Průmět zatížení

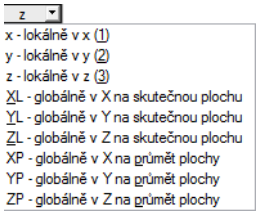
Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak bylo popsáno výše, vytvoří se z obou poloh zatížení přímky kolmo na rovinu průmětu. Definiční body obdélníku jsou potom převzaty všude tam, kde tyto pomyslné přímky protínají plochu.

Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na plochu, na kterou má působit zatížení. V takovém případě nelze najít jednoznačné průsečíky přímek s danou plochou.

Průběh zatížení

V této sekci uvedeme, zda se jedná o konstantní nebo lineárně proměnné zatížení. V dialogu pak ve vstupním poli pod přepínačem uvedeme jednu, resp. dvě hodnoty zatížení.

Směr zatížení



Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os plochy x, y, z.

- **Lokálně na skutečnou plochu**

  Zatížení působící kolmo na plochu se zpravidla zadávají lokálně ve směru osy **z**.

- **Globálně na skutečnou plochu**

  Pokud zatížení působí ve směru některé osy globálního souřadného systému XYZ, nemusíme se již v případě výpočtu podle teorie I. řádu zajímat o orientaci lokálních os plochy. Zatížení může být vztaženo na skutečnou plochu jako například v případě účinku „Vlastní tíha“.

- **Globálně na průmět**

  Zatížení působí na průmět plochy ve směru příslušné osy globálního souřadného systému. Tato volba se zaškrtne například v případě zatížení sněhem. V dialogu v grafickém okně vpravo se průměty ploch názorně zobrazí.

Poloha zatížení

Bod působení zatížení zadáme tak, že do příslušných polí uvedeme jeho přesné souřadnice nebo ho v dialogu určíme graficky pomocí funkce .

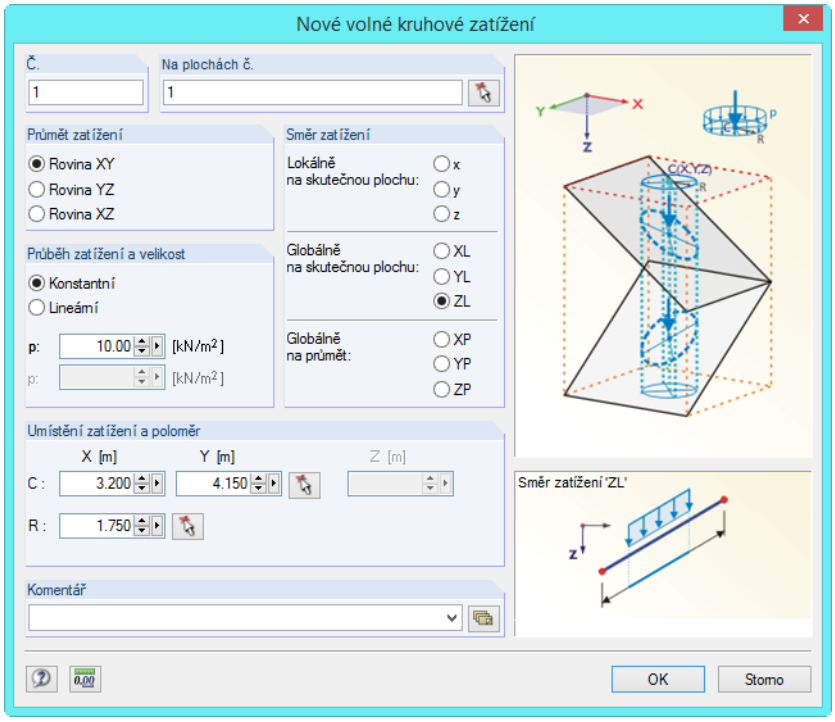
Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušném poli v dialogu uvedeme hodnotu plošného zatížení.

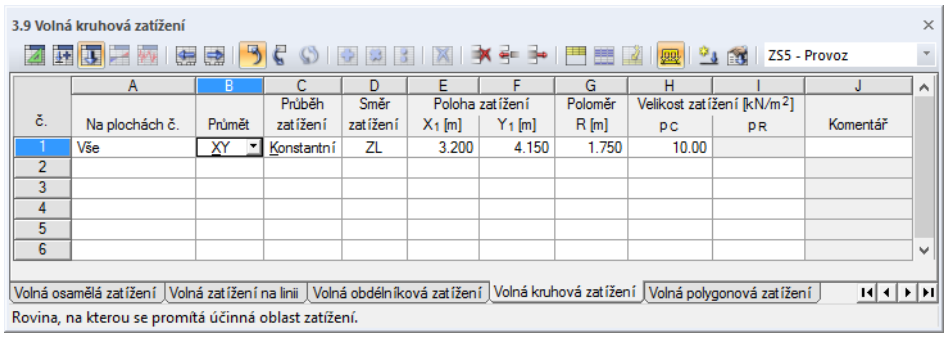
6.9 Volná kruhová zatížení

Obecný popis

Volné kruhové zatížení je konstantní nebo lineárně proměnné plošné silové zatížení na kruhové části plochy.



Obrázek 6.40 Dialog *Nové volné kruhové zatížení*



Obrázek 6.41 Tabulka 3.9 *Volná kruhová zatížení*

Na plochách č.

V tomto poli se uvedou čísla ploch, na které má zatížení působit. Plochy lze pomocí funkce vybrat i v grafickém okně.

Z bodu zadaného ve sloupcích *Poloha zatížení* je vedena přímka kolmo k rovině průmětu zatížení. Pokud tato přímka prochází některou plochou ze seznamu, je zatížení vloženo na kruhovou plochu určenou průsečíkem jako středem a poloměrem R. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

Průmět zatížení

Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak jsme již zmínili výše, bude z bodu působení zatížení vedena pomyslná přímka kolmo na rovinu průmětu zatížení. V průsečíku přímky s rovinou vznikne střed kružnice, jíž je definováno volné kruhové zatížení.

Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na plochu, na kterou má působit zatížení. V takovém případě nelze najít jednoznačné průsečíky přímek s danou plochou.

Průběh zatížení

V této sekci uvedeme, zda se jedná o konstantní nebo lineárně proměnné zatížení. V dialogu pak ve vstupním poli pod přepínačem uvedeme jednu, resp. dvě hodnoty zatížení.

Směr zatížení

Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os plochy x, y, z. Směry zatížení popisujeme v předchozí kapitole 6.8.

Poloha zatížení

Střed kružnice C pro definování kruhového zatížení zadáme tak, že uvedeme v příslušných polích jeho souřadnice nebo ho v dialogu určíme graficky pomocí funkce .

Poloměr

V tomto poli uvedeme poloměr R pro definování kruhového plošného zatížení. V dialogu lze poloměr stanovit i graficky pomocí funkce .

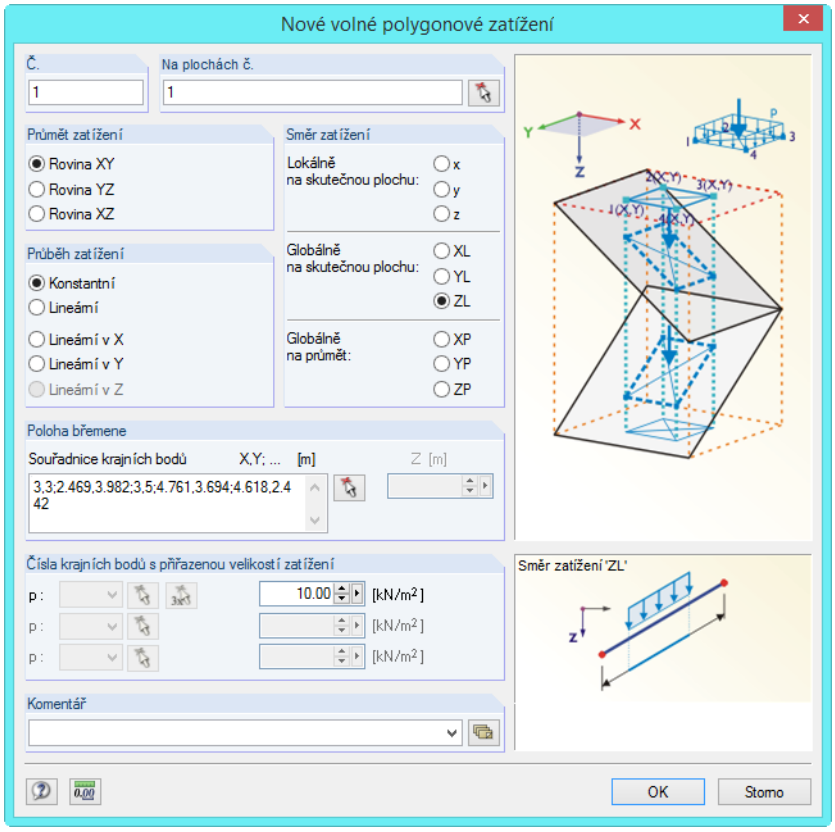
Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušném poli v dialogu uvedeme hodnotu plošného zatížení.

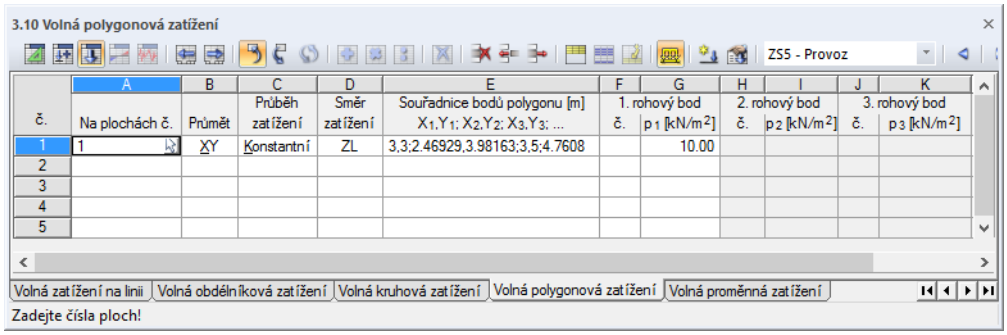
6.10 Volná polygonová zatížení

Obecný popis

Volné polygonové zatížení je konstantní nebo lineárně proměnné plošné silové zatížení na polygonem vymezené části plochy.



Obrázek 6.42 Dialog *Nové volné polygonové zatížení*



Obrázek 6.43 Tabulka 3.10 *Volná polygonová zatížení*

Na plochách č.

V tomto poli se uvedou čísla ploch, na které má zatížení působit. Výběr lze provést také graficky pomocí .

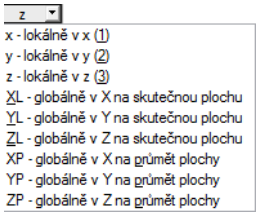
Počínaje rohovými body *polohy zatížení* se vytvářejí přímky kolmo na rovinu průmětu. Pokud tyto přímky prochází některou plochou ze seznamu, jejich průsečíky s touto plochou definují vrcholy polygonu vymezujícího plochu, na kterou působí zadané zatížení. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

Průmět zatížení

Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak jsme již zmínili výše, budou z bodů, jimiž se stanoví poloha břemene, vedeny přímky kolmo k rovině průmětu zatížení. Krajní body zatížené polygonové plochy se vytvoří ve všech průsečících přímek s plochou.

Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na rovinu, na kterou má působit zatížení. V takovém případě

nelze najít jednoznačné průsečíky přímek s danou plochou.



Průběh zatížení

V této sekci uvedeme, zda se jedná o konstantní nebo lineárně proměnné zatížení. V dialogu v sekci *Čísla krajních bodů s přiřazenou velikostí zatížení* uvedeme pak jednu hodnotu (pro *konstantní* zatížení), resp. dvě (pro zatížení *lineární v X / Y / Z*) nebo tři hodnoty zatížení (pro *lineární*).

Směr zatížení

Zatížení může působit ve směru globálních os X, Y, Z nebo lokálních os plochy x, y, z. Směry zatížení popisujeme v kapitole 6.8.

Poloha břemene

Oblast působení zatížení zadáme tak, že uvedeme *souřadnice krajních bodů* plochy polygonu nebo je v dialogu, jak doporučujeme, určíme graficky pomocí funkce . Souřadnice krajních bodů polygonu jsou odděleny čárkou, jednotlivé dvojice souřadnic pak středníkem.

Příklad: souřadnice rohového bodu X, Y [m] 2, 3; 1.6, 4.7; 5, 45; 6, 25; 3, 2

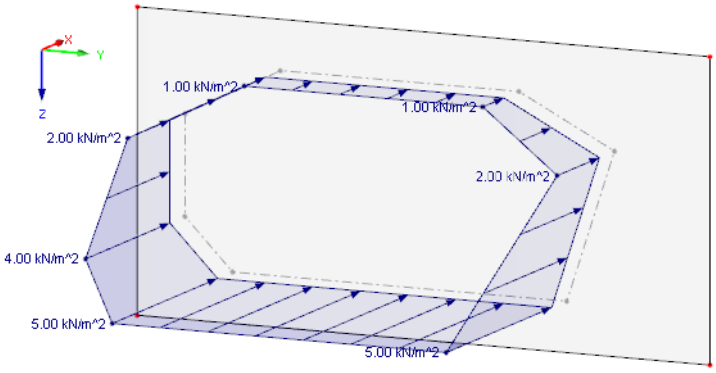
Třetí souřadnice krajních bodů se stanoví automaticky na základě roviny průmětu zatížení. Ve výše uvedeném příkladu se jedná o souřadnici *Z*, kterou lze v dialogu zadat i ručně v samostatném vstupním poli. Při grafickém výběru nehraje tato souřadnice žádnou roli, protože rozhodující je aktuální pracovní rovina.

Čísla krajních bodů

V případě lineárně proměnného plošného zatížení je třeba zadat dva krajní body (pro zatížení (*lineární v*) nebo tři krajní body (pro *lineární* zatížení), jimž se přiřadí určité hodnoty zatížení. Lze přitom uvést, resp. graficky vybrat pouze ty krajní body, kterými byly v sekci *Poloha břemene* definovány hraniční linie, tzn. nikoli uzly sítě KP. Čísla krajních bodů se tak vztahují k pořadí dvojic *souřadnic bodů polygonu*.

Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušném poli v dialogu uvedeme hodnotu plošného zatížení. Vpřípadě lineárně proměnného zatížení je třeba zadat dvě, resp. tři hodnoty.

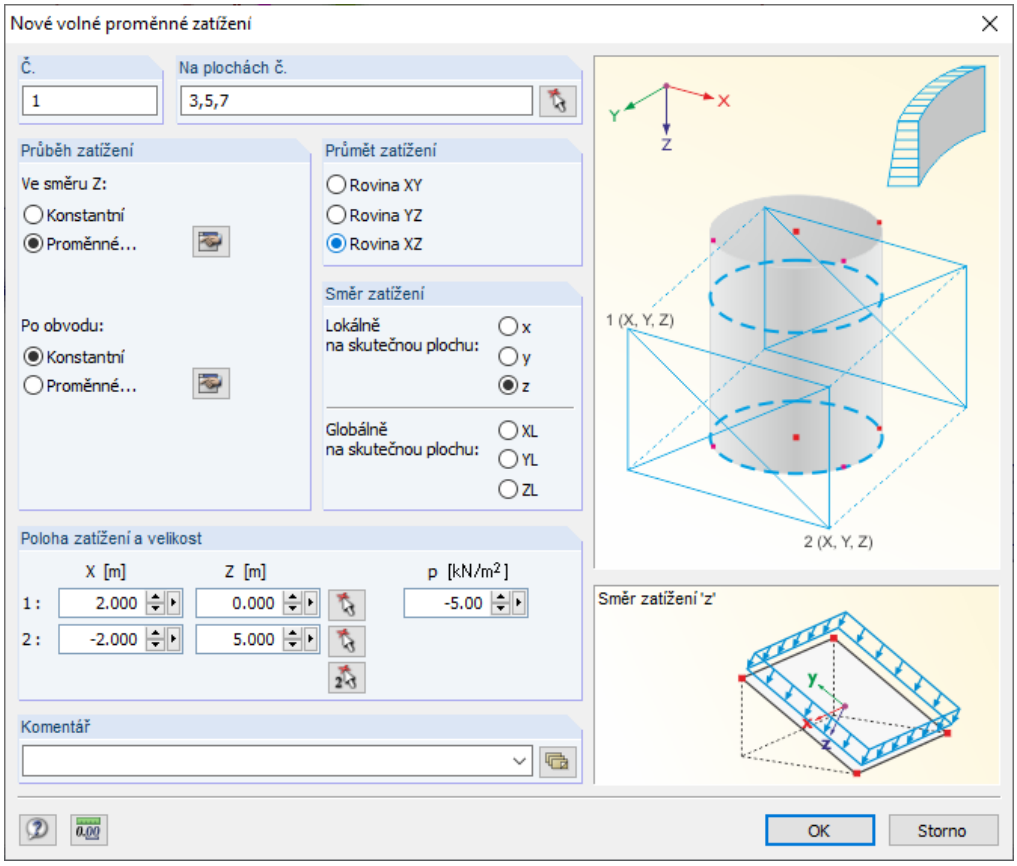


Obrázek 6.44 Volné polygonové zatížení lineárně proměnné v z: rovina průmětu zatížení YZ a směr zatížení lokální v z

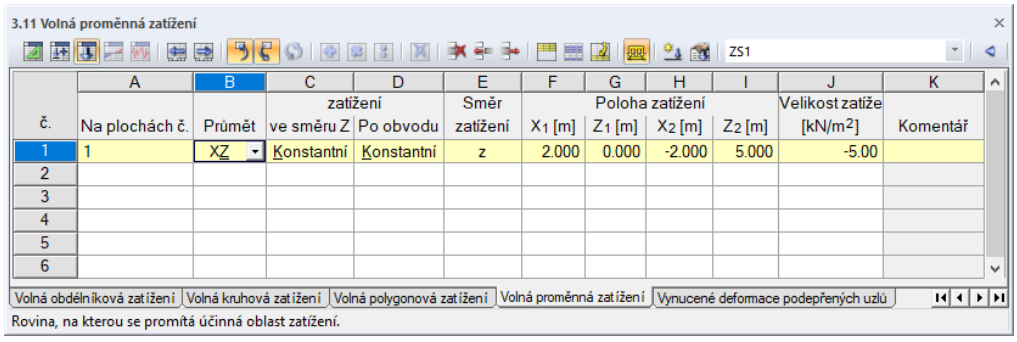
6.11 Volná proměnná zatížení

Obecný popis

Tato funkce umožňuje definovat zatížení na plochu, která mají konstantní nebo proměnné účinky na výšku a obvod ploch. Tak je možné modelovat např. zatížení nádrží a zatížení větrem pro rotačně symetrické konstrukční prvky.



Obrázek 6.45 Dialog *Nové volné proměnné zatížení*



Obrázek 6.46 Tabulka 3.11 *Volná proměnná zatížení*

Na plochách č.

V tomto poli se uvedou čísla ploch, na které má zatížení působit. Výběr lze provést také graficky pomocí .

Počínaje rohovými body *polohy zatížení* se vytvářejí přímky kolmo na rovinu průmětu. Pokud tyto přímky prochází některou plochou ze seznamu, jejich průsečíky s touto plochou definují vrcholy

polygonu vymezujícího plochu, na kterou působí zadané zatížení. Tímto způsobem lze stejné zatížení rychle umístit na několik ploch.

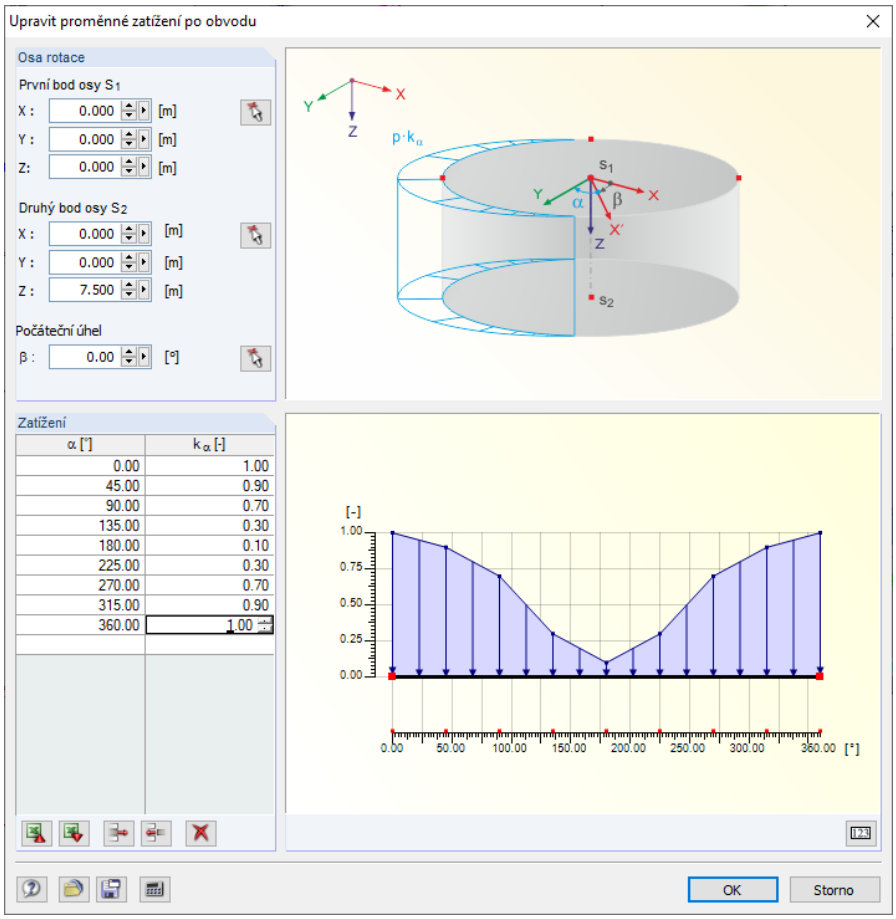
Rovina projekce

Zatížení lze promítnout do globální roviny XY, YZ nebo XZ. Jak jsme již zmínili výše, budou z bodů, jimiž se stanoví poloha břemene, vedeny přímky kolmo k rovině průmětu zatížení. Body obdélníku se poté uvažují ve všech průsečících přímek s plochou.

Rovina průmětu zatížení nesmí být kolmá na plochu, na kterou zatížení působí.

Průběh zatížení

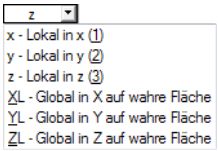
Zatížení na plochu mohou mít konstantní nebo proměnný účinek *ve směru Z* a/nebo *po obvodu*. Pomocí tlačítek je možné zadat parametry proměnných zatížení v samostatných dialozích.



Obrázek 6.47 Dialog *Upravit proměnné zatížení po obvodu*

Součinitel k_α na obr. 6.47 vztahuje k hodnotě zatížení *p* úvodního dialogu (viz níže).

Směr zatížení



Zatížení může působit ve směru lokálních os plochy x, y, z nebo globálních os X, Y, Z. Směry zatížení jsou popsány v kapitole 6.8.

Poloha zatížení

Souřadnice obdélníku podle grafiky v dialogu stanovují, ve kterém oblasti má zatížení působit. Tyto rohové body je možné určit graficky v dialogu pomocí .

Velikost zatížení

V tomto sloupci v tabulce, resp. v příslušném poli v dialogu uvedeme hodnotu plošného zatížení. V případě lineárně proměnného průběhu je možné pořadnice zatížení zadat v dialogu *Upravit proměnné zatížení* (viz obr. 6.47).

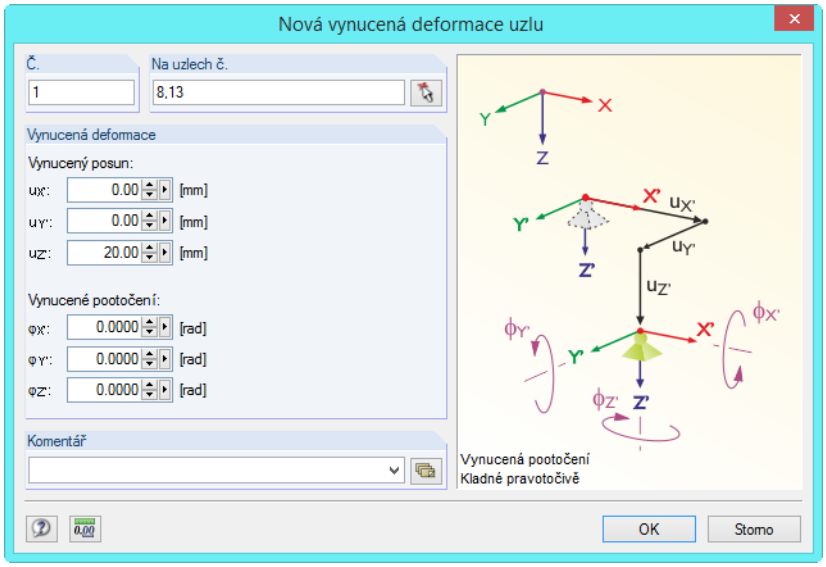
Příklady volných proměnných zatížení najdete v následujících článcích v naší databázi znalostí:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000965
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000988

6.12 Vynucené deformace podepřených uzlů

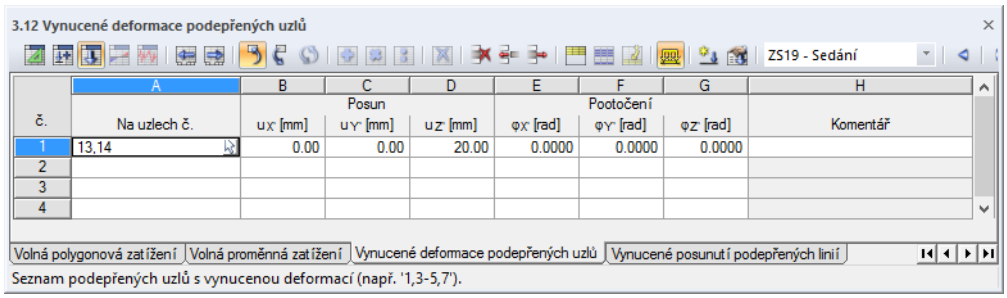
Obecný popis

Vynucená deformace uzlu je posun nebo pootočení podepřeného uzlu, ke kterému dochází např. při poklesu podpory.

Vynucené deformace lze použít pouze u těch uzlů, které mají odebrány stupně volnosti ve směru deformace.



Obrázek 6.48 Dialog *Nová vynucená deformace uzlu*



Obrázek 6.49 Tabulka 3.12 *Vynucené deformace podepřených uzlů*

Číslo zatížení se v dialogu *Nová vynucená deformace uzlu* vyplní automaticky, uživatel ho však může změnit.

Na uzlech č.

V tomto poli se zadají čísla uzlů, na které má vynucená deformace působit. Pruty lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve údaje o vynucené deformaci a po kliknutí na tlačítko [OK] vybereme v grafickém okně postupně příslušné uzly.

Vynucený posun $u_{X'}$ / $u_{Y'}$ / $u_{Z'}$

Vynucený posun je vztažen ke globálnímu souřadnému systému XYZ. Pokud posun podepřeného uzlu neprobíhá rovnoběžně s některou osou globálního souřadného systému, je třeba vypočítat složky X, Y a Z a uvést je do příslušných polí v dialogu nebo v tabulce.

V případě natočení podpory se vynucené posuny vztahují k pootočeným osám.

Grafické zobrazení v dialogu poskytuje názornou představu o účinku deformací a zadání znamének.

Vynucené pootočení $\varphi_{X'}$ / $\varphi_{Y'}$ / $\varphi_{Z'}$

Pootočení uzlů jsou rovněž vztažena ke globálnímu, případně natočenému souřadnému systému *XYZ*. Pokud vynucené pootočení působí v šikmém směru, pak je třeba působení také rozložit do složek in X, Y a Z.

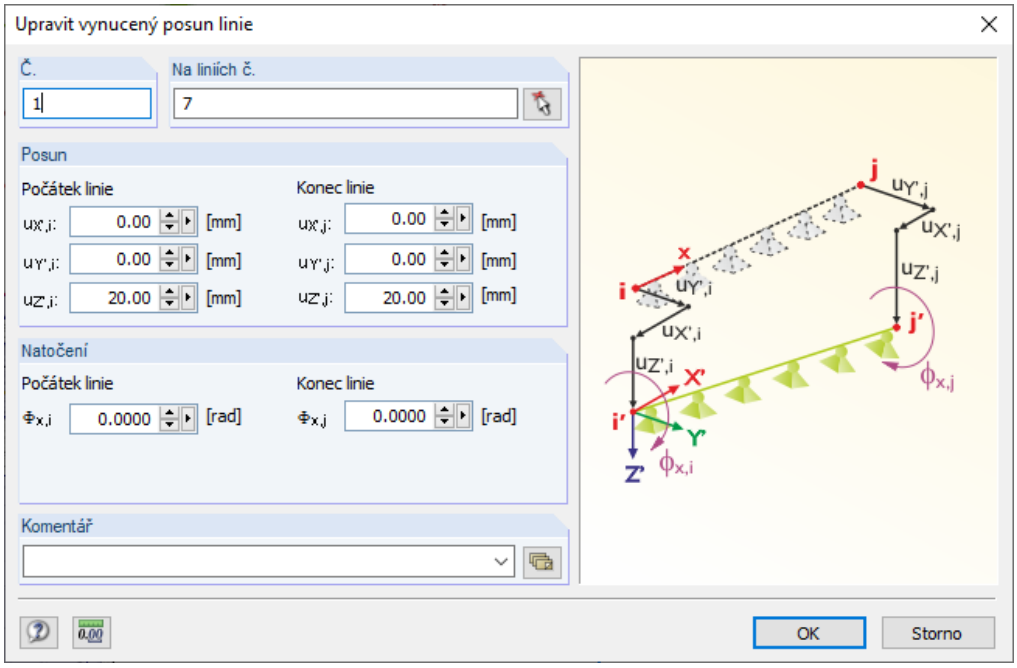
Kladné vynucené pootočení působí ve směru hodinových ručiček okolo kladné globální osy.

6.13 Vynucené posuny podepřených linií

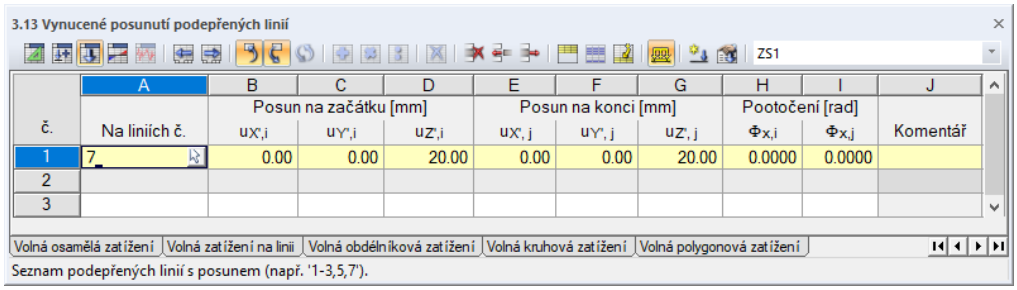
Obecný popis

Vynucený posun linie je posun podepřené linie například při poklesu základů.

Vynucené posunutí lze použít pouze u těch linií, které mají odebrány stupně volnosti ve směru posunu.



Obrázek 6.50 Dialog *Nový vynucený posun linie*



Obrázek 6.51 Tabulka 3.13 *Vynucené posuny podepřených linií*

Číslo zatížení se v dialogu *Nový vynucený posun linie* vyplní automaticky, uživatel ho však může změnit.

Na liniích č.

V tomto poli se uvedou čísla linií, na které má vynucená deformace působit. Linie lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Pokud jsme vybrali grafické zadání pomocí tlačítka, je třeba nejdříve zadat hodnoty pro *posun* nebo *natočení*. Po kliknutí na tlačítko [OK] je možné v pracovním okně postupně vybrat příslušné linie.

Posun u_X / u_Y / u_Z

Počátek linie

Vynucený posun je vztažen ke globálnímu souřadnému systému XYZ. V těchto polích definujeme posun na počátečním uzlu podepřené linie.

Pokud posun podepřené linie neprobíhá rovnoběžně s některou osou globálního souřadného systému, je třeba vypočítat složky X, Y a Z.

Konec linie

V těchto polích zadáme složky X,Y a Z pro posun na koncovém uzlu podepřené linie.

Orientaci linií zobrazíme z navigátoru *Zobrazit* tak, že označíme položku **Model** ⟶ **Linie** ⟶ **Orientace linie** (viz obr. 4.26).

Natočení Φ_x

Počátek linie

Ve vstupním poli lze zadat vynucené pootočení, které je na začátku linie. Působí lokálně okolo podélné osy x dané linie.

Konec linie

V vstupním tomto poli je možné zadat vynucené pootočení na konci linie.

6.14 Imperfekce

Obecný popis

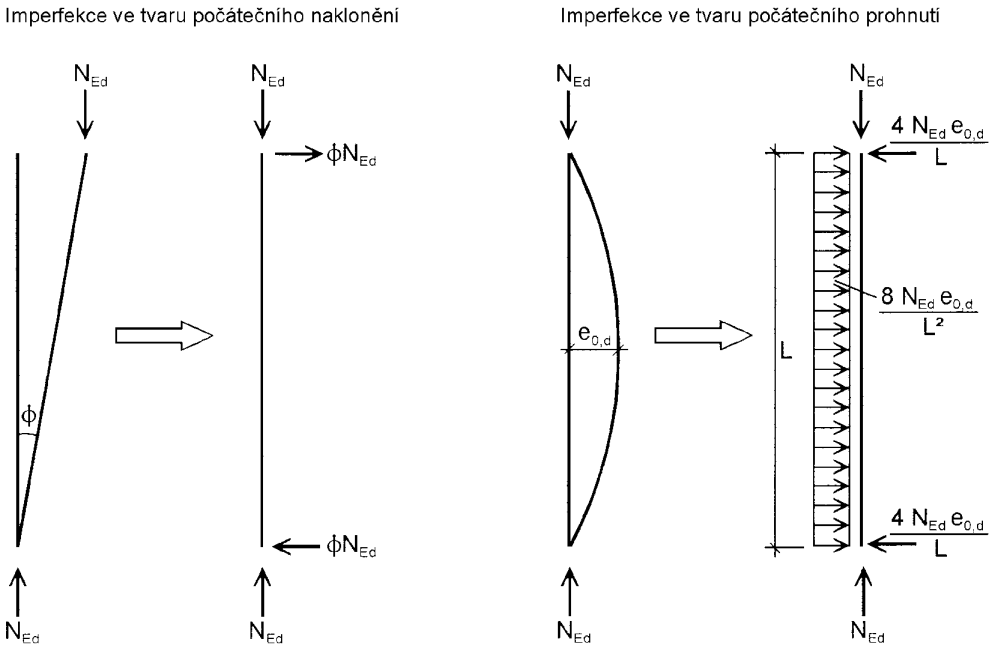
Imperfekce lze v RFEMu používat dvojím způsobem:

- pro jednotlivé pruty se zadají **náhradní zatížení**,
- počítá se na **náhradním modelu** konstrukce s počátečním přetvořením.

V této kapitole bude pojednáno o imperfekcích jako o náhradním zatížení. Více informací ke generování náhradních konstrukcí v přídavném modulu **RF-IMP** lze nalézt v kapitole 7.3.1.3.

Před zadáním náhradní imperfekce je třeba mít již definován aspoň jeden prut.

Imperfekce představují výrobně technické odchylky v geometrii konstrukce a ve vlastnostech materiálu. Podle EN 1993-1-1, čl. 5.3 lze imperfekce definovat jako počáteční zakřivení (prohnutí) nebo pootočení (naklonění). Imperfekce se přitom zohledňují ekvivalentním náhradním zatížením.

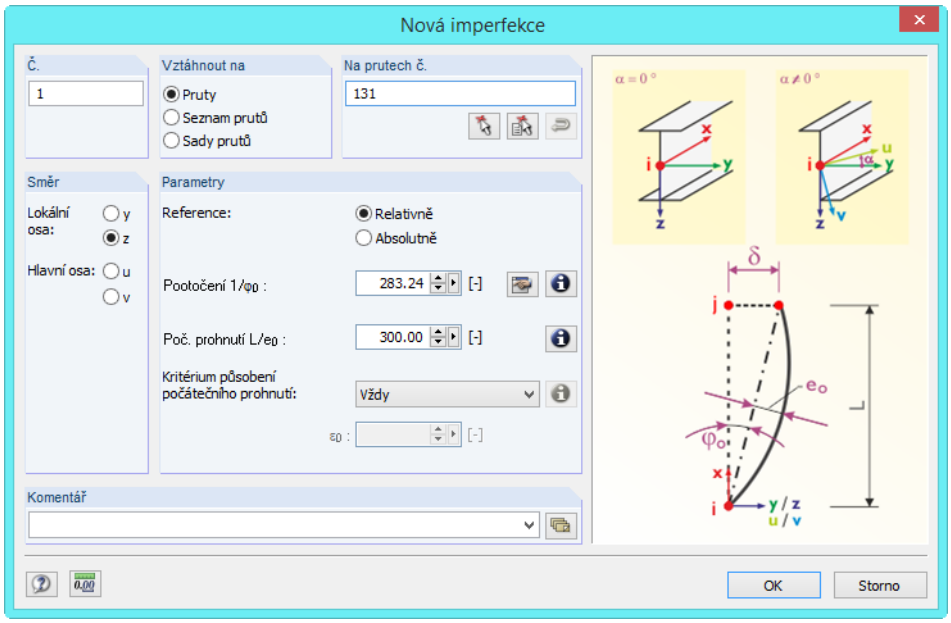


Obrázek 6.52 Náhradní zatížení podle EN 1993-1-1 (čl. 5.3)

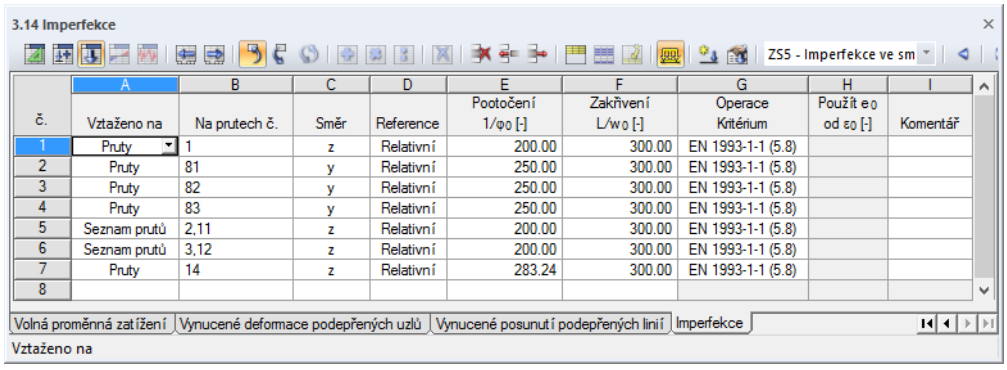
V RFEMu je možné náhradní zatížení zohlednit i při výpočtu podle teorie I. řádu. Přitom je třeba si uvědomit, že imperfekce sama o sobě nevyvolává žádné vnitřní síly. Proto musí na konstrukci přídatně působit „skutečné“ zatížení, v jehož důsledku v prutu vzniká normálová síla.

Zatížení a imperfekce doporučujeme definovat v samostatných zatěžovacích stavech. Vhodně kombinovat je lze následně v kombinacích zatížení. U zatěžovacích stavů, které obsahují výlučně imperfekce, je třeba v základních údajích zadat jako typ účinku **imperfekce** (viz obr. 5.3). Při kontrole správnosti by se jinak zobrazilo chybové hlášení kvůli chybějícímu zatížení.

Obecně jsou náhradní imperfekce afinní k prvnímu tvaru vybočení v nejméně příznivém směru.



Obrázek 6.53 Dialog *Nová imperfekce*



č.	A Vztaženo na	B Na prutech č.	C Směr	D Reference	E Pootočení 1/φ0 [-]	F Zakřivení L/w0 [-]	G Operace Kritérium	H Použít e0 od e0 [-]	I Komentář
1	Pruty	1	z	Relativní	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
2	Pruty	81	y	Relativní	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
3	Pruty	82	y	Relativní	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
4	Pruty	83	y	Relativní	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
5	Seznam prutů	2,11	z	Relativní	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
6	Seznam prutů	3,12	z	Relativní	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
7	Pruty	14	z	Relativní	283.24	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
8									

Obrázek 6.54 Tabulka 3.14 *Imperfekce*

Číslo imperfekce se v dialogu *Nová imperfekce* vyplní automaticky, uživatel ho však může změnit. Pořadí čísel nehraje žádnou roli.

Vztaženo na

V této sekci může uživatel vybrat, na které objekty má imperfekce působit. Volit lze mezi následujícími možnostmi:

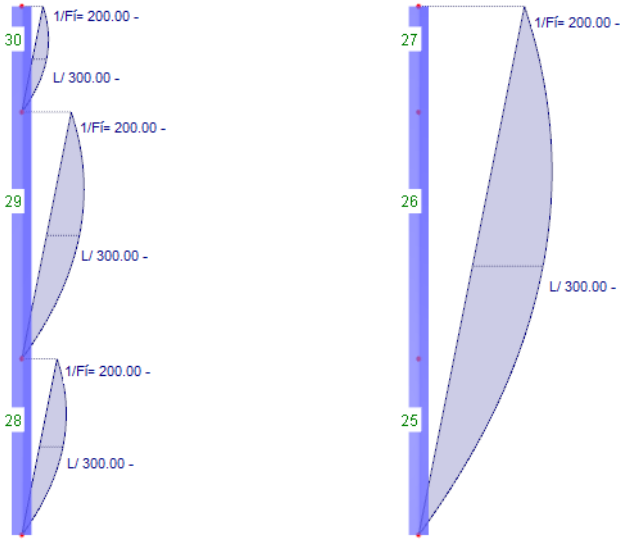
Pruty

Imperfekce působí na prut nebo na několik prutů jednotlivě.

Seznam prutů

Imperfekce působí v tomto případě na celou skupinu prutů, které jsou uvedeny v seznamu. Rozdíl oproti první možnosti je značný. Počáteční prohnutí a naklonění se tak vztahují na celkovou délku prutů uvedených v seznamu. Působení imperfekce na jednotlivé pruty a na seznam prutů lze porovnat na obr. 6.55.

Možnost vztáhnout imperfekci na seznam prutů dovoluje uživateli zadat imperfekci přesahující jeden prut, aniž by bylo třeba definovat nový sled prutů.



Obrázek 6.55 Imperfekce vztažená na *pruty* (vlevo) a na *seznam prutů* (vpravo)

Sady prutů

Imperfekce působí na určitou sadu nebo na několik sad prutů. I v tomto případě se parametry imperfekce budou uvažovat u prutů z dané sady jako celku.

Sady prutů se dělí na sledy prutů a skupiny prutů (viz kapitola 4.21). Imperfekce lze použít pouze v případě sledu prutů, který leží na linii. Pro vybočené sledy prutů či pro skupiny prutů nejsou vhodné.

Imperfekce ve tvaru počátečního prohnutí se aplikují po celé délce sady prutů. Náhradní zatížení pro vychýlení se naproti tomu vztahují na obsažené jednotlivé pruty.

Na prutech č.

V tomto poli se uvedou čísla prutů, popř. sad prutů, na které má imperfekce působit. Pruty lze vybrat i graficky pomocí funkce .

Pokud jsme zvolili grafické zadání, vyplníme nejdříve všechny údaje o imperfekci. Po kliknutí na [OK] postupně vybereme příslušné pruty nebo sady prutů v grafickém okně.

V případě imperfekcí vztažených na seznam prutů lze v dialogu upravit pořadí čísel prutů pomocí tlačítka [Otočit orientaci prutů]. Tím se změní i pootočení v grafickém zobrazení. Na výpočet tato změna nemá vliv, protože náhradní zatížení jsou stejná.

Směr

Imperfekce lze definovat pouze ve směru lokálních os prutu y nebo z. V případě nesymetrických průřezů lze případně vybrat i hlavní osy u a v (viz kapitola 4.13). Počáteční prohnutí nebo naklonění v globálním směru je vyloučeno. Reference na lokální osy prutu znamená, že imperfekce se přizpůsobí na směr deformace, která se nastaví v průběhu nelineárního výpočtu. Imperfekce tak v programu RFEM nepůsobí konzervativně, tzn. původní směr zatížení se mění s deformací prutu.

Orientaci os prutu se věnujeme v kapitole 4.17 . V případě symetrických průřezů představuje osa y takzvanou ‚silnou' osu, osa z pak ‚slabou' osu průřezu prutu.

Pokud jsme v základních údajích vybrali rovinnou konstrukci, je přístupný pouze směr z.

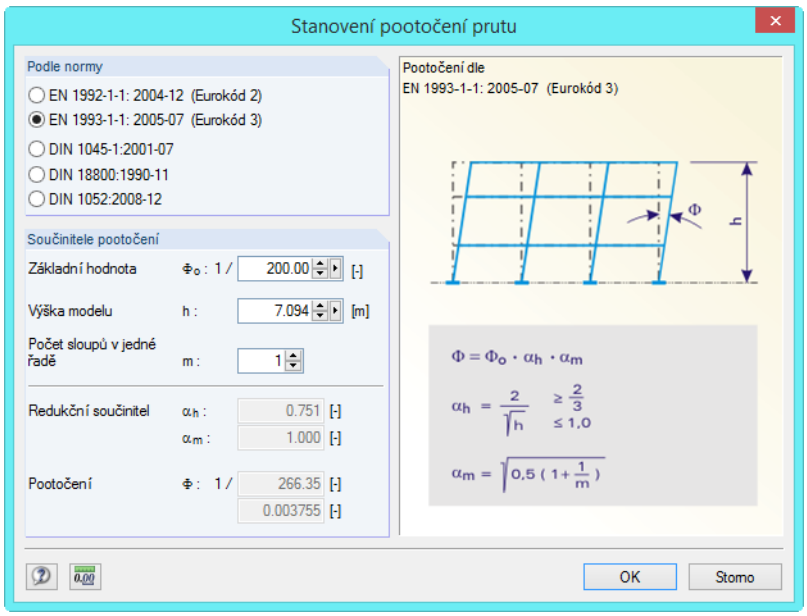
Reference

Velikost zakřivení nebo pootočení lze zadat dvěma způsoby: *relativní* způsob umožňuje zadat reciproké hodnoty φ_0 a e_0 vztažené k délce prutu, *absolutní* pak umožňuje zadat přímo geometrické hodnoty.

Naklonění 1 / φ_0

φ_0 udává míru naklonění, jak je popsáno např. v EN 1993-1-1, čl. 5.3. V tomto poli v dialogu, popř. ve sloupci v tabulce je třeba zadat převrácenou hodnotu φ_0, resp. absolutní hodnotu. Pomocí tlačítka [Informace o počátečním naklonění] lze parametry znázornit na obrázku.

Pokud klikneme na tlačítko [Spočítat naklonění podle normy a načíst hodnotu...], otevře se samostatný dialog, v němž lze dopočítat parametry imperfektního zatížení podle vybrané normy.



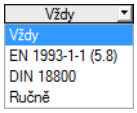
Obrázek 6.56 Dialog *Stanovení pootočení prutu*

V závislosti na výběru v sekci *Podle normy* se nám zobrazí parametry v sekci *Součinitele pootočení*. Na základě zadaných údajů se podle zvolené normy vypočítají redukční součinitele a pootočení. Jakmile klikneme na tlačítko [OK], převedou se hodnoty pootočení do výchozího dialogu.

Počáteční prohnutí l / e_0

Zakřivení w_0 (viz DIN 18800, část 2, čl. (204)), resp. $e_{0,d}$ podle EN 1993-1-1, čl. 5.3 stanoví míru prohnutí. Zakřivení závisí na křivce vzpěrné pevnosti průřezu a zadává se ve vztahu k délce prutu l, resp. v absolutních hodnotách.

Kritérium působení



Je několik možností, jak současně zohlednit pootočení a zakřivení prutů:

- **Vždy**

Zakřivení se zohlední v každém případě.

- **EN 1993-1-1 (5.8)**

Vliv zakřivení $e_{0,d}$ se u prutů uvažuje při překročení hodnoty štíhlosti $\bar{\lambda}$, která se určí podle EN 1993-1-1:2005, čl. 5.3.2 (6), rov. (5.8).

- **DIN 18800**

w_0 se uvažuje pouze v případě, že charakteristická hodnota prutu ε překročí určitou hodnotu. Směrodatná je přitom DIN 18800, část 2, čl. (207).

- **Ručně**

Kritérium působení může uživatel sám definovat.

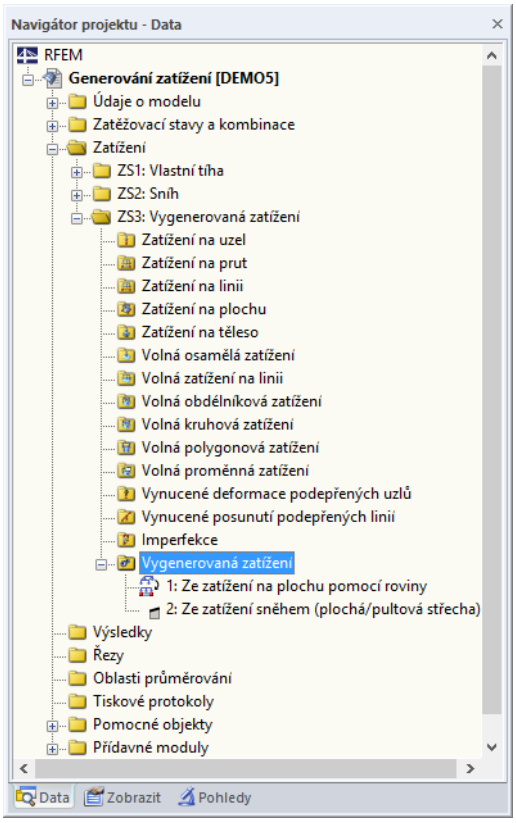
Po kliknutí na tlačítko [Informace o kritériu působení počátečního prohnutí] se nám kritéria působení ozřejmí na obrázku vpravo.

Použít w_0 od ε_0

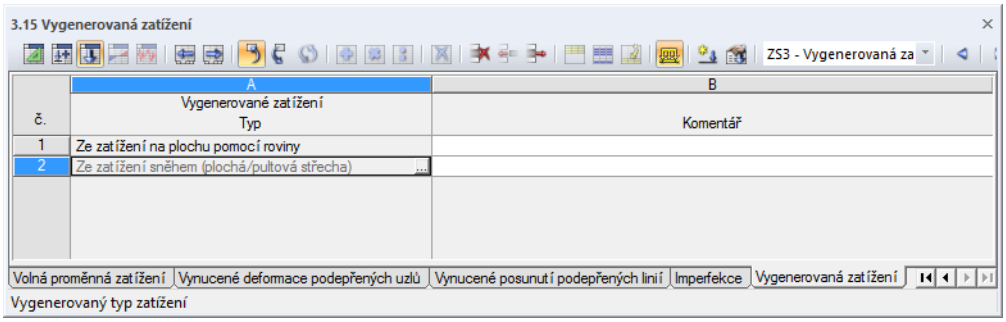
Pootočení a zakřivení se zohledňují současně, pokud je charakteristická hodnota prutu ε větší než hodnota zadaná v tomto poli. DIN 18800-2 č. (207) udává pro většinu případů $\varepsilon > 1{,}6$.

6.15 Vygenerovaná zatížení

RFEM nabízí řadu generátorů, pomocí nichž lze pohodlně vytvářet zatížení (viz kapitola 11.8). Vygenerovaná zatížení na pruty či plochy se pak zařadí do tabulky 3.15, resp. do navigátoru *Data*.

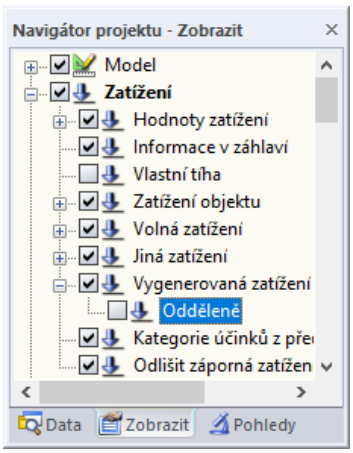


Obrázek 6.57 *Vygenerovaná zatížení* v navigátoru dat

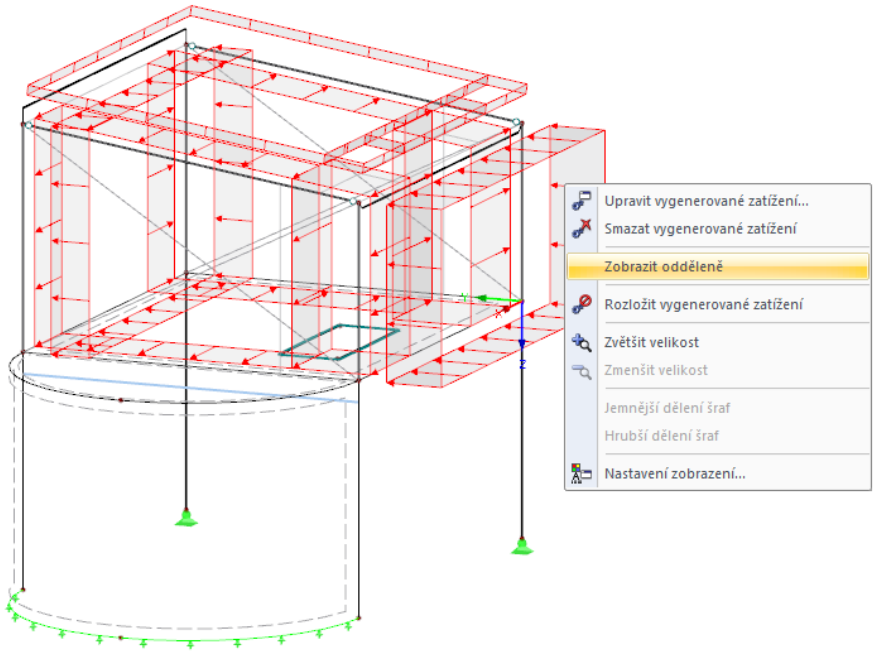


Obrázek 6.58 Tabulka 3.15 *Vygenerovaná zatížení*

Odtud máme přístup do původních dialogů pro generování zatížení v případě, že chceme zkontrolovat zadání zatížení nebo provést změny. Dvojím kliknutím na vybranou položku, resp. na tlačítko ... otevřeme výchozí dialog (viz např. obr. 11.194) a v něm můžeme upravit příslušné parametry.



V místní nabídce pro zatížení a v navigátoru *Zobrazit* je možné nastavit, zda se vygenerovaná zatížení mají zobrazit jako symbol zatížení na plochu nebo *odděleně* jako zatížení na pruty.



Obrázek 6.59 Místní nabídka vygenerovaných zatížení

7 Výpočet

7.1 Kontrola vstupních dat

Před spuštěním výpočtu doporučujeme provést kontrolu údajů o konstrukci a zatížení a navrženého modelu. Při kontrole se ověří, zda nechybí některé nezbytné údaje o jednotlivých prvcích konstrukce a zatížení, jestli jsou vztahy mezi daty definovány smysluplně a zda jim model odpovídá.

Případné chyby lze rychle opravit, protože problematický řádek lze přímo vyvolat v tabulce (viz obr. 7.2).

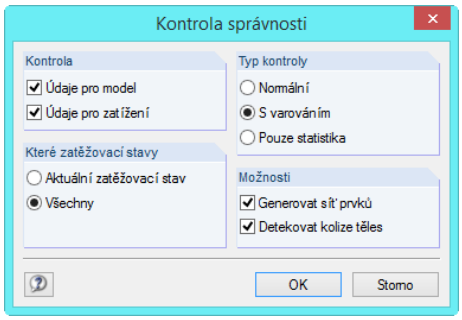
7.1.1 Kontrola správnosti

V programu RFEM lze ověřit správnost zadaných dat o konstrukci i zatížení. Kontrolu správnosti spustíme z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Kontrola správnosti...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Otevře se dialog, v němž stanovíme, která vstupní data se překontrolují.



Obrázek 7.1 Dialog *Kontrola správnosti*

V sekci *Typ kontroly* můžeme vybrat jednu ze tří možností:

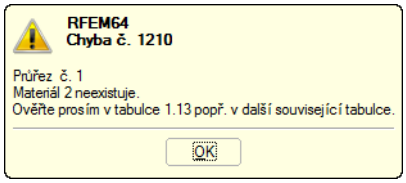
- **Normální**

  Jedná se o standardní kontrolu, při které se prověří úplnost zadaných parametrů a správnost nadefinovaných vztahů.

- **S varováním**

  Po označení této volby se provede důkladná kontrola, při níž program hledá také uzly se stejnými souřadnicemi nebo klouby s neomezenými stupni volnosti.

  Pokud program narazí na nesrovnalost, zobrazí se hlášení s přesnými údaji. Uživatel může kontrolu přerušit a ihned problém odstranit.



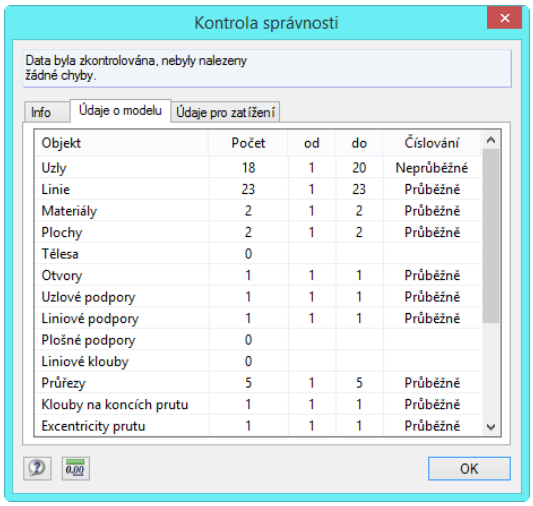
Obrázek 7.2 Kontrola správnosti s varováním

- **Pouze statistika**

  Tato funkce slouží k zobrazení bilance zadaných dat, například rozměrů modelu, celkové tíhy, počtu zadaných uzlů, linií, podpor, zatížení na prut nebo plochu apod.

Zaškrtávací políčko *Generovat síť prvků* umožňuje vygenerovat během kontroly správnosti také síť konečných prvků. Více informací lze najít v kapitole 7.2.

Bilance vstupních dat se zobrazí vždy po úspěšném ukončení všech tří druhů kontroly správnosti.



Obrázek 7.3 Výsledek kontroly správnosti, záložka *Údaje o modelu*

7.1.2 Kontrola modelu

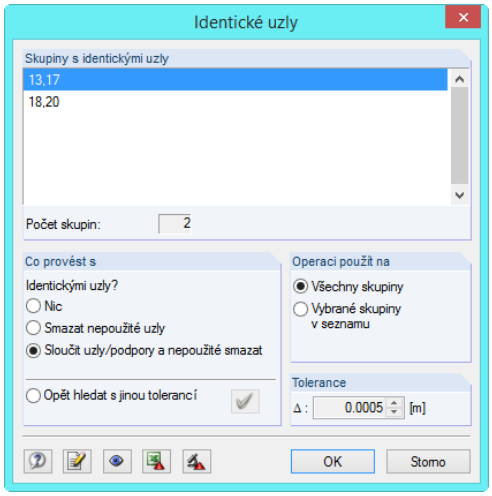
Kromě obecné kontroly správnosti, kterou popisujeme výše, lze provést důslednou kontrolu modelu, při které program cíleně vyhledává v modelu typické chyby. Pomocí hlavní nabídky

Nástroje → Kontrola modelu

je možné zvolit více možností kontroly.

Identické uzly

Program vyhledá uzly se stejnými souřadnicemi při zadané toleranci a zobrazí jejich seznam. Uzly jsou v něm rozděleny do skupin.



Obrázek 7.4 Výsledek kontroly identických uzlů v modelu

V sekci Co *provést s identickými uzly?* určíme, jak má program zpracovat stejné uzly. V sekci *Operaci použít na* zvolíme, zda má program danou operaci provést u všech skupin uzlů zobrazených v seznamu nahoře nebo pouze u aktuálně vybrané skupiny.

V sekci *Tolerance* lze přesně nastavit rozmezí, kdy budou souřadnice vyhodnoceny jako identické. Tato funkce je užitečná při importu modelů z aplikací CAD, které se často vyznačují krátkými liniemi, neboť uzly jsou zadány těsně vedle sebe. Pokud se při vhodně zvolené toleranci takové uzly vyfiltrují a sloučí, vyhneme se případným problémům při výpočtu.

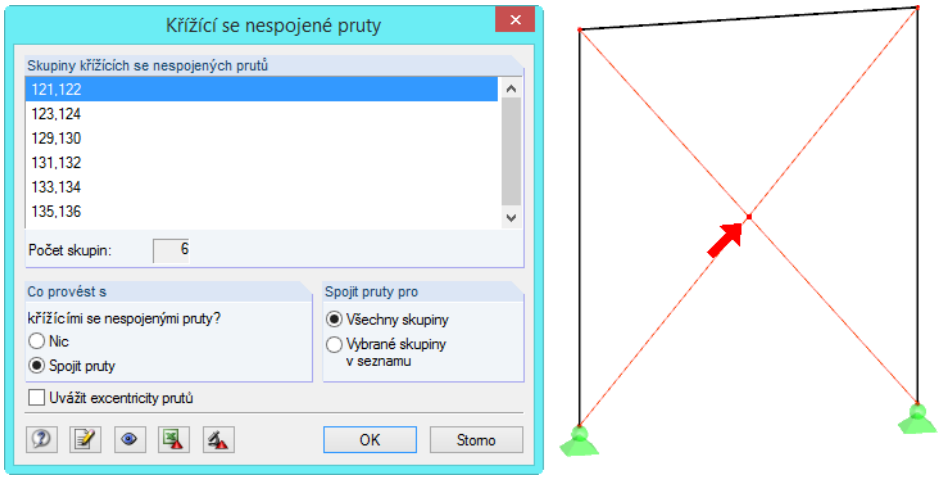
Překrývající se pruty

Pokud uživatel vybere tuto funkci, vyhledá program všechny pruty, které se částečně nebo po celé délce překrývají, a zobrazí jejich seznam.

Pruty jsou v něm zařazeny do skupin. Po kliknutí na [OK] bude vybraná skupina označena v grafickém zobrazení a uživatel ji může opravit.

Křížící se nespojené pruty

Při kontrole se vyhledají pruty, které se kříží, ale v průsečíku nejsou spojeny uzlem.



Obrázek 7.5 Výsledek kontroly křížících se prutů v modelu

V sekci *Skupiny křížících se nespojených prutů* se zobrazí výsledek kontroly. Zkřížené pruty jsou zde rozděleny do skupin. Aktuálně vybraná skupina se v grafickém zobrazení označí šipkou.

V sekci Co *provést s křížícími se nespojenými pruty?* uživatel určí, zda se mají nalezené pruty spojit. Volba *Spojit pruty* se použije pouze pro přenos vnitřních sil, nikoli však například pro běžné diagonální ztužení tahovými pruty.

Překrývající se linie

Pokud uživatel vybere tuto funkci, vyhledá program všechny linie, které se částečně nebo po celé délce překrývají, a zobrazí jejich seznam.

Linie jsou v něm zařazeny do skupin. Po kliknutí na [OK] bude vybraná skupina označena v grafickém zobrazení a uživatel ji může opravit.

Křížící se nespojené linie

Při kontrole se vyhledají linie, které se kříží, ale v průsečíku nejsou spojeny uzlem. V sekci *Skupiny křížících se nespojených linií* se zobrazí výsledek kontroly (viz obr. 7.5). Zkřížené linie jsou zde rozděleny do skupin. Aktuálně vybraná skupina se v grafickém zobrazení označí šipkou.

V sekci Co *provést s křížícími se nespojenými liniemi?* uživatel určí, zda se mají nalezené linie spojit.

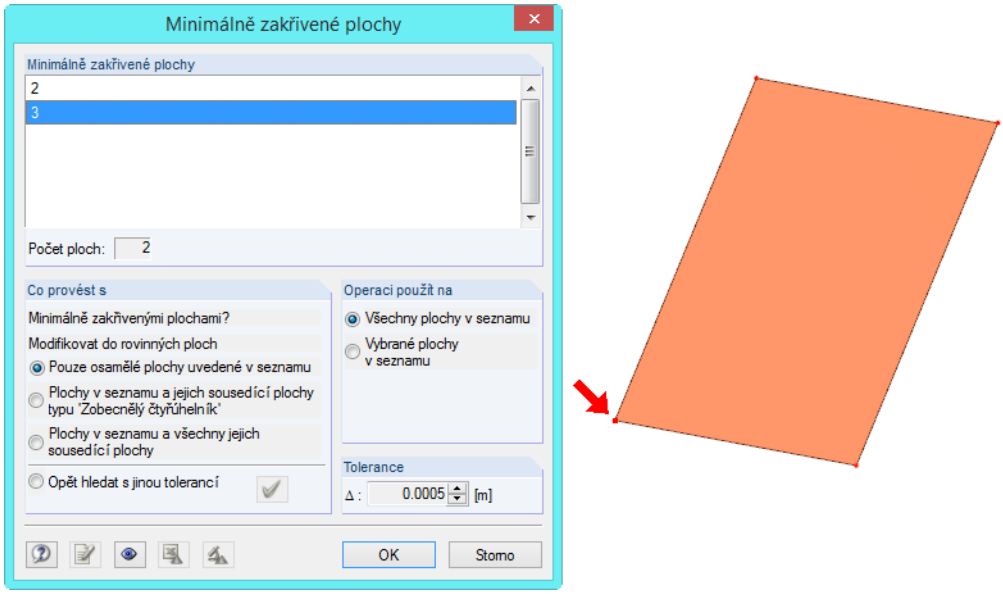
Překrývající se plochy

Pokud uživatel vybere tuto funkci, vyhledá program všechny plochy, které se zcela nebo částečně překrývají, a zobrazí jejich seznam.

Plochy jsou v něm zařazeny do skupin. Po kliknutí na [OK] bude vybraná skupina označena v grafickém zobrazení a uživatel ji může opravit.

Minimálně zakřivené plochy

Po spuštění této kontroly program vyhledá plochy, které vykazují minimální odklon od roviny.



Obrázek 7.6 Výsledek kontroly minimálně zakřivených ploch v modelu

V seznamu jsou tyto plochy zařazeny do skupin. Uzel z aktuálně vybrané plochy, který se vychyluje z roviny, se v pracovním okně vyznačí šipkou.

V sekci *Co provést s minimálně zakřivenými plochami?* určíme, jak má program dané plochy zpracovat. V sekci *Operaci použít na* zvolíme, zda má program danou operaci provést u všech ploch zobrazených v seznamu nahoře nebo pouze u aktuálně vybrané plochy.

V sekci *Tolerance* lze přesně nastavit hodnotu přípustné odchylky. V případě potřeby můžeme nechat vyhledat minimálně zakřivené plochy *opět s jinou tolerancí*.

Tlačítka

Tlačítka, která jsou k dispozici v jednotlivých dialozích pro kontrolu modelu konstrukce, mají následující funkce:

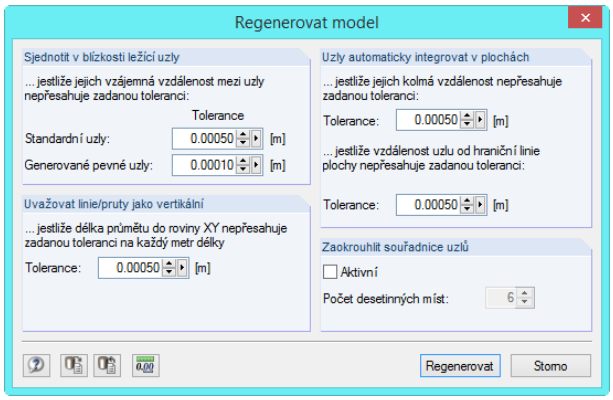
	Použije se řešení, které uživatel zvolil v sekci Co *provést s*?
	Umožňuje přepnout do pracovního okna RFEMu, kde lze změnit zobrazení.
	Seznam objektů se exportuje do tabulky ve formátu Excel.
	Vytvoří se výřez pro každou skupinu objektů.

Tabulka 7.1 Tlačítka v dialozích pro kontrolu modelu

7.1.3 Regenerace modelu

Program RFEM automaticky opraví případné drobné nesrovnalosti, které vznikly při importu dat z aplikace CAD nebo v průběhu modelování konstrukce. Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Regenerovat model...



Obrázek 7.7 Dialog *Regenerovat model*

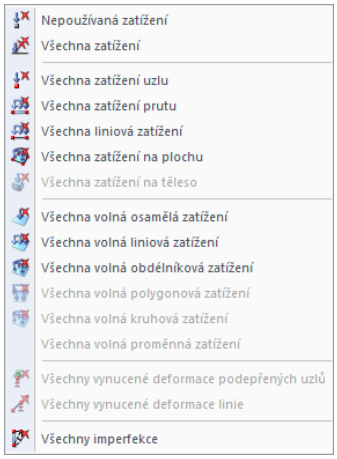
V sekci *Sjednotit v blízkosti ležící uzly* se stanoví mez pro vzdálenost mezi uzly. Pokud bude vzdálenost mezi uzly menší, než je hodnota zadaná v poli *Tolerance*, budou uzly vyhodnoceny jako identické a sloučeny v jediný uzel. Nadbytečné uzly se smažou a provede se přečíslování uzlů.

V sekci *Uvažovat linie/pruty jako vertikální* se upravuje poloha lokálního osového systému. U prutů (příp. linií) ve svislé poloze je orientace os jiná než u prutů v obecné (mimoběžné) poloze (viz kapitola 4.17). V poli *Tolerance* lze zadat hodnotu pro délku průmětu do roviny XY. Pokud nebude tato hodnota překročena, budou se pruty považovat za svislé. Osy prutu se tak „nestočí“, což je výhodné pro zadání zatížení i pro výsledné vnitřní síly.

Pomocí dvou voleb v sekci *Uzly automaticky integrovat v plochách* lze uzly, jejichž vzdálenost od plochy, resp. hraniční linie plochy je malá, automaticky zařadit do seznamu objektů integrovaných do určité plochy (viz Integrované objekty). Ušetříme si tak pracnou, ruční integraci uzlů do plochy. Před spuštěním výpočtu ovšem proběhne ještě interní kontrola, a pokud jsou integrované uzly příliš vzdálené od plochy, program je vyhodnotí jako uzly, které do plochy nenáležejí.

Pokud si uživatel přeje automaticky *zaokrouhlit souřadnice uzlů*, může tuto volbu v příslušné sekci aktivovat a uvést požadovaný počet desetinných míst.

7.1.4 Smazání nepoužívaných zatížení



Nabídka Nástroje ⟶ Smazat zatížení

Zatížení lze zadat pouze na prvcích, které již v modelu konstrukce existují. V průběhu modelování se může stát, že uživatel z konstrukce odstraní pruty nebo plochy, kterým byla přiřazena zatížení. Zpravidla se zatížení smažou automaticky spolu s těmito prvky. Pokud se však přesto stane, že se při kontrole správnosti odhalí podobná chyba, lze zatížení na již neexistujících prvcích snadno smazat z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Smazat zatížení ⟶ Nepoužívaná zatížení.

Nabídka je znázorněna na obrázku vlevo. V této nabídce můžeme vybrat a odstranit i jiné typy zatížení.

7.2 Síť konečných prvků

V programu RFEM lze počítat prutové prvky, desky, stěny, skořepiny i tělesa. Před spuštěním vlastního výpočtu je třeba vygenerovat síť konečných prvků (KP). Při tom se teprve vytvoří příslušné 1D, 2D a 3D prvky.

Konstrukce se pro výpočet metodou KP rozdělí na malé části — konečné prvky. Pro každý prvek jsou sestaveny podmínky rovnováhy. Získáme soustavu lineárních rovnic s velkým počtem neznámých, jejíž řešení je možné díky moderní výpočetní technice. Čím jemnější je síť konečných prvků, tím přesnější budou výsledky. Přitom však enormně stoupají požadavky na výpočetní čas a množství zpracovávaných dat. Každý přidaný uzel sítě znamená další přidané rovnice pro výpočet.

Síť konečných prvků se generuje automaticky. Uživatel má ovšem možnost síť konečných prvků upravovat.

Užitečné informace o diskretizaci a metodě konečných prvků podává příručka [5].

7.2.1 Základy konečných prvků v RFEMu

1D prvky

Pro prutové prvky se předpokládá zachování rovinnosti průřezu při deformaci prutu. Pro modelování nosníků, příhradových prutů, žeber, lan a tuhých spojení jsou použity 1D prutové prvky. 1D prutový prvek má celkem 12 stupňů volnosti, po 6 na počátku a na konci prvku. Jsou to posunutí (u_x, u_y, u_z) a pootočení (φ_x, φ_y, φ_z). Tah, tlak a kroucení jsou při lineárním výpočtu vyjádřeny jako lineární funkce osy x prutu nezávisle na ohybu a posouvající síle. Ty jsou pak přibliženy polynomem 3. řádu v x včetně vlivu smykového namáhání v důsledku posouvajících sil V_y a V_z. Matice tuhosti $K_L(12, 12)$ popisuje lineární chování 1D prvků. Vzájemná interakce mezi normálovou silou a ohybem v geometricky nelineárních úlohách je vyjádřena v matici tuhosti $K_{NL}(12, 12)$. Více informací najdeme v publikacích [6] a [7], které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci této příručky.

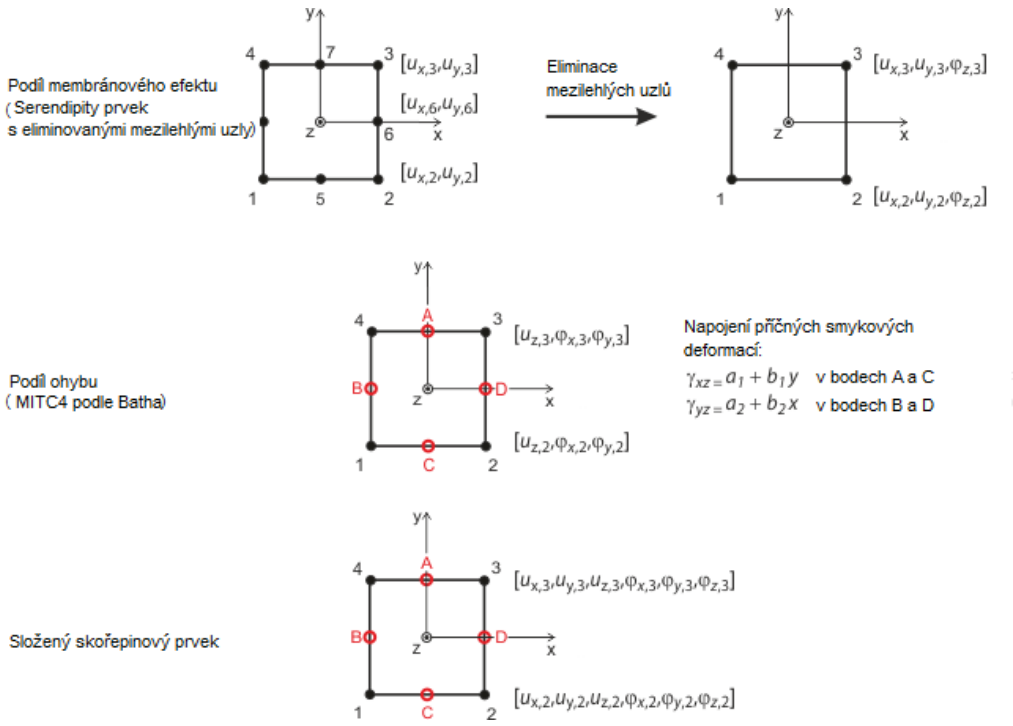
Pokud výpočet probíhá podle teorie III. řádu, doporučujeme pro přesný výpočet výsledků zahustit síť konečných prvků na liniích (viz kapitola 4.23).

2D prvky

Jako 2D prvky se zpravidla používají čtyřúhelníky. Tam, kde je to nutné, vytvoří generátor sítě trojúhelníkové prvky.

Stupně volnosti čtyřúhelníkových, resp. trojúhelníkových prvků jsou v uzlových bodech stejné jako u 1D prvků: stupně volnosti posunu (u_x, u_y, u_z) a stupně volnosti natočení (φ_x, φ_y, φ_z). Tím je zaručena

kompatibilita mezi 1D a 2D prvky v uzlech. Parametry jsou definovány v tzv. planárním lokálním souřadném systému prvku a při sestavování globální matice tuhosti se přepočítají do globálního souřadného systému.



Obrázek 7.8 Skořepinové (čtyřúhelníkové) prvky používané v RFEMu

V případě rovinných skořepinových prvků se vychází z teorie Mindlina/Reissnera. Na obrázku 7.8 jsou znázorněny používané prvky. Pro přímé napojení na prutové prvky se použije kvadratický prvek v rovině skořepiny (u_x, u_y). Eliminací mezilehlých uzlů vznikne prvek o čtyřech uzlech s přidaným stupněm volnosti φ_x. To umožňuje přímé napojení stěnových prvků na nosníky. Při smíšené interpolaci příčných posunů, natočení průřezu a příčných smykových deformací se používají také prvky MITC4 (**M**ixed **I**nterpolation of **T**ensorial **C**omponents) Batha a Dvorkina [8].

V současnosti se prutové prvky řeší přímo diferenciální rovnicí podle teorie II. řádu. Zohlednit kroutící účinky při postupu Saint Vénantovou metodou nelze.

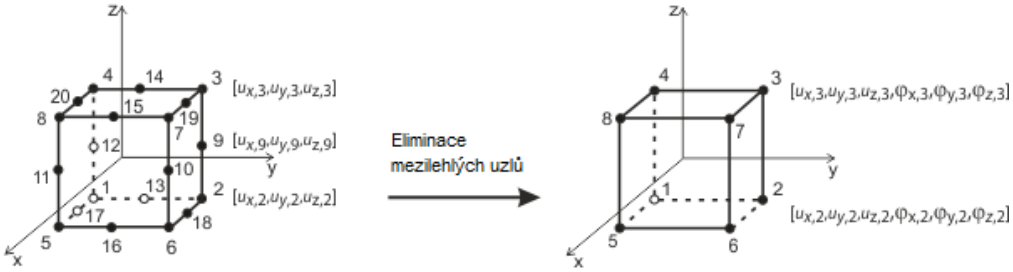
Při výpočtu membránových účinků se vychází z Berganových principů (Bergan [9], [10], [11]). Základní funkce se např. u trojúhelníkových prvků rozloží do třech deformací tuhých těles, třech konstantních stavů protažení a třech zvláštních lineárních průběhů napětí/protažení. V jednom prvku je pole deformace kvadratické a pole napětí lineární. Matice tuhosti prvku K_L se následně přepočítá do devíti společných parametrů typu u_x, u_y, φ_z. Komponenty této matice se spolu s komponenty pro ohyb a smyk vloží do celkové matice tuhosti (18, 18). Tato matice odpovídá Lynn-Dhillonovým předpokladům. Poté je aplikováno řešení desek podle Mindlinovy teorie, tzn. desky s významným vlivem smyku se řeší podle Timošenka se zohledněním smykových deformací. RFEM umožňuje řešení jak silných, tak i tenkých (Navier) desek.

Při geometricky nelineárních úlohách není výše uvedené rozložení vztahu mezi napětím a deformací na rovinné řešení a smyk s ohybem možné. Vzájemný vztah mezi těmito stavy se zohledňuje v matici $\mathbf{K_{NL}}$. V RFEMu se používá relativně jednoduchý, ale účinný tvar matice K_{NL}. Ten vychází z předpokladů podle Zienkiewicze [12]. Je použit kvadratický člen ε_2 Green-Lagrangeova tenzoru deformace $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$. Přitom se předpokládá lineární průběh $u_z(x, y)$ pro rovinné napětí a lineární průběhy $u_x(x, y)$ a $u_y(x, y)$ při střídavém působení ohybu. Tento předpoklad lze použít, neboť účinek hlavní interakce závisí na 1. derivaci diferenciální rovnice a vliv členů vyššího řádu velmi rychle klesá při použití menších prvků. Správnost tohoto řešení byla dokázána numerickými testy.

Pro skořepiny platí předpoklad, že tloušťka skořepiny je řádově menší než její rozpětí. Jinak by měla být modelována jako těleso. Kromě toho je nutné se u skořepinových prvků vyhnout bodovému namáhání kroucením. Rotační stupeň volnosti okolo normály plochy reaguje velmi citlivě.

3D prvky

V RFEMu se používají následující 3D prvky: čtyřstěn, pětistěn (hranol, jehlan) a šestistěn. Podrobný popis těchto prvků přesahuje rámec tohoto manuálu. Více informací můžeme najít v [13]. Tuto dokumentaci lze objednat u firmy Dlubal Software.



Serendipity prostorový prvek
s eliminovanými mezilehlými uzly

Obrázek 7.9 Těleso (šestistěn)

Obecně je nutné u těles považovat všechny rotační stupně volnosti za kritické. Protože se deformace tělesa stanovuje výlučně z vektorů posunu, potočení uzlu sítě KP např. z důvodu singulárně aplikovaného kroucení nemá vliv na deformaci v tělese.

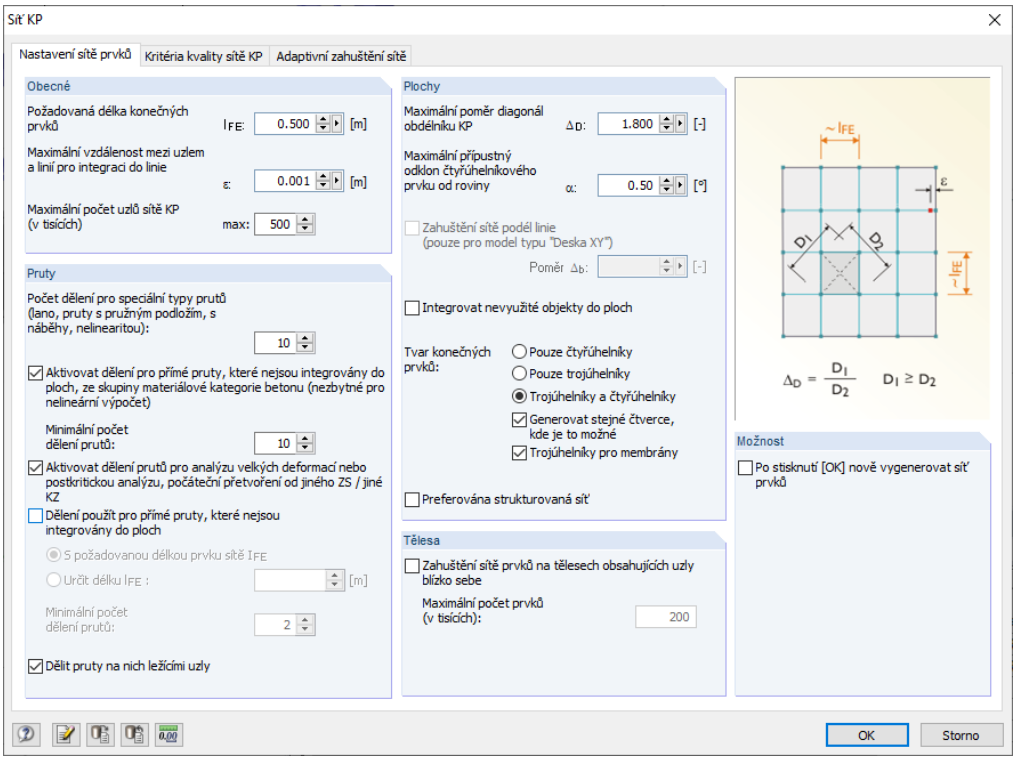
7.2.2 Síť konečných prvků

Dialog pro nastavení parametrů sítě KP lze vyvolat následujícím příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Nastavení sítě prvků...

Tento dialog se skládá ze dvou záložek.

7.2.2.1 Nastavení sítě KP



Obrázek 7.10 Dialog *Síť KP*, záložka *Nastavení sítě prvků*

Obecné

V poli *Požadovaná délka konečných prvků* lze zadat globálně požadovaný rozměr prvků sítě. Čím jemnější je síť konečných prvků, tím přesnější jsou zpravidla výsledky. Přitom však enormně stoupají požadavky na výpočetní čas a množství zpracovávaných dat. Každý nový uzel sítě totiž znamená další přidané rovnice pro výpočet. Kromě toho se v případě jemnější sítě konečných prvků vyskytují ve zvýšené míře singularity.

Diskretizace je pro následnou analýzu KP rozhodující. Příliš jemná síť prvků prodlužuje dobu výpočtu, aniž by výrazně zvýšila kvalitu výsledků. Pokud je naopak síť prvků příliš hrubá, nelze dostatečně postihnout okrajové podmínky. Orientačně doporučujeme pro přednastavenou délku hrany generovat osm až deset prvků mezi hraničními liniemi plochy. Pokud možno nikdy by neměly být vygenerovány méně než čtyři prvky.

V dalším vstupním poli lze zadat maximální vzdálenost uzlu sítě od linie, při které je uzel do linie integrován. Pokud je vzdálenost uzlu větší, vytvoří se pro něj nový uzel sítě KP.

V posledním poli této sekce se zadává *maximální počet uzlů sítě KP*. Stanovená hranice slouží k omezení počtu generovaných uzlů. Lze tak předejít výkonnostnímu přetížení programu i počítače.

Pruty

U lanových prutů, prutů s pružným podložím, s náběhy nebo plastickými vlastnostmi lze stanovit v této sekci interní dělení. Prut pak bude skutečně rozdělen na požadovaný počet částí mezilehlými uzly. Pokud je však prut umístěn na hraniční linii některé plochy nebo bylo pro zadávací linii definováno zahuštění sítě KP, nemá toto zadání žádný vliv.

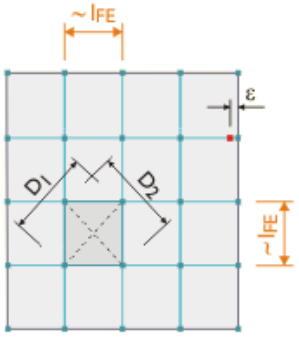
Pomocí volby *Aktivovat dělení prutů pro analýzu velkých deformací nebo postkritickou analýzu* lze v případě výpočtu podle teorie III. řádu rozdělit pro větší přesnost mezilehlými uzly také nosníky. Počet dílů prutu se převezme ze zadání ve vstupním políčku výše.

Pokud se má také *dělení použít pro přímé pruty, které nejsou integrovány do ploch*, pak se uzly sítě KP vytvoří na všech volných přímých prutech a zohlední se při výpočtu. Délka prvku sítě KP se buď převezme z globálního zadání l_{FE} v sekci *Obecné* nebo se tu stanoví ručně.

Volbou *Dělit pruty na nich ležícími uzly* lze vytvořit uzly sítě KP na prutech v těch místech, kde leží koncové uzly jiných prutů, aniž by dané pruty byly spojeny.

Plochy

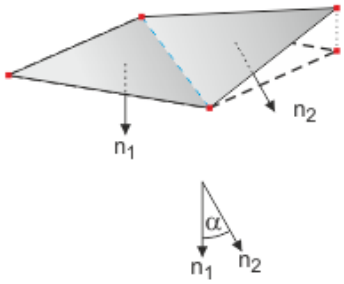
Pro dosažení co nejsprávnějších výsledků by se tvar jednotlivých čtyřúhelníkových prvků měl co nejvíce blížit čtverci. U čtverce je poměr diagonál $D_1/D_2 = 1$. V poli *Maximální poměr diagonál obdélníku KP* lze nastavit horní hranici Δ_D poměru diagonál. Pokud je poměr diagonál příliš velký, hrozí nebezpečí, že vzniknou prvky s velmi ostrými nebo konvexními úhly. To může vést k numerickým problémům.



$$\Delta_D = \frac{D_1}{D_2} \qquad D_1 \geq D_2$$

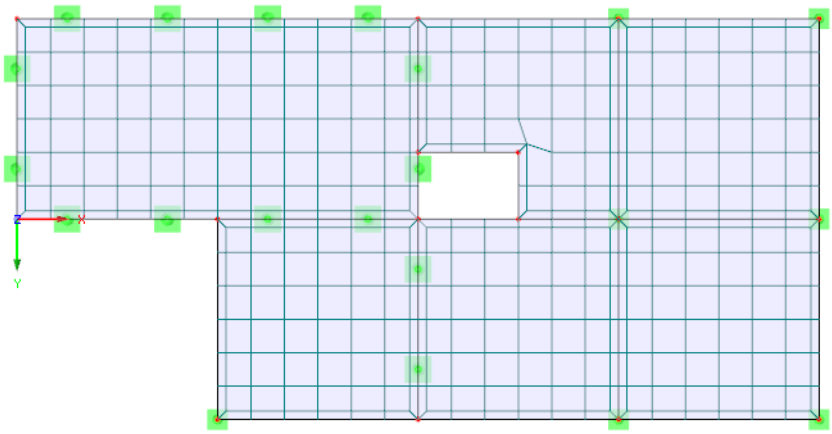
Obrázek 7.11 Prvek s diagonálami D_1 und D_2

Zakřivené plochy jsou při tvorbě sítě KP rozděleny na rovinné prvky. Úhel sklonu α přitom udává *maximální přípustný odklon čtyřúhelníkového prvku od roviny*. Daná hodnota odpovídá úhlu, který svírají normály dvou prvků (viz následující obrázek se zobrazením normál dvou trojúhelníkových prvků). Při překročení tohoto úhlu dojde automaticky ke zjemnění sítě.



Obrázek 7.12 Úhel sklonu α

Pokud definujeme model konstrukce ve *2D* režimu jako rovinnou desku, lze podél všech linií vytvořit menší Poměr Δb se vztahuje ke globálnímu rozměru sítě. Udává vzdálenost okraje zahuštění od linií.



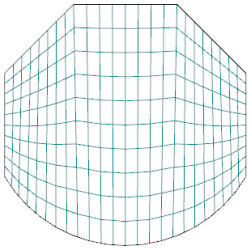
Obrázek 7.13 Zahuštění sítě podél hraničních linií 2D desky

Pomocí volby *Integrovat nevyužité objekty do ploch* lze uzly sítě konečných prvků vytvářet i na objektech, které nemají pro plochu žádnou další funkci (např. volné uzly bez podpor a bez zatížení, konstrukční linie na plochách). Standardně je tato funkce vypnuta, aby tyto staticky nevýznamné objekty nerušily síť KP.

Tvar konečných prvků lze nastavit pomocí následujících tří výběrových polí:

- Trojúhelníky a čtyřúhelníky: standardní nastavení
- Pouze trojúhelníky: volba v případě, že čtyřúhelníky způsobí velmi silné přetvoření sítě
- Pouze čtyřúhelníky: volba pro větší přesnost výsledků

Pomocí zaškrtávacích políček *Generovat stejné čtverce, kde je to možné* a *Trojúhelníky pro membrány* je možné dále řídit generování sítě KP.



Preferována strukturovaná síť

Pomocí volby *Preferována strukturovaná síť* se můžeme pokusit přizpůsobit síť prvků hraničním liniím ploch. Tento způsob generování sítě prvků lze nastavit jednotlivě pro každou plochu (dialog *Upravit plochu*, záložka *Síť prvků*).

Strukturovaná síť se vytvoří výlučně ze čtyřúhelníkových prvků. Zpravidla vede tato síť k „přesnějším“ výsledkům. Vzhledem k tomu, že se v soustavě rovnic vyskytuje i méně neznámých, lze při generování sítě prvků tento způsob doporučit.

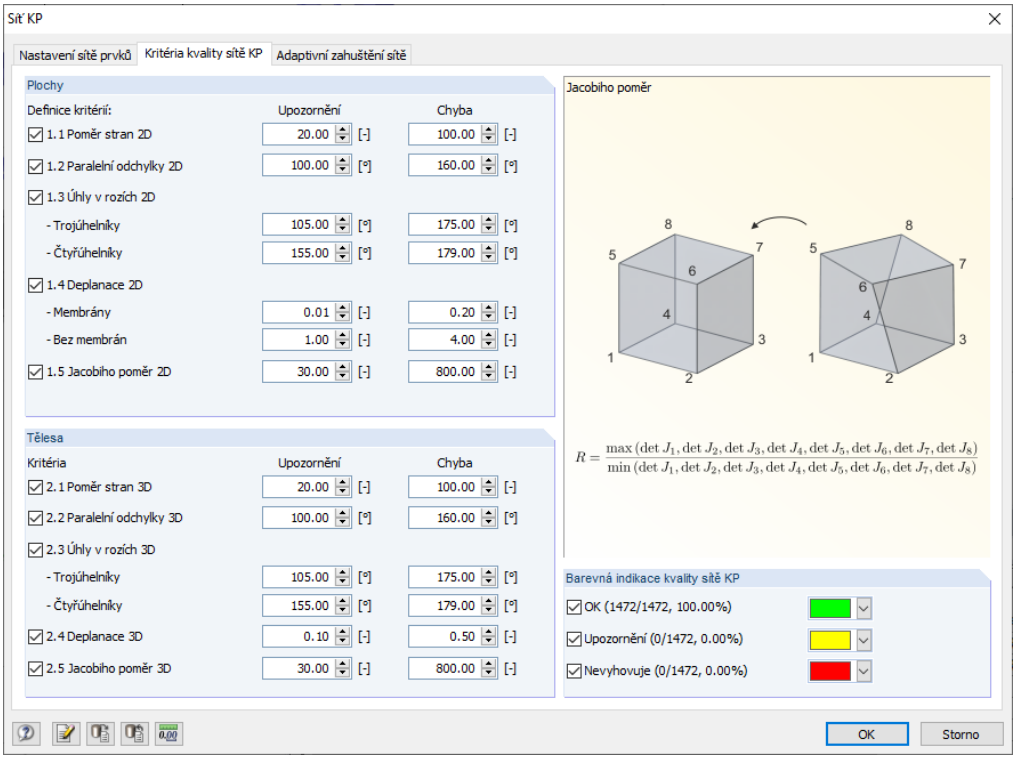
Tělesa

Pokud uzly na tělese leží velmi blízko sebe, lze zadat automatické zahuštění sítě prvků. Síť prvků tak správně postihne dané uzly. Rozměry sítě prvků na tělese vychází z nejmenší vzdálenosti mezi uzly. Ve vstupním poli níže můžeme omezit počet vytvářených 3D prvků.

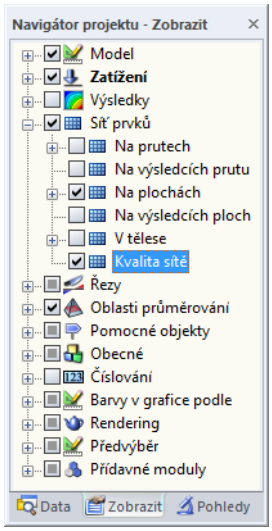
Pro každé těleso je možné provést specifické zadání pro síť konečných prvků. Tato možnost je popsána v kapitole 4.5.

7.2.2.2 Kritéria kvality sítě KP

Parametry v této záložce slouží k posouzení výsledku automatického generování sítě konečných prvků.

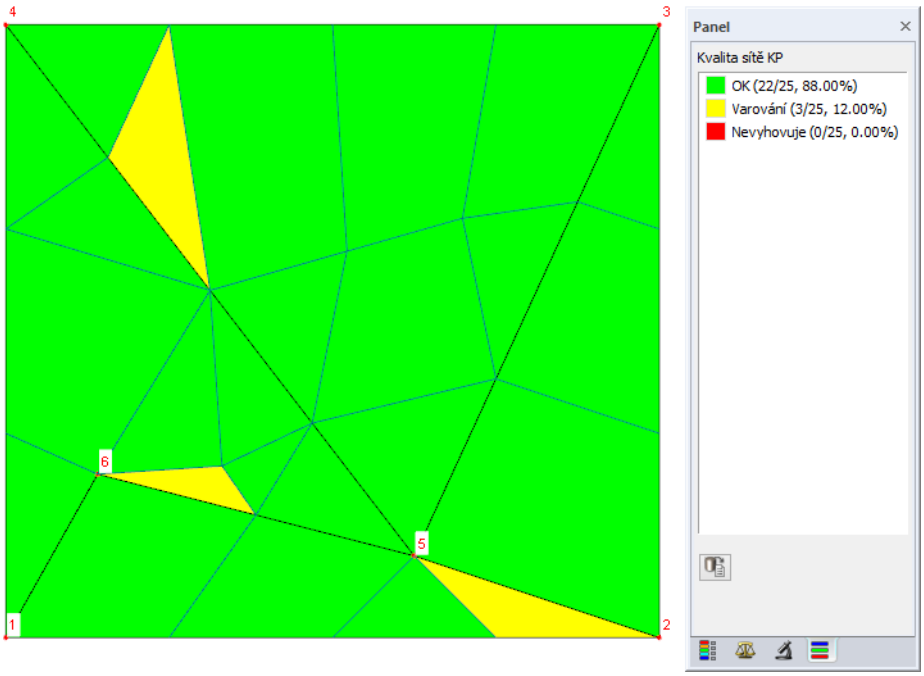


Obrázek 7.14 Dialog *Síť KP*, záložka *Kritéria kvality sítě KP*



Uživatel tu může nastavit kritéria pro posouzení kvality sítě jak 2D prvků u *ploch* tak 3D prvků u *těles*. Lze přitom stanovit kritéria, kdy má program zobrazit *upozornění* nebo nahlásit *chybu*.

Jednotlivé aspekty kvality sítě KP můžeme znázornit v grafickém okně z navigátoru *Zobrazit*.

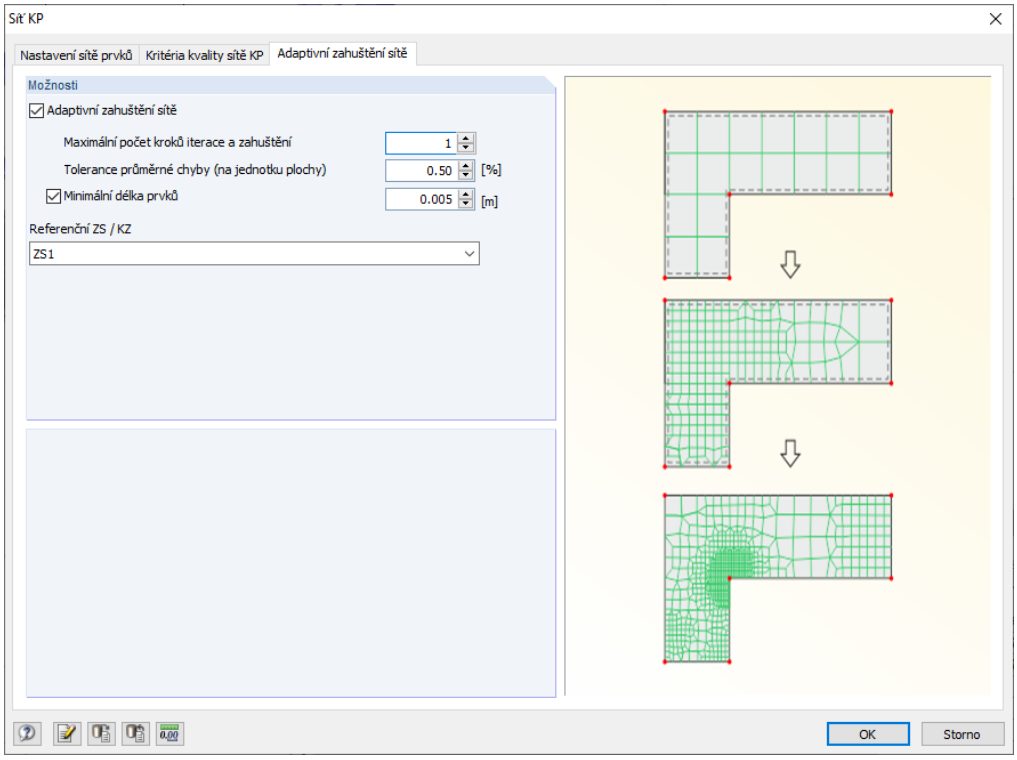


Obrázek 7.15 Grafické znázornění kvality sítě KP

7.2.2.3 Adaptivní zahuštění sítě

Tato funkce umožňuje automaticky přizpůsobit síť konečných prvků požadavkům výpočtu. Program provede zjemnění sítě v několika krocích. V každém kroku se po vyhodnocení numerické chyby u předchozího kroku vytvoří nová síť konečných prvků. Indikátor chyb výsledků plošných prvků je založen na Zienkiewiczově-Zhuově metodě.

U adaptivního zahuštění sítě není nutné zadávat oblasti zahuštění ručně. Program toto provede automaticky, spolehlivě a pružně.

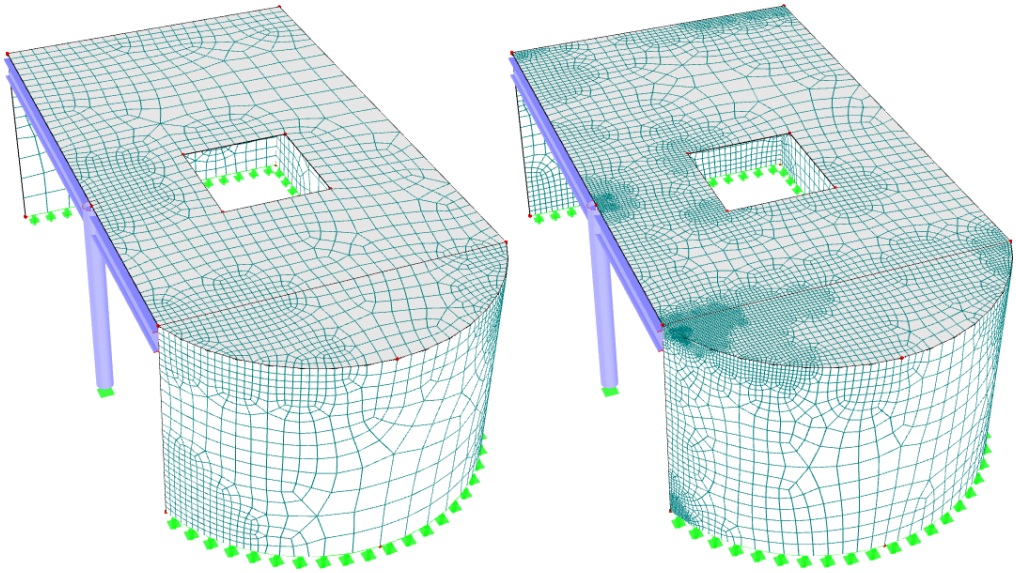


Obrázek 7.16 Dialog *Síť KP*, záložka *Adaptivní zahuštění sítě*

Po zaškrtnutí tohoto políčka se zpřístupní pole parametrů. Pomocí možnosti *Maximální počet kroků iterace a zahuštění* se řídí počet kroků při zahušťování sítě. Čím větší je toto číslo, tím jemnější je síť konečných prvků v oblastech významných změn výsledků, což může mít také nepříznivý vliv na extrémní hodnoty singularit. Výchozí nastavení je proto pouze jedna iterace zahuštění, která obvykle postačuje. *Tolerance průměrné chyby (na jednotku plochy)* představuje výše popsaný indikátor chyby pro plošné prvky.

Abychom se vyhnuli příliš hrubé síti konečných prvků, je možné zadat určitou *minimální délku prvků*.

Porovnání chyb se provádí pro lineární statický výpočet. K tomu je třeba na základě seznamu zadat zatěžovací stav nebo kombinaci zatížení, jejichž výsledky představují základ pro úpravu sítě konečných prvků. Tato síť konečných prvků se poté použije pro výpočet všech ostatních zatěžovacích stavů a kombinací.



Obrázek 7.17 Adaptivní zahuštění sítě s jednou (vlevo) a dvěma (vpravo) iteracemi zahuštění

Následující často kladené otázky poskytují další vysvětlení pro adaptivní zahuštění sítě:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq/002794
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq/002922

7.2.3 Zahuštění sítě KP

Uspořádání sítě konečných prvků lze ovlivnit zadáním zahuštění sítě. Síť tak lze zjemnit na důležitých místech, např. v oblastech připojení prutů. Zahuštěním sítě lze dosáhnout vhodného kompromisu mezi přesností a dobou výpočtu.

V zásadě existují čtyři typy zahuštění sítě:

- Zahuštění okolo uzlu
- Zahuštění na linii
- Zahuštění na ploše
- Zahuštění na tělese

Zadávání zahuštění sítě KP popisujeme v kapitole 4.23.

7.2.4 Generování sítě KP

Generování sítě konečných prvků spustíme příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Generovat síť prvků.

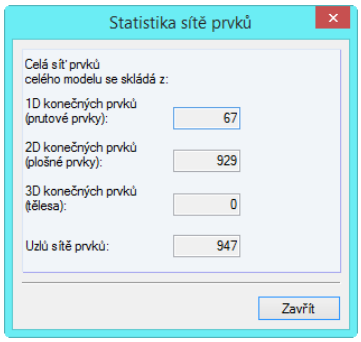
Síť KP se generuje také automaticky po spuštění výpočtu zatěžovacího stavu. Doporučujeme ovšem generovanou síť před výpočtem důkladně zkontrolovat, zda je síť vyvážená, „harmonická“ a dostatečně jemná, nebo zda je třeba ještě definovat oblasti zahuštění.

Zahuštění lze obráceně použít i pro oblasti, které nejsou pro analýzu tolik důležité: jako „zahuštění“ zadáme pro tyto oblasti větší vzdálenost mezi prvky než je globálně nastavená délka prvku sítě l_{FE}. Tím lze dosáhnout rychlejšího výpočtu i vyhodnocení výsledků.

Po úspěšném vygenerování sítě KP lze příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Statistika sítě prvků...

zobrazit přehled dat o vygenerované síti KP.



Obrázek 7.18 Dialog *Statistika sítě prvků*

Ve statistickém přehledu se zobrazí typy a počet vygenerovaných konečných prvků, což nám umožní posoudit, zda jsme vybrali vhodnou metodu řešení rovnic, a odhadnout dobu výpočtu (viz kapitola 7.3).

Pokud se údaje o modelu konstrukce změní, síť KP se automaticky smaže. Síť můžeme také smazat cíleně příkazem z hlavní nabídky

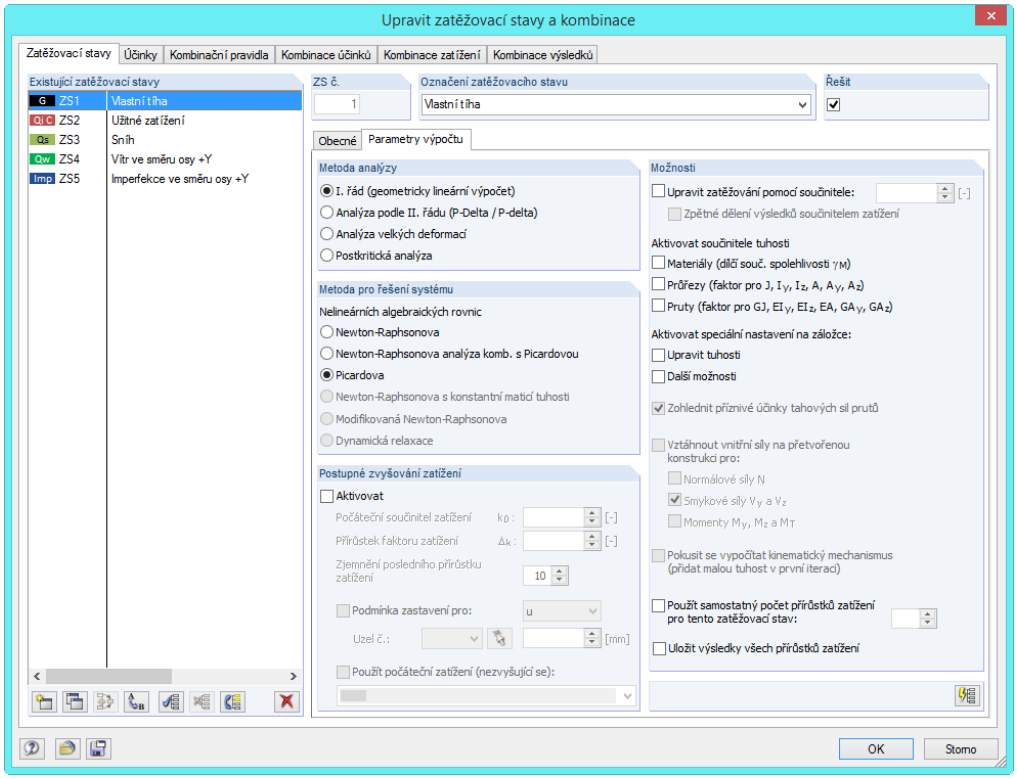
Výpočet → Smazat síť prvků.

Smažou se tak i všechny případné výsledky výpočtu.

7.3 Parametry výpočtu

Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*

Výpočetní parametry lze stanovit již při vytváření nového zatěžovacího stavu nebo kombinace zatížení. Slouží k tomu záložka *Parametry výpočtu* v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*.



Obrázek 7.19 Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložky *Zatěžovací stavy* a *Parametry výpočtu*

Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* tak nepodává pouze přehled o všech zatěžovacích stavech a kombinacích, ale slouží také k nastavení parametrů pro výpočet každého zatěžovacího stavu a každé kombinace zatížení či kombinace výsledků.

Dialog *Parametry výpočtu*

Výpočetní parametry se dále také spravují v samostatném dialogu.

Dialog *Parametry výpočtu* otevřeme příkazem z hlavní nabídky

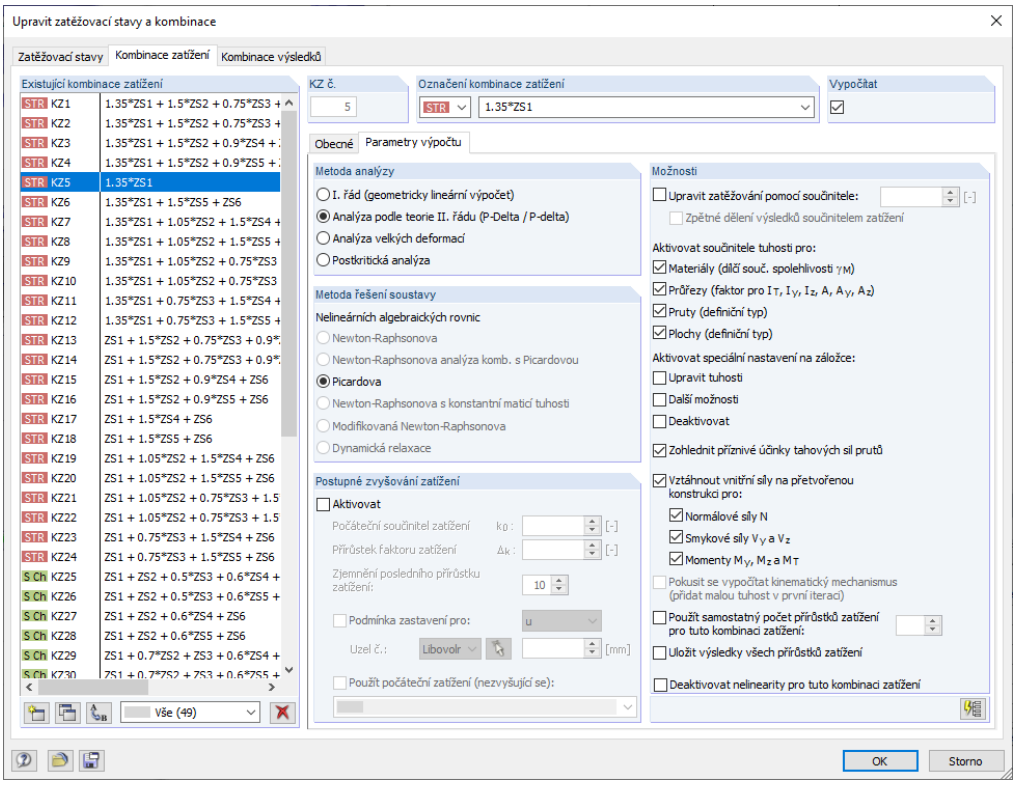
Výpočet → Parametry výpočtu...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Obrázek 7.20 Tlačítko [Parametry výpočtu]

Dialog *Parametry výpočtu* je rozdělen do pěti záložek. V prvních třech záložkách lze nastavit parametry pro výpočet jednotlivých zatěžovacích stavů, resp. kombinací zatížení nebo kombinací výsledků. Ve čtvrté záložce *Globální parametry výpočtu* (viz obr. 7.24) lze překontrolovat a v případě potřeby upravit obecně platné parametry. V poslední záložce se spravují *výpočtové diagramy*.

7.3.1 Zatěžovací stavy a kombinace zatížení



Obrázek 7.21 Dialog *Parametry výpočtu*, záložka *Kombinace zatížení*

V sekci *Existující zatěžovací stavy*, resp. *Existující kombinace zatížení* se zobrazí seznam všech dosud vytvořených zatěžovacích stavů, resp. kombinací zatížení. Vpravo můžeme upravovat *parametry výpočtu* vybraného zatěžovacího stavu, příp. kombinace.

Tlačítkem [Použít nastavení pro "Parametry výpočtu" pro všechny] přiřadíme právě zadané parametry všem zatěžovacím stavům, resp. kombinacím zatížení.

Daná záložka v dialogu je rozdělena do dílčích záložek *Parametry výpočtu* a případně *Upravit tuhosti* (viz obr. 7.22), *Další možnosti* (viz obr. 7.23) a *Deaktivovat* (viz obr. 7.25).

7.3.1.1 Parametry výpočtu

Metoda analýzy

V této sekci může uživatel rozhodnout, zda výpočet zatěžovacího stavu nebo kombinace zatížení proběhne podle teorie *I.*, *II.* nebo *III. řádu*. Pokud uživatel označí volbu *Postkritická analýza*, pak bude provedena postkritická analýza kompletní nosné konstrukce.

Pro zatěžovací stavy je předem nastaven lineární výpočet podle teorie I. řádu, v případě kombinací zatížení nelineární výpočet podle teorie II. řádu.

Pokud model obsahuje pruty typu lano, je standardně přednastavený výpočet podle III. řádu.

Analýza II. řádu

Při výpočtu podle teorie II. řádu e zjišťuje rovnováha na přetvořené konstrukci při malých deformacích. Případné normálové síly v konstrukci vyvolávají větší ohybové momenty. Výpočet podle teorie II. řádu (Timošenko [14]) je tak vhodný pouze v případě, kdy jsou normálové síly podstatně větší než posouvající síly. Přídavný ohybový moment ΔM je dán podélnou silou N a ramenem e_{el}.

$$\Delta M = N \cdot e_{el}$$

Rovnice 7.1

U konstrukcí namáhaných tlakem vzniká superlineární vztah mezi namáháním a vnitřními silami. Proto je třeba zpravidla nutné počítat s γ-násobnými zatíženími.

Jako kritérium přerušení výpočtu podle teorie II. řádu se používá rozdíl v normálové síle v jednotlivých iteracích. U prutových prvků se normálová síla, která ovlivňuje tuhost a je pro výpočet podle teorie II. řádu rozhodující, uvažuje jako konstantní po celé délce prutu. Jakmile nebude dosažena určitá hodnota rozdílu v normálové síle, bude výpočet ukončen. Kritérium přerušení výpočtu lze stanovit v záložce *Globální parametry výpočtu* v sekci *Přesnost a tolerance*.

Při nelineárním výpočtu podle teorie II. řádu se vychází z předpokladů teorie pružnosti I. řádu a těchto doplňujících podmínek:

- Nedochází k žádným plastickým deformacím.
- Nemění se směr vnějších sil.
- Není-li podélná síla v prutu konstantní (např. u sloupů), použije se pro výpočet parametru prutu ε průměrná hodnota normálové síly N.

Analýza velkých deformací

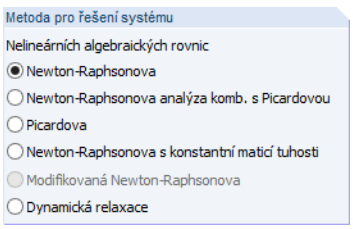
Teorie III. řádu, označovaná také jako „teorie velkých deformací“, zohledňuje při analýze vnitřních sil podélné i příčné síly. Pokud vybereme výpočet podle teorie III. řádu, pak se podle ní počítají **všechny** plochy a pruty.

Při výpočtu se vytvoří po každém iteračním kroku matice tuhosti pro přetvořenou konstrukci. V této souvislosti je vhodné poukázat na to, jak velký rozdíl je mezi lokálně a globálně definovaným zatížením při výpočtu podle teorie III. řádu: představme si vodorovnou plochu zatíženou rovnoměrným plošným zatížením. Pokud bude toto zatížení definováno v globálním směru Z, zůstává směr zatížení zachován, i když se prvky sítě natočí. Pokud ovšem zatížení definujeme ve směru osy z lokálního souřadného systému plochy, natáčí se směr zatížení na prvku spolu s prvkem.

Postkritická analýza

Po zvolení tohoto druhu výpočtu se provede postkritická analýza celé nosné konstrukce. V případě tohoto upraveného výpočtu III. řádu podle Newtona-Raphsona se vliv normálových sil uvažuje pro stanovení změn smykové a ohybové tuhosti nosníků a příhradových prutů. Při tomto výpočtu se v každém iteračním kroku uloží tečná matice tuhosti. V případě singularit (tzn. nestability) se matice tuhosti předchozího iteračního kroku použije pro nové geometrické přírůstkové iterace, dokud je tečná matice tuhosti aktuálního uspořádání regulární (stabilní).

Metoda řešení soustavy nelineárních algebraických rovnic



Soustavu nelineárních algebraických rovnic lze řešit některou z následujících 6 metod:

Newton-Raphsonova

V případě výpočtu podle teorie III. řádu je metoda Newton-Raphsonova nastavena předem. Nelineární soustava rovnic se řeší iterační numerickou metodou tečen. Tečná matice tuhosti se počítá jako funkce aktuálního stavu přetvoření; invertuje se v každém iteračním cyklu. Touto metodou většinou dosáhneme rychlé (kvadratické) konvergence.

V záložce *Globální parametry výpočtu* lze konvergenci ovlivnit nastavením počtu přírůstků zatížení.

Newton-Raphsonova analýza komb. s Picardovou

U této metody se nejdříve použije postup podle Picarda (viz níže). Po několika iteracích se pak přechází na Newton-Raphsonovu metodu. Základní myšlenkou takového postupu je použít poměrně málo citlivou Picardovu metodu v prvních iteračních krocích, a vyhnout se tak hlášením o nestabilitě. Po prvotní aproximaci se pak přistoupí k rychlé Newton-Raphsonově metodě pro konečné dosažení rovnováhy.

V záložce *Globální parametry výpočtu* v sekci *Nastavení* lze stanovit procentuální podíl iterací Picardovou metodou při tomto kombinovaném postupu (viz obr. 7.27).

Picardova metoda

Picardovu metodu — známou také jako metoda sečen - lze chápat jako konečnou diferenční aproximaci Newtonovy metody. Sleduje se rozdíl mezi aktuálním a prvotním iteračním cyklem při aktuálním přírůstku zatížení.

Tato metoda konverguje většinou pomaleji než výpočet Newton-Raphsonovou metodou. Projevuje ovšem také nižší citlivost v případě nelineárních úloh, a výpočet je tak stabilnější.

Newton-Raphsonova metoda s konstantní maticí tuhosti

Tato obměna Newton-Raphsonovy metody je v programu k dispozici, pokud zvolíme analýzu podle teorie III. řádu. Matice tuhosti se přitom vytvoří pouze jednou v prvním iteračním kroku a použije se ve všech následujících výpočetních cyklech.

Výpočet touto metodou tudíž probíhá rychleji, není ovšem tak stabilní jako výpočet normální nebo modifikovanou Newton-Raphsonovou metodou.

Modifikovaná Newton-Raphsonova metoda

Tato metoda se používá při postkritické analýze (viz sekce *Metoda analýzy* výše), kdy je nutné překonat určitou oblast nestability. V případě nestability, kdy matici tuhosti nelze invertovat, se použije matice tuhosti posledního stabilního iteračního kroku. Výpočet dále pokračuje s touto maticí, dokud není znovu dosažena oblast stability.

Dynamická relaxace

Poslední metodu je vhodné použít pro výpočet podle teorie III. řádu nebo pro postkritickou analýzu. Tato metoda zavádí pomocný časový parametr. Pokud zohledníme setrvačnost a tlumení, lze úlohu řešit jako dynamický problém. Používá se přitom explicitní metoda časové integrace; matice tuhosti se neinvertuje. Pokud se při výpočtu postupuje metodou dynamické relaxace, nesmí žádná část modelu vykazovat nulovou objemovou tíhu.

Tato metoda zahrnuje také Rayleighovo tlumení, které lze vymezit konstantami α a β pomocí následující rovnice s časovými derivacemi:

$$\boldsymbol{M}\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{u}}{\mathrm{d}t^2} + \boldsymbol{C}\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{u}}{\mathrm{d}t} + \boldsymbol{K}(\boldsymbol{u})\boldsymbol{u} = \boldsymbol{f}$$

Rovnice 7.2

kdy

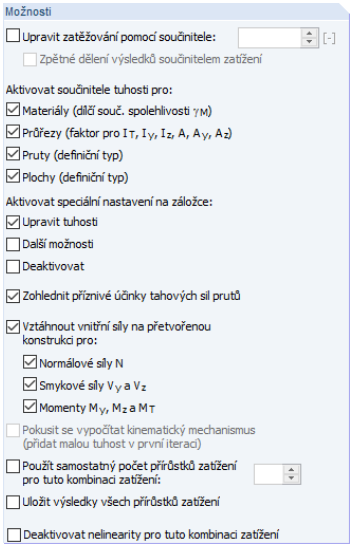
M: koncentrovaná (diagonální) matice hmotnosti

C : diagonální matice tlumení $\mathbf{C} = \alpha\mathbf{M} + \beta\mathrm{diag}[K_{11}(\mathbf{u}),K_{22}(\mathbf{u}),\ldots,K_{nn}(\mathbf{u})]$

K : matice tuhosti

f : vektor vnějších sil

u : diskretizovaný vektor posunu



Možnosti

Upravit zatěžování pomocí součinitele

Po označení této volby lze ve vstupním poli zadat hodnotu součinitele, kterým se vynásobí všechna zatížení v daném zatěžovacím stavu nebo v kombinaci zatížení (neplatí pro imperfekce). Tento součinitel také ovlivní vektory a hodnoty zatížení v grafickém zobrazení. V zásadě lze zadávat i záporné součinitele.

Podle některých starších norem je nezbytné vynásobit všechna zatížení součinitelem, a tím zvýšit jejich účinky pro posouzení stability podle teorie II. řádu. Dimenzování konstrukce však má proběhnout se zatíženími bez dílčích součinitelů spolehlivosti. Oba požadavky lze splnit, pokud bude zadán součinitel větší než 1,00 a pokud zaškrtneme políčko *Zpětné dělení výsledků součinitelem zatížení*.

Při analýze podle aktuálních norem bychom **neměli** zatížení násobit součiniteli. Dílčí a kombinační součinitele by se měly uvažovat až při skládání zatěžovacích stavů do kombinací zatížení nebo do kombinací výsledků.

Aktivovat součinitele tuhosti

Pokud zaškrtneme daná políčka, zohlední se při výpočtu součinitele tuhosti materiálů (viz kapitola 4.3), průřezů (viz kapitola 4.13), prutů (viz kapitola 4.17) a ploch (viz kapitola 4.4).

V následující FAQ najdete další informace k této funkci:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq/004212

Aktivovat speciální nastavení na záložce

Pokud označíme políčka *Upravit tuhosti*, *Další možnosti* a *Deaktivovat*, zobrazí se další záložky. V nich lze upravit hodnoty pro tuhosti (viz kapitola 7.3.1.2) a objekty (viz kapitola 7.3.1.4) resp. aktivovat pro výpočet počáteční přetvoření od jiného zatěžovacího stavu nebo výsledky z přídavného modulu (viz kapitola 7.3.1.3).

Zohlednit příznivé účinky tahových sil prutů

Tahové síly příznivě působí na přetvořenou konstrukci. Jejich vlivem se přetvoření zmenší a konstrukce je stabilnější.

Na zohlednění příznivých účinků tahových sil jsou různé názory. Normy obsahují ustanovení, podle nichž je třeba příznivé účinky násobit menším dílčím součinitelem spolehlivosti než nepříznivé.

Zohlednění rozdílných dílčích součinitelů spolehlivosti u jednotlivých prutů je na úrovni výpočetního jádra stěží proveditelné, pokud nechceme nadměrně prodloužit čas výpočtu. RFEM tak nabízí možnost při výpočtu podle teorie II. řádu nastavit tahové síly obecně na nulu. Je to jistější řešení. Pokud chceme tuto možnost využít, je třeba deaktivovat kontrolní políčko.

Na druhé straně lze namítat, že v normách se hovoří o účincích zatížení a nikoli vnitřních sil. Z toho vyplývá, že by měl uživatel pouze rozhodnout, zda má celý zatěžovací stav příznivý nebo nepříznivý účinek. Příznivé působení nepříznivého zatěžovacího stavu v určitých oblastech konstrukce lze zohlednit. Normálové síly uvažované při výpočtu se nemění. V tomto případě je třeba kontrolní políčko nechat zaškrtnuté.

Příznivé účinky tahových sil by se měly ve většině případů zohlednit jako např. v případě ztužení haly nebo v případě nosných konstrukcí namáhaných na ohyb. U málo napjatých nosníků může odlehčující účinek tahových sil vést za určitých okolností k nežádoucí redukci deformace a vnitřních sil.

Vztáhnout vnitřní síly na přetvořenou konstrukci

Volba *Vztáhnout vnitřní síly na přetvořenou konstrukci* umožňuje při nelineárním výpočtu vztáhnout normálové síly, posouvající síly a také ohybové a kroutící momenty k natočenému souřadnému systému přetvořené konstrukce. Uživatel má přitom pro každý druh vnitřních sil - pro *normálové síly*, *smykové síly* i *momenty* - k dispozici samostatné políčko.

Pokusit se vypočítat kinematický mechanismus

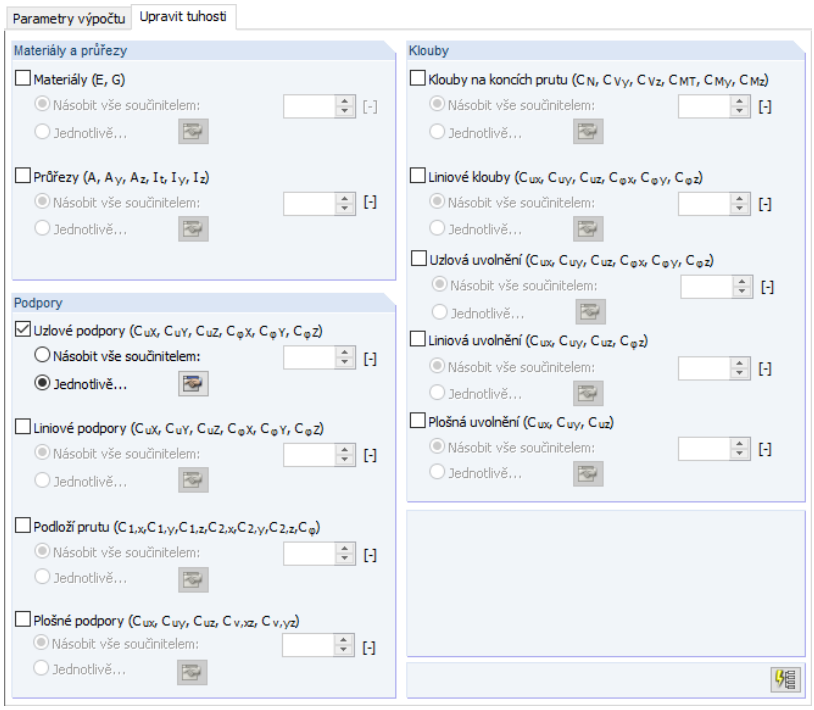
Pokud označíme danou volbu, můžeme se pokusit spočítat i neřešitelnou, nestabilní konstrukci: v programu se interně použijí malé pružiny, které konstrukci stabilizují pro první iteraci. Po dosažení počáteční stability se tyto pružiny před dalšími iteracemi opět odstraní.

Použít samostatný počet přírůstků zatížení

Pro každý zatěžovací stav a každou kombinaci zatížení lze samostatně stanovit počet přírůstků zatížení. Údaj uvedený v záložce *Globální parametry výpočtu* pak ztrácí platnost (viz kapitola 7.3.3).

7.3.1.2 Upravit tuhosti

Daná záložka se zobrazí, pokud jsme v předchozí záložce *Parametry výpočtu* označili políčko *Upravit tuhosti*.



Obrázek 7.22 Záložka *Upravit tuhosti*

Zadané údaje mají vliv pouze na zatěžovací stav nebo na kombinaci zatížení, kterou jsme vybrali v seznamu vlevo. Tlačítkem [Použít nastavení pro "Upravit tuhosti" pro všechny] můžeme zadané parametry přiřadit veškerým zatěžovacím stavům, příp. kombinacím zatížení.

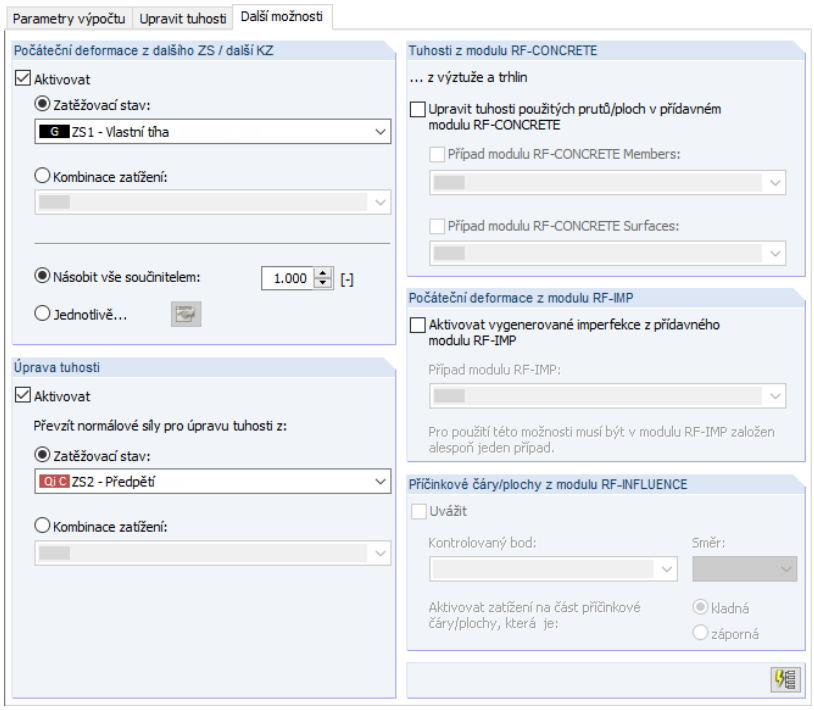
Materiály a průřezy / Podpory / Klouby

V daných třech sekcích lze podrobně nastavit, jakým způsobem a u kterých prvků se budou hodnoty tuhosti pro výpočet upravovat.

- *Násobit vše součinitelem*: Je třeba zadat součinitel, kterým se globálně vynásobí tuhost materiálů, průřezů, podpor a kloubů.
- *Jednotlivě*: Tlačítko otevře nový dialog, v němž lze pro každý objekt přiřadit určitý součinitel tuhosti.

7.3.1.3 Další možnosti

Tato záložka se zobrazí pouze v případě, že jsme v záložce *Parametry výpočtu* označili políčko *Další možnosti* (viz obr. 7.21).



Obrázek 7.23 Záložka *Další možnosti*

Počáteční přetvoření od jiného ZS / jiné KZ

V této sekci můžeme vybrat zatěžovací stav nebo kombinaci zatížení, jehož (či jejíž) deformace se mají při výpočtu zohlednit jako počáteční přetvoření. Uzly konečných prvků se před výpočtem odpovídajícím způsobem posunou. Pokud ještě nemáme k dispozici výsledky daného zatěžovacího stavu nebo dané kombinace zatížení, automaticky se spočítají.

V této sekci je dále třeba zadat, jakým součinitelem se mají deformace vynásobit:

- *Násobit vše součinitelem*: Deformace prutů, ploch a těles se globálně vynásobí tímto součinitelem.
- *Jednotlivě*: Tlačítko otevře dialog, kde je možné každému prutu, každé ploše a každému tělesu přiřadit specifický součinitel deformace.

Počáteční síly a úprava tuhosti

V této sekci můžeme vybrat zatěžovací stav nebo kombinaci zatížení, z něhož (příp. z níž) se mají normálové síly použít jako počáteční přetvoření. Lze tak například zohlednit stabilizující účinek jiného zatěžovacího stavu než stavu uvedeného výše v sekci *Počáteční přetvoření*.

Tato sekce je v dialogu přístupná pouze při výpočtu podle teorie II. řádu.

Tuhosti z modulu RF-CONCRETE

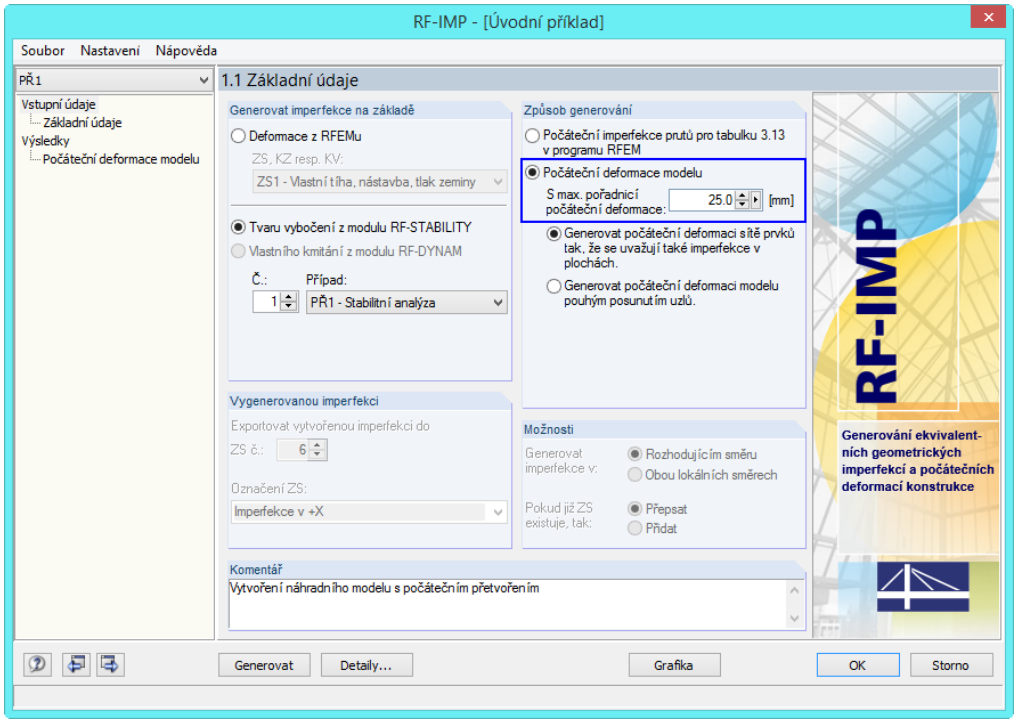
Při výpočtu lze zohlednit tuhosti železobetonových prvků, které plynou z výztuží a z analýzy trhlin nelineární metodou v modulech RF-CONCRETE. Po zaškrtnutí kontrolního políčka uvedeme konkrétní návrhový případ z přídavného modulu **RF-CONCRETE Members** nebo **RF-CONCRETE Surfaces**.

Výpočet, při němž se uvažují tuhosti z modulů RF-CONCRETE, proběhne úspěšně pouze v případě, že dané návrhové případy již skutečně existují a nevykazují nesrovnalosti, pro které by nebylo možné je posoudit.

Počáteční přetvoření z modulu RF-IMP

Imperfekce lze zohlednit jako přetvořenou náhradní konstrukci, která se vytvoří v přídavném modulu **RF-IMP**. Pokud nevlastníme licenci k danému modulu, lze ručně zadat počáteční imperfekce pro jednotlivé pruty (viz kapitola 6.14) nebo počáteční přetvoření z určitého zatěžovacího stavu (viz výše).

Počítat na přetvořené náhradní konstrukci lze pouze v případě, že jsme předem tuto náhradní konstrukci vytvořili v modulu RF-IMP: vychází se přitom z vlastních tvarů z přídavného modulu RF-STABILITY nebo RF-DYNAM a také z deformací zatěžovacích stavů upravených na maximální pořadnici.



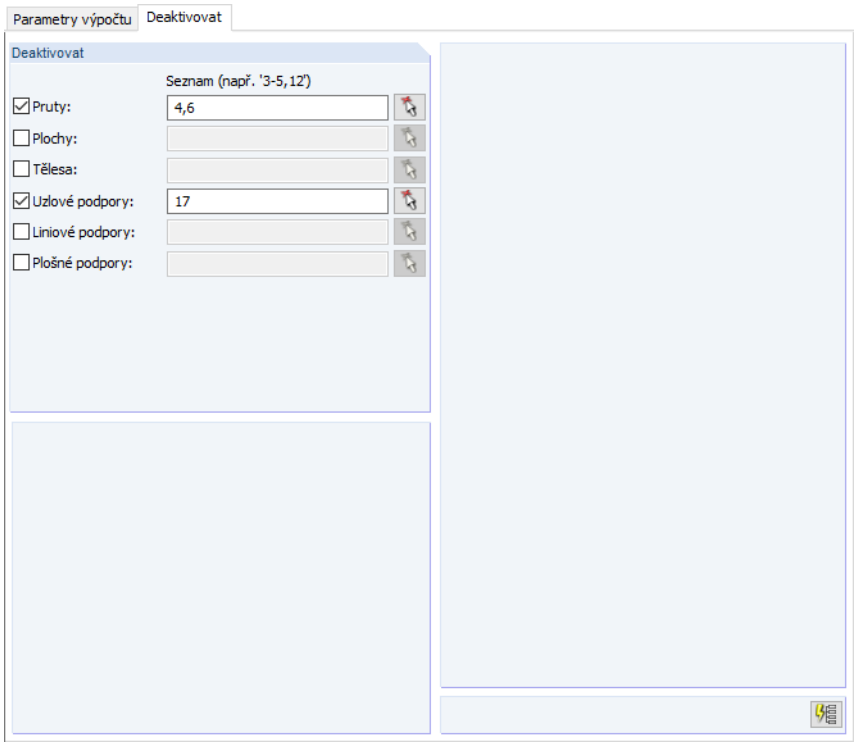
Obrázek 7.24 Přídavný modul RF-IMP se způsobem generování *Počáteční deformace modelu*

Náhradní konstrukce se uloží samostatně, aniž by tím byla dotčena vlastní geometrická data modelu. Teprve před výpočtem kombinace zatížení se souřadnice uzlů ze sítě KP upraví podle náhradní konstrukce.

Pro každou kombinaci zatížení lze použít jinou náhradní konstrukci. Vybereme ji ze seznamu *Případ modulu RF-IMP*.

7.3.1.4 Deaktivovat

Tato záložka se zobrazí pouze tehdy, pokud je v záložce *Parametry výpočtu* zaškrtnuto políčko *Deaktivovat* (viz Obrázek 7.21).



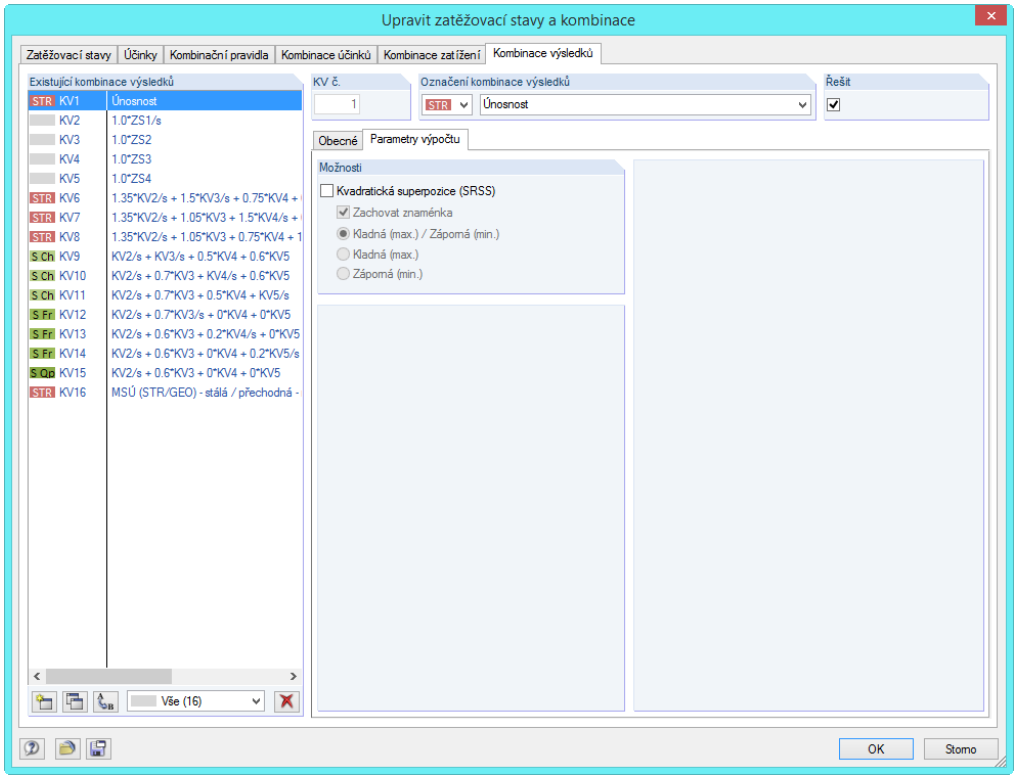
Obrázek 7.25 Záložka *Deaktivovat*

Tato záložka umožňuje při výpočtu ignorovat určité objekty modelu. Tak lze například posoudit účinek dočasných prutů (montážních podpor) nebo podpor.

Po označení zaškrtávacího políčka se zobrazí vstupní pole, ve kterém lze zadat čísla objektů. Objekty je možné v modelu určit také graficky pomocí .

7.3.2 Kombinace výsledků

Základní informace ke skládání zatěžovacích stavů do kombinací výsledků lze najít v kapitole 5.6.



Obrázek 7.26 Dialog *Parametry výpočtu*, záložka *Kombinace výsledků*

V sekci *Existující kombinace výsledků* se zobrazí seznam všech dosud založených nebo vygenerovaných kombinací výsledků. Vpravo můžeme upravovat *parametry výpočtu* právě vybrané kombinace.

Možnosti

Kvadratická superpozice je standardně deaktivována. Vnitřní síly se tudíž obvykle sčítají:

$$B = A_1 + A_2 + \ldots + A_n$$

Rovnice 7.3

Ve většině případů je tento postup vhodný. Kvadratická superpozice se ovšem uplatňuje při superpozici vnitřních sil v případě dynamické analýzy, kdy např. do kombinace skládáme zatěžovací stavy v důsledku působení odstředivých sil. Při kvadratické superpozici se provádí pythagorejský součet:

$$B = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \ldots + A_n^2}$$

Rovnice 7.4

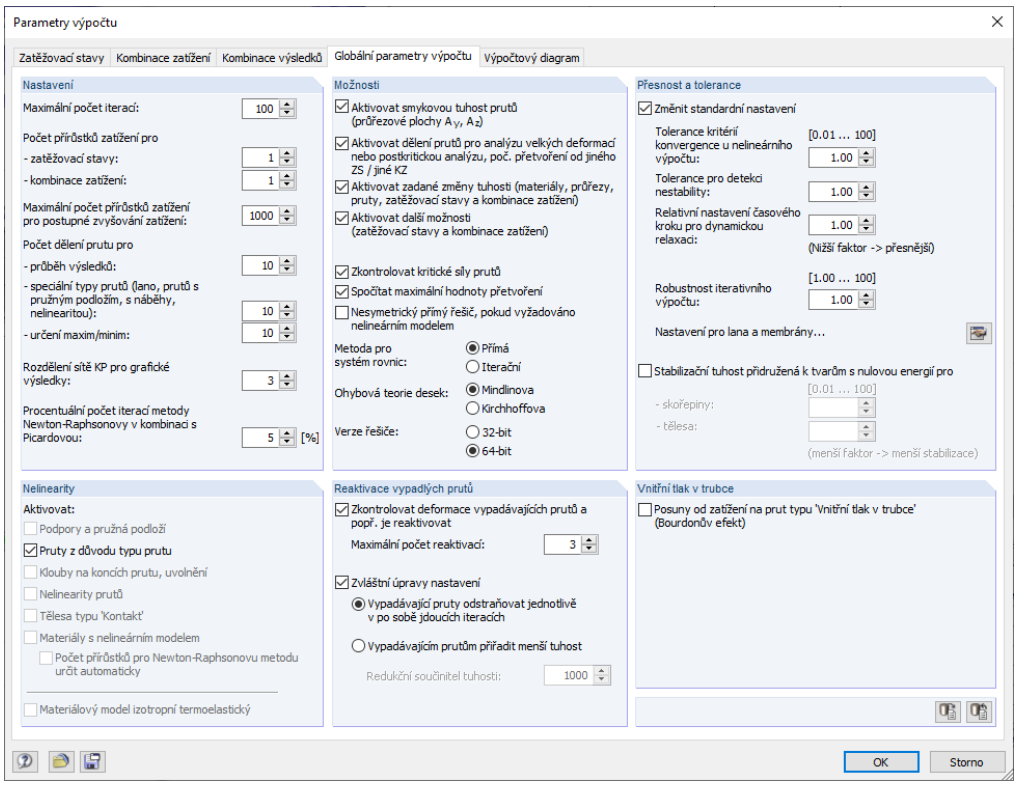
Pokud jsme kvadratickou superpozici aktivovali, lze pomocí kontrolních políček *Kladná/Záporná* nastavit, jaké extrémní hodnoty se mají z příslušných zatěžovacích stavů v kombinaci zohlednit a zda se mají přitom *zachovat znaménka*. Lze tak určit extrémní hodnoty modálních vnitřních sil a deformací a spočítat výsledky rozhodující složky v souladu s platnými znaménky.

7.3.3 Globální parametry výpočtu

V záložce *Globální parametry výpočtu* lze nastavit údaje, které platí obecně pro veškeré zatěžovací stavy a kombinace zatížení. Dialog otevřeme příkazem v hlavní nabídce

Výpočet → Parametry výpočtu...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



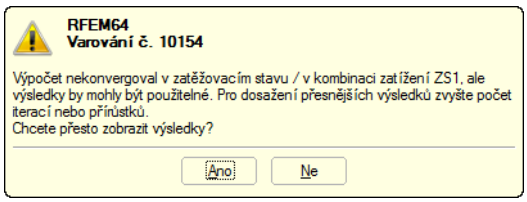
Obrázek 7.27 Dialog *Parametry výpočtu*, záložka *Globální parametry výpočtu*

Nastavení

Maximální počet iterací

Pokud se provádí výpočet podle teorie II. či III. řádu nebo postkritická analýza nebo pokud model obsahuje nelineární prvky, je třeba provést iterační výpočet. Maximální možný počet cyklů opakování lze nastavit v tomto poli. Toto nastavení se netýká iterační metody řešení soustavy rovnic, kterou jsme popsali v sekci *Možnosti*.

Pokud bude vyčerpán stanovený maximální počet iterací bez dosažení rovnováhy na konstrukci, objeví se po skončení výpočtu varovné hlášení. Výsledky výpočtu lze pak přesto zobrazit.



Obrázek 7.28 Varovné hlášení při problému s konvergencí

Počet přírůstků zatížení

Údaj v tomto poli má význam pouze v případě, že se provádí výpočet podle teorie II. či III. řádu. Při zohlednění velkých deformací je často obtížné dosáhnout rovnováhy. Nestabilitě se lze vyhnout postupným navyšováním zatížení v několika krocích.

Pokud například v tomto poli zadáme dva přírůstky zatížení, zatíží se konstrukce v prvním kroku pouze poloviční hodnotou zatížení. Následně proběhne iterační výpočet až do dosažení rovnováhy. V druhém kroku se na již přetvořenou konstrukci vloží celkové zatížení a znovu se provede iterační výpočet až do dosažení rovnováhy.

Z popisu je zřejmé, že zadání přírůstků zatížení značně prodlužuje dobu výpočtu. Proto je v tomto poli přednastavena hodnota 1 (tzn. výpočet bez postupného navyšování zatížení).

Kromě toho lze u každého zatěžovacího stavu a každé kombinace zatížení zvlášť nastavit počet přírůstků zatížení (viz kapitola 7.3.1.1). Ke globálnímu nastavení pro tyto zatěžovací stavy a kombinace zatížení se poté nepřihlíží.

Maximální počet přírůstků zatížení pro postupné zvyšování zatížení je důležitý pouze pro výpočet nelineárních materiálových modelů. Pokud je v sekci *Nelinearity* (viz níže) zaškrtnuté políčko *Počet přírůstků pro Newton-Raphsonovu metodu určit automaticky*, stanoví RFEM požadovaný počet přírůstků zatížení automaticky heuristickou metodou. Jak již bylo zmíněno, tato možnost pro efektivní řešení nelineárních úloh má význam pouze pro nelineární materiálové modely, které jsou počítané podle teorie I. nebo III. řádu Newton-Raphsonovou metodou. Aby se rozdělení na zatěžovací stupně udržovalo na přijatelné úrovni, je možné zadat maximální hodnotu.

Počet dělení prutu pro průběh výsledků

Údaj v tomto poli má vliv na grafické zobrazení výsledků na prutech, které již nevykazují další dělení na konečné prvky (např. zahuštěním sítě, napojením plochy apod.). Pokud v tomto poli nastavíme např. číslo 10, vydělí se délka nejdelšího prutu v konstrukci deseti. Na základě výsledné délky se pak určí na každém prutu mezilehlé body, pro které se zobrazí grafický průběh výsledků.

V dialogu *Síť KP* máme dále možnost rozdělit přímé pruty, které nejsou integrovány do ploch (viz obr. 7.10). Můžeme tak vytvořit uzly sítě konečných prvků na všech volných prutech. Jejich průběhy výsledků se pak zobrazí v grafickém okně.

Počet dělení pro speciální typy prutů (lano, pruty s pružným podložím, s náběhy, nelinearitou)

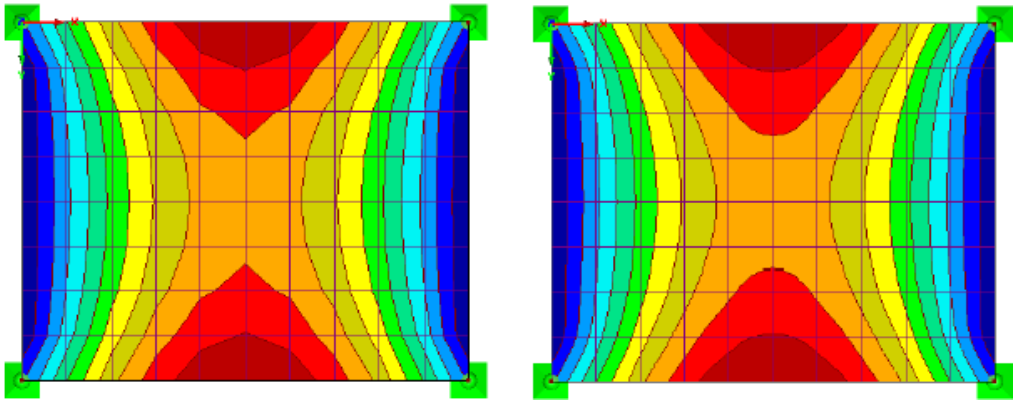
Na rozdíl od předchozí volby se v tomto případě provádí skutečné dělení prutů s pružným podložím (základové spáry), lan, prutů s náběhy (interpolace průřezových hodnot) a prutů s plastickými vlastnostmi (oblasti tečení) pomocí vnitřních uzlů, pokud již tyto pruty nebyly rozděleny na konečné prvky z jiného důvodu. Jestliže tedy například byl prut definován na hraniční linii plochy nebo na jeho linii bylo definováno zahuštění sítě, nemá tato hodnota žádný význam.

Počet dělení prutu pro určení maxim/minim

Tato hodnota udává počet dílů, na které jsou interně rozděleny pruty pro určení maximálních a minimálních vnitřních sil. Na základě tohoto dělení (přednastavená hodnota: 10) se tak extrémní hodnoty zobrazí ve výsledkových tabulkách a v grafice. K tomuto dělení se přihlíží také při výpočtu vnitřních sil na prutech v kombinacích zatížení.

Rozdělení sítě KP pro grafické výsledky

Hodnota v tomto poli má vliv na přesnost grafických průběhů výsledků v konečných prvcích. V následujícím příkladu vidíme, jak se liší výsledky v případě, že v poli pro rozdělení sítě KP zadáme 0 a 3.



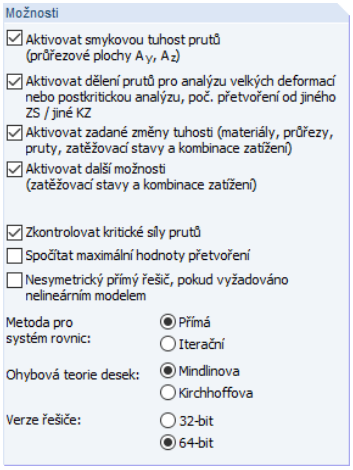
Obrázek 7.29 Grafický průběh výsledků m-x při zadání dělení 0 (vlevo) a 3 (vpravo)

Procentuální podíl iterací *Picardovou metodou před uplatněním postupu podle Newton-Raphsona*

Metoda řešení podle Picarda vychází z tuhostí sečen, Newton-Raphsonova metoda z tuhostí tečen (viz kapitola 7.3.1). Pokud zvolíme pro výpočet *Newton-Raphsonovu metodu v kombinaci s Picardovou*, bude se v prvních iteracích vycházet z tuhostí sečen a následně se ve zbývajících iteracích použijí tuhosti tečen.

V příslušném vstupním poli lze stanovit podíl prvních iterací, při nichž se budou uvažovat tuhosti sečen. Hodnota se uvádí v procentech a je vztažena k celkovému počtu iterací.

Možnosti



Aktivovat smykovou tuhost prutů (průřezové plochy A_y, A_z)

Smyková tuhost, pokud se uvažuje, má vliv na větší přetvoření. U válcovaných a svařovaných profilů se téměř neprojeví. U masivních průřezů a dřevěných profilů ovšem doporučujeme smykovou tuhost při výpočtu deformací zohlednit.

Aktivovat dělení prutů pro analýzu velkých deformací nebo postkritickou analýzu

Tato volba slouží k dělení nosníků pomocí vnitřních uzlů s cílem zohlednit přesněji tyto pruty při výpočtu podle teorie III. řádu. Počet dílů prutu se převezme ze vstupního pole pro zadání dělení lanových prutů a prutů s pružným podložím.

Aktivovat zadané změny tuhosti (materiály, průřezy, pruty, zatěžovací stavy a kombinace zatížení)

Po zaškrtnutí daného políčka se při výpočtu zatěžovacích stavů a kombinací zatížení globálně zohlední součinitele, kterými se upravují tuhosti materiálů (viz kapitola 4.3), průřezů (kapitola 4.13) a prutů (kapitola 4.17). V dialozích pro zadání prutů či průřezů jsou předem nastaveny součinitele 1,00. Zpravidla tak označení daného políčka nevede ke snížení ani zvýšení hodnot tuhosti.

Aktivovat další možnosti

Jestliže jsme ve výpočetních parametrech zatěžovacích stavů a kombinací zatížení zadali *další možnosti* (viz kapitola 7.3.1.3), lze je pomocí tohoto zaškrtávacího políčka globálně aktivovat nebo deaktivovat.

Kontrola kritických sil prutů

Často vede již v první iteraci překročení kritické síly k hlášení o nestabilitě. Tato volba umožňuje uživateli stanovit, zda se má zkontrolovat kritická síla u příhradových, tlačených a vzpěrných prutů. Přitom se zohlední zadané vzpěrné délky prutů.

Metoda řešení soustavy rovnic

Tímto přepínačem lze volit mezi *přímou* a *iterační* metodou výpočtu. Abychom předešli nedorozuměním: také v případě přímé výpočetní metody se provádí iterační výpočet, pokud jsou definovány nelinearity nebo pokud výpočet probíhá podle teorie II. či III. řádu. Označení *přímá* a *iterační* se vztahují ke zpracování dat během výpočtu, přičemž ve výsledcích by neměl být žádný kvalitativní rozdíl.

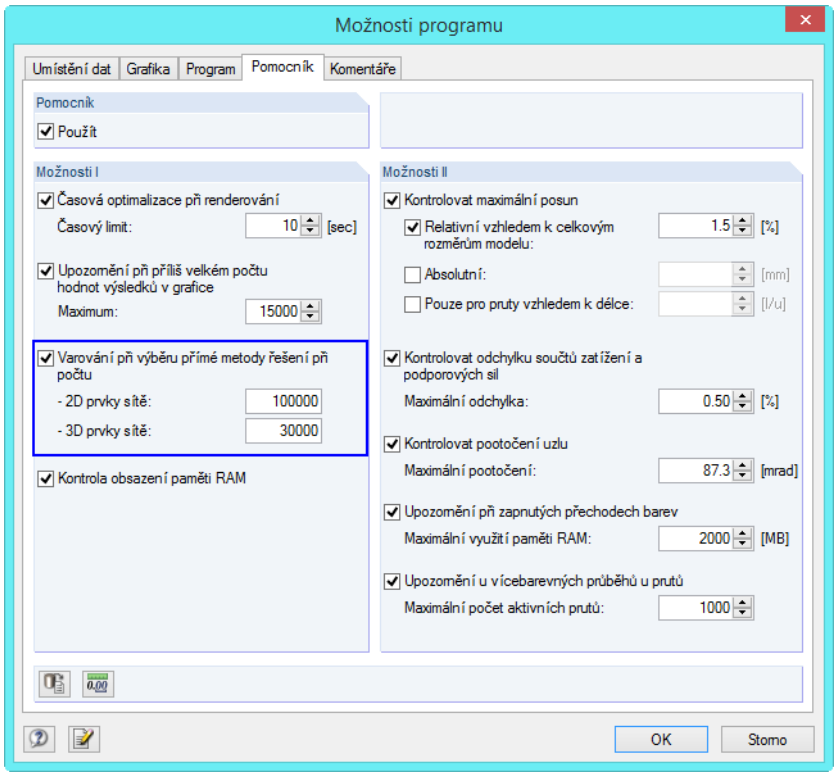
Která metoda vede rychleji k výsledkům, závisí na složitosti konstrukce a také na velikosti vnitřní paměti počítače.

- Pro malé a střední konstrukce je efektivnější *přímá* metoda.
- Pro velké konstrukce pak metoda *iterační*.

Jakmile při přímé metodě velikost matice překročí možnosti vnitřní paměti počítače, začne systém ukládat části vnitřní paměti na pevný disk. To vede k nárůstu přenosu dat na pevný disk a zpět a ke snížení využití výpočetní kapacity procesoru. Pokud přepneme na iterační metodu ICG (*Incomplete Conjugate Gradient*), můžeme se těmto problémům s pamětí vyhnout.

Je nezbytné sledovat, popř. nechat si automaticky od systému Windows kontrolovat, zda odkládací prostor na pevném disku je dostatečně velký. U některých systémů Windows může malý odkládací prostor na pevném disku vést ke zhroucení systému.

Příkazem z hlavní nabídky **Nastavení → Možnosti programu**... nebo kliknutím na vlevo znázorněné tlačítko v panelu nástrojů otevřeme dialog *Možnosti programu*. V záložce *Pomocník* pak můžeme nastavit počet 2D a 3D prvků, při jehož dosažení nebo překročení RFEM v případě přímé výpočetní metody zobrazí varovné hlášení před zahájením výpočtu.



Obrázek 7.30 Dialog *Možnosti programu*, záložka *Pomocník*

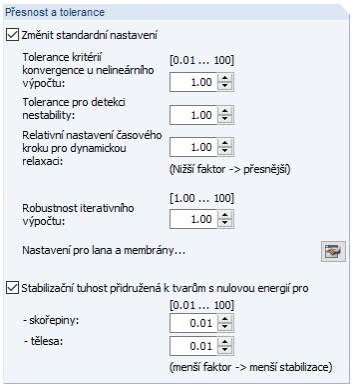
Ohybová teorie desek

Plochy lze počítat pomocí teorie ohybu desek podle Mindlina nebo podle Kirchhoffa. Při výpočtu podle Mindlina se zohledňují i deformace způsobené posouvající silou, zatímco podle Kirchhoffa nikoli. Ohybová teorie podle *Mindlina* je tak vhodná pro masivní desky a skořepiny (beton), ohybová teorie podle *Kirchhoffa* pro relativně tenké desky (např. plechy v ocelových konstrukcích).

Verze řešiče

RFEM používá nové výpočetní jádro pro přímou metodu výpočtu, které umožňuje v případě 64bitového operačního systému využít rozšířenou vnitřní paměť počítače. I u rozsáhlých konstrukcí bez nelineárních prvků tak lze přímo vypočítat všechny zatěžovací stavy a kombinace zatížení, a zkrátit tak výrazně dobu výpočtu. Předpokladem je dostatečně velká vnitřní paměť počítače tak, aby obsáhla matici tuhosti a veškerá zatížení.

Přesnost a tolerance



Jen zřídkakdy se stává, že je pro konvergenci a toleranci potřeba upravit předem nastavené parametry. Pokud zaškrtneme kontrolní políčko *Změnit standardní nastavení* resp. *Stabilizační tuhost přidružená k tvarům s nulovou energií pro*, zpřístupní se zadávací políčka níže.

Tolerance kritérií konvergence u nelineárního výpočtu

Touto volbou lze ovlivnit výpočet, pokud konstrukce obsahuje nelineární prvky nebo pokud se provádí analýza podle teorie II. či III. řádu, popř. postkritická analýza.

Změna normálových sil v posledních dvou iteracích bude porovnána u jednotlivých prutů. Jakmile změna dosáhne určitého zlomku maximální normálové síly, bude výpočet ukončen. V průběhu iterací se však může stát, že se normálové síly jednoho nebo několika prutů stále pohybují mezi dvěma hodnotami, místo aby došlo ke konvergenci. V tomto poli lze nastavit poměrnou citlivost, čímž lze předejít tomuto kolísání.

Daný součinitel má vliv i na kritérium konvergence v případě změn deformace při výpočtu podle teorie III. řádu, který zohledňuje geometrické nelinearity.

Přednastavený je součinitel 1,0. Minimální přípustná hodnota daného součinitele je 0,01, maximální hodnota 100,0. Čím větší je nastavená hodnota, tím menší je citlivost.

Tolerance pro detekci nestability

Při vyšetřování stabilitního chování konstrukce se uplatňují různé postupy. U žádného z nich se ovšem nemůžeme stoprocentně spolehnout, že odhalí singulární matice tuhosti.

RFEM používá dva postupy pro zjištění nestability: při prvním z nich se prvky na hlavní diagonále matice tuhosti porovnávají v jednotlivých iteracích absolutně vždy se stejným číslem, při druhém z nich se každý prvek na hlavní diagonále vyšetřuje poměrně k sousednímu číslu. Toleranci můžeme v příslušném vstupním poli upravovat. Čím menší je nastavená hodnota, tím menší je citlivost analýzy.

Relativní nastavení časového kroku pro dynamickou relaxaci

Časový parametr má vliv na výpočet metodou dynamické relaxace (viz kapitola 7.3.1.1). Čím menší je nastavená hodnota, tím menší je časový krok, a tím přesnější jsou také výsledky.

Robustnost iterativního výpočtu

V případě, že výpočet Newton-Raphsonovou metodou nekonverguje, můžeme zvýšit robustnost iterativního výpočtu, abychom zamezili „přeskočení“ příslušného řešení. Může být přitom potřeba navýšit maximální počet iterací.

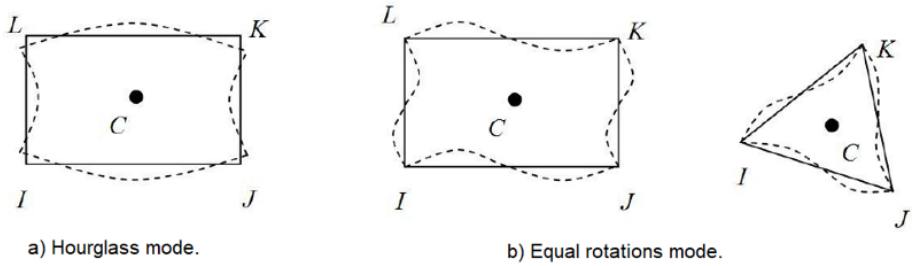
Nastavení pro lana a membrány

Tlačítko vyvolá dialog, v němž lze aktivovat počáteční předpětí pro lana a membrány. Dále je možné zohlednit účinek membrán při působení tlakových sil. Tímto způsobem lze často zlepšit robustnost výpočtu a konvergenční chování.

Stabilizační tuhost přidružená k tvarům s nulovou energií

Výpočet pomocí MKP používá redukovanou Gaussovu integraci pro potlačení ztužujících účinků smyku a prostorových deformací, např. při vytváření matice tuhosti. S touto omezenou integrací však souvisí také takzvané „rušivé tvary s nulovou energií“ („zero-energy spurious modes“), protože deformace nezpůsobují v systému žádná napětí.

U čtyřstranných 2D prvků jsou možné dva typy tvarů s nulovou energií, které popisují tvar přesýpacích hodin („hourglass mode“) nebo rovnoměrného natočení („equal rotations mode“). U trojúhelníkových prvků dochází pouze k rovnoměrnému natočení.



Obrázek 7.31 Formy nulové energie podle [4]

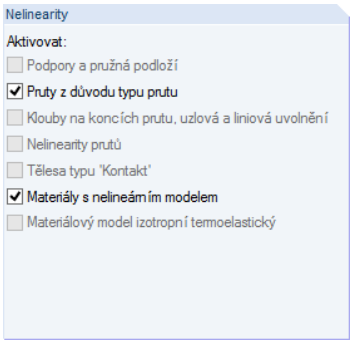
Pro vyřešení problému je potenciální energie konečného prvku opatřena malou pružnou přídavnou energií („penalty energy“), která působí proti těmto rotacím. Podrobný popis tohoto přístupu včetně rovnic je uvedený v [4].

V určitých situacích je ovšem možné, že základní hodnota stabilizační tuhosti je nedostatečná a deformace modelu jsou příliš vysoké v důsledku výše popsaných nefyzikálních forem energie. V tomto případě je možné stabilizační tuhost nastavit zvlášť pro skořepiny a tělesa. Možné jsou součinitele zvětšení mezi 0,01 (základní hodnota) a 100 (maximální hodnota).

Pokud je zaškrtávací políčko deaktivováno, použije se výchozí hodnota 0,01 - s výjimkou následujících dvou případů:

- U nelineárního materiálového modelu těles se zohledňuje standardní součinitel 1,0 pro tělesa.
- Pro stanovení plynových těles používá přídavný modul RF-GLASS standardní hodnoty 0,1 pro lineární resp. 1,0 pro fyzikálně nelineární 3D prvky.

Nelinearity

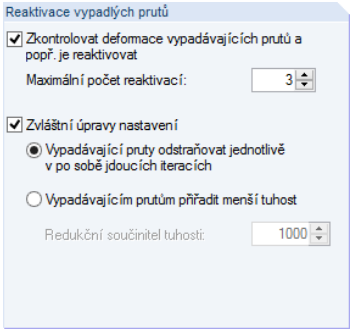


Pokud jsou v modelu použity nelineární prvky, lze jejich účinky deaktivovat před výpočtem v této sekci. Může se jednat o:

- neúčinné podpory/podloží (kapitola 4.7, kapitola 4.8, kapitola 4.9),
- neúčinné pruty (kapitola 4.17),
- klouby na koncích prutů (kapitola 4.14),
- nelinearity prutů (kapitola 4.20),
- kontaktní tělesa (kapitola 4.5),
- materiálové nelinearity (kapitola 4.3) - volitelně s automatickým stanovením požadovaných přírůstků zatížení,
- tepelně elastické vlastnosti (kapitola 4.3).

Tato možnost by měla být ovšem využívána pouze k testování konstrukce. Volby v této sekci jsou velmi užitečné při hledání chyb tohoto charakteru. Nesprávně definované neúčinné prvky jsou častou příčinou nestability.

Reaktivace vypadlých prutů



Toto nastavení má význam, pokud konstrukce obsahuje pruty, které mohou být v určitých případech neúčinné, např. tahové a tlakové pruty s nelineárními vlastnostmi nebo pruty s pružným podložím. Pomocí této volby lze často řešit případné stabilitní problémy způsobené vypadlými prvky. Jako příklad nám poslouží konstrukce, která je vyztužena tahovými pruty. V prvním výpočetním cyklu budou z důvodu zkrácení stojky vlivem svislých zatížení všechny tyto pruty zatíženy malými tlakovými silami, a proto budou z konstrukce odstraněny. V druhé iteraci bude konstrukce bez těchto prutů nestabilní.

Zkontrolovat deformace vypadávajících prutů a popř. je reaktivovat

Pokud je toto zaškrtávací políčko aktivováno, v každé iteraci se zkontrolují posuny uzlů. Pokud se např. koncové uzly vypadlého tahového prutu od sebe vzdálí, bude prut znovu aktivován.

V mnoha případech se může opětovné zařazování prvku do konstrukce projevit nepříznivě: může se stát, že určitý prut bude po první iteraci odstraněn, po druhé iteraci znovu zahrnut, po třetí opět odstraněn atd. Výpočet pokračuje bez konvergence v této smyčce, dokud není dosažen maximální počet iterací. Předejít lze tomu tak, že v uvedeném poli nastavíme *maximální počet reaktivací* prutu, než bude daný prvek definitivně odstraněn z matice tuhosti.

Zvláštní úpravy nastavení

Pokud uživatel aktivuje toto políčko, zpřístupní se mu další dvě volby pro zpracování vypadlých prvků. Tyto volby lze kombinovat s výše popsanou reaktivací prvků.

- **Vypadávající pruty odstraňovat jednotlivě v po sobě jdoucích iteracích**

  Pokud označíme tuto volbu, neodstraní se po první iteraci např. všechny tahové pruty zatížené tlakem najednou, nýbrž pouze tahový prut zatížený největším tlakem. Při druhé iteraci tak chybí v matici tuhosti pouze jeden prut. Po druhé iteraci bude opět odstraněn pouze tahový prut, na který působí největší tlak. Zpravidla vede tento postup k lepší konvergenci v důsledku redistribuce v konstrukci.

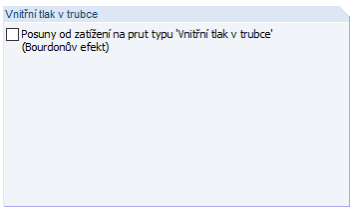
  Tato metoda výpočtu je časově náročnější, protože musí proběhnout větší počet iterací. Přitom je třeba dávat pozor na to, aby v horní části dialogu v sekci *Nastavení* byl zvolen dostatečný počet možných iterací.

- **Vypadávajícím prutům přiřadit menší tuhost**

  Pokud aktivujeme tuto volbu, vypadlé prvky nebudou odstraněny z matice tuhosti, ale přiřadí se jim velmi malá tuhost. Tuhost můžeme určit v poli *Redukční součinitel tuhosti*. Pokud například vybereme součinitel 1000, bude tuhost zmenšena na 1/1000 původní hodnoty.

  Jestliže zvolíme tuto metodu výpočtu, je třeba si uvědomit, že na prutu vzniknou malé vnitřní síly, které prut v důsledku svých definovaných vlastností vlastně nepřenáší.

Vnitřní tlak v trubce

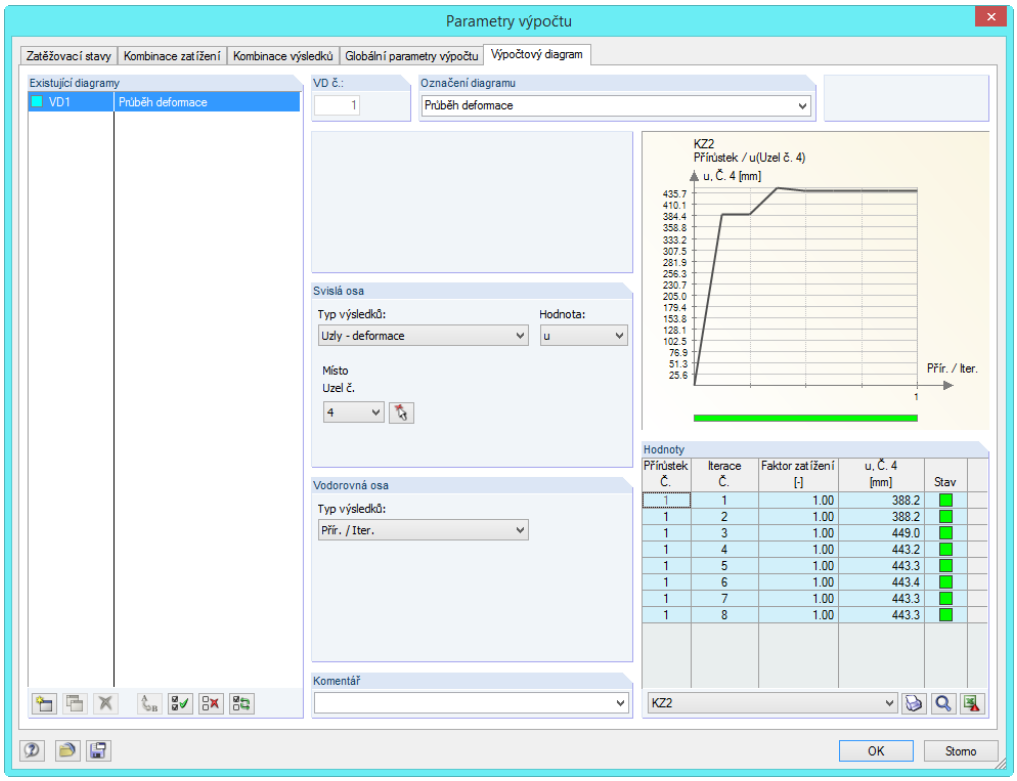


Dané zaškrtávací políčko má význam v případě zatížení na prut *Vnitřní tlak v trubce*. Takzvaný Bourdonův efekt vyjadřuje snahu trubky narovnávat se vlivem tlaku, tj. přecházet ze zahnutého do přímého tvaru. Obvodová a osová napětí od vnitřního tlaku vyvolávají – při zohlednění tuhosti materiálu a příčných deformací – osové podélné protažení trubky.

Příklad výpočtu vnitřního tlaku v trubce najdete v následujícím odborném článku:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001102

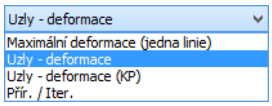
7.3.4 Výpočtový diagram

Poslední záložka dialogu slouží uživateli k nastavení diagramů, které se zobrazují během výpočtu (viz obr. 7.38). Příslušná grafická znázornění spolu s hodnotami máme k dispozici i po výpočtu. Můžeme tak zkontrolovat průběh konvergence a také deformace uzlů (např. podpory s nelineárními vlastnostmi).



Obrázek 7.32 Dialog *Parametry výpočtu*, záložka *Výpočtový diagram*

Seznam *Existující diagramy* podává přehled o výpočtových diagramech (*VD*), které jsme dosud v daném modelu zadali. Po kliknutí na tlačítko můžeme vytvořit nový výpočtový diagram a pojmenovat ho.



Svislá osa představuje úsečku, *vodorovná osa* pořadnici výpočtového diagramu. V seznamech, které vidíme v příslušných dvou sekcích, můžeme vždy vybrat *typ výsledků*. Deformace můžeme vztáhnout v seznamu *Hodnota* na posun (u) nebo pootočení (Phi).

V případě deformací uzlu nebo uzlu sítě konečných prvků můžeme nastavit číslo příslušného objektu v seznamu nebo ho můžeme vybrat pomocí funkce v pracovním okně.

Během výpočtu se nám zobrazí diagram s průběhem přetvoření (viz obr. 7.38). Po výpočtu ho máme k dispozici i se zobrazenými hodnotami také v záložce *Výpočtový diagram* (viz obrázek výše).

Tlačítkem lze zobrazit zvětšený diagram v novém okně.

7.4 Spuštění výpočtu

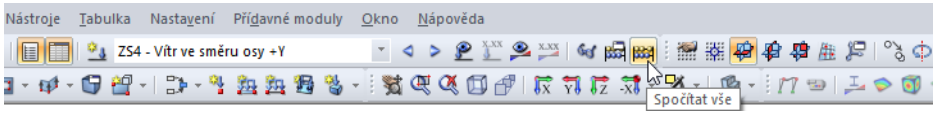
Spustit výpočet lze několika způsoby. Předtím však doporučujeme provést rychlou kontrolu správnosti zadaných dat (viz kapitola 7.1.1).

Spočítat vše

Tuto funkci spustíme z hlavní nabídky

Výpočet → Spočítat vše

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 7.33 Tlačítko [Spočítat vše]

Tímto příkazem se spustí výpočet všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků, a to i ve všech přídavných modulech, pokud v nich jsou zadána příslušná data.

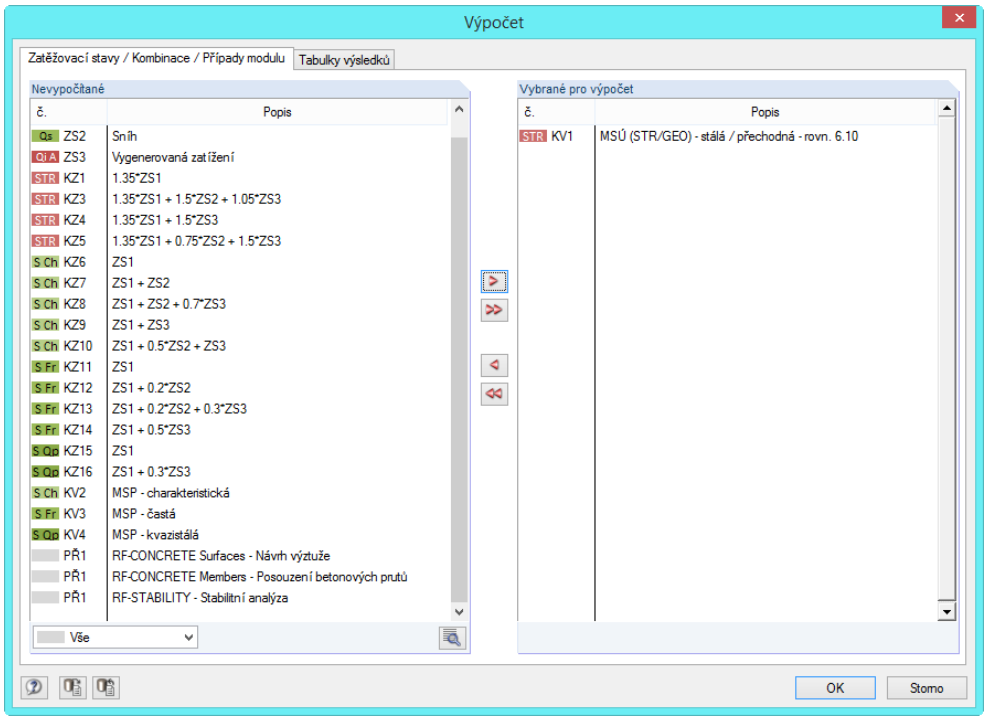
Funkci[Spočítat vše] je třeba používat uvážlivě.

- Některé zatěžovací stavy se nemohou vyskytovat samostatně. Například zatížení větrem vždy působí společně s vlastní tíhou. Konstrukce, které mají například uložení neúčinná v tahu, ztrácejí často při postupném výpočtu jednotlivých zatěžovacích stavů stabilitu.
- Neuvážené spuštění této funkce může navíc vést v případě vysokého počtu kombinací zatížení a návrhových případů v přídavných modulech ke značnému a zbytečnému prodloužení doby výpočtu.

Spočítat vybrané zatěžovací stavy

Dialog, v němž můžeme vybrat zatěžovací stavy, které chceme spočítat, otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Vybrat pro výpočet...

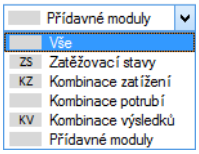


Obrázek 7.34 Dialog *Výpočet*

V levé části se nachází seznam všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků i všech případů z přídavných modulů, pro které dosud nemáme výsledky. Pomocí tlačítka > se

položky vybrané v seznamu vlevo převedou do seznamu *Vybrané pro výpočet* v pravé části dialogu. Jednotlivé případy lze vybrat i tak, že na ně dvakrát klikneme. Tlačítkem >> převedeme do tabulky vpravo celý seznam.

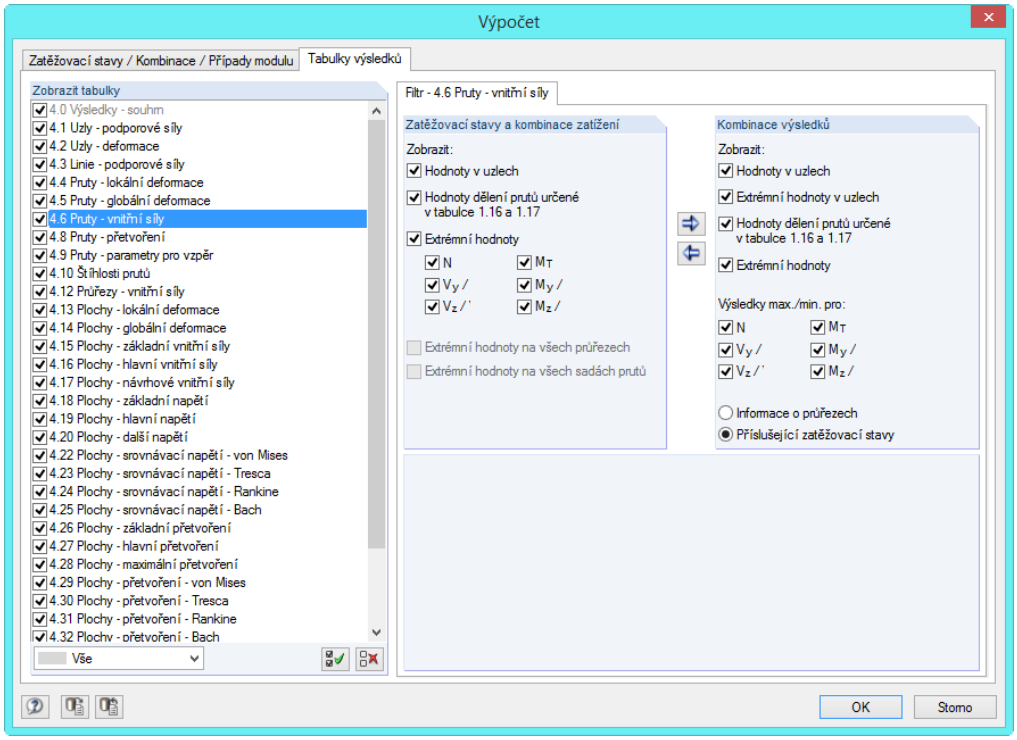
Pokud vybereme kombinace výsledků nebo případy z přídavných modulů, při jejichž výpočtu se vychází z výsledků určitých zatěžovacích stavů, pak se tyto zatěžovací stavy také automaticky spočítají.



Pod seznamem má uživatel na výběr z několika možných kritérií, podle nichž lze položky v seznamu filtrovat.

Tlačítkem otevřeme dialog *Parametry výpočtu* (viz kapitola 7.3). V něm můžeme zkontrolovat a případně upravit nastavení pro výpočet.

V záložce *Tabulky výsledků* v dialogu *Výpočet* můžeme vybrat, které tabulky se mají po výpočtu zobrazit.

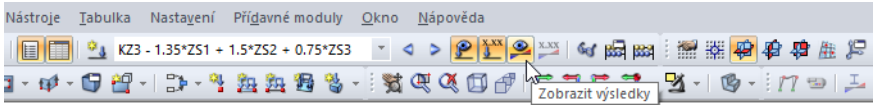


Obrázek 7.35 Dialog *Výpočet*, záložka *Tabulky výsledků*

U některých tabulek výsledků můžeme použít podrobnější filtry. Popisujeme je v kapitole 8 u příslušných výstupních tabulek (viz např. obr. 8.14).

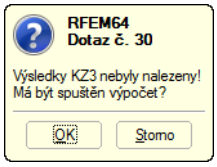
Spočítat aktuální zatěžovací stav

Pokud potřebujeme pouze výsledky určitého zatěžovacího stavu nebo kombinace, lze jejich výpočet spustit přímo. Nastavíme daný zatěžovací stav, resp. kombinaci zatížení nebo kombinaci výsledků v seznamu v panelu nástrojů a následně klikneme na tlačítko [Zobrazit výsledky].



Obrázek 7.36 Přímý výpočet aktuálního zatěžovacího stavu kliknutím na tlačítko [Zobrazit výsledky]

Jakmile se zobrazí hlášení, že dosud nejsou k dispozici žádné výsledky, můžeme výpočet spustit.



Obrázek 7.37 Kontrolní dotaz před výpočtem

Spočítat vybrané výsledky

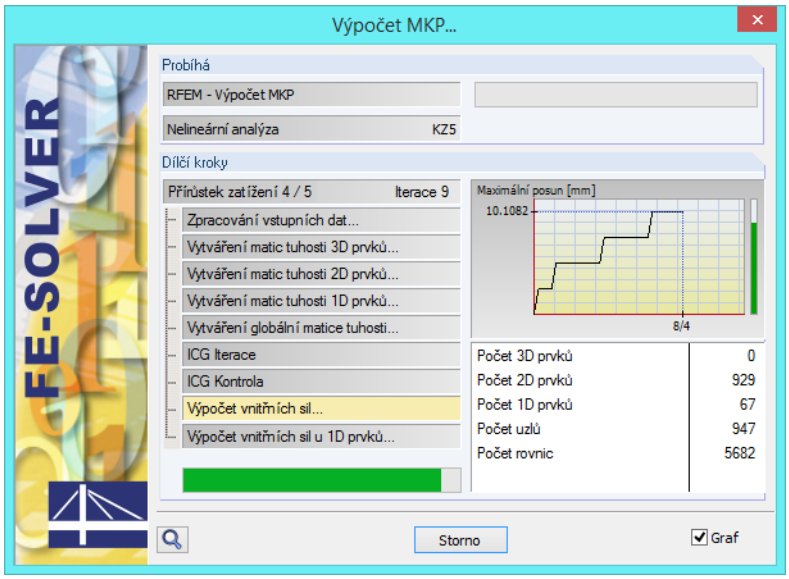
Hlavní nabídka *Výpočet* nabízí další možnosti, jak omezit počítané výsledky. Vybrat můžeme následující položky:

- Pouze výsledky RFEMu
- Pouze výsledky modulů
- Všechny výsledky všech otevřených modelů
- Pouze výsledky RFEMu všech otevřených modelů
- Pouze výsledky modulů u všech otevřených modelů

Výpočet se spustí okamžitě po vybrání příslušné funkce.

Průběh výpočtu

Průběh výpočtu můžeme sledovat v okně *Výpočet MKP...* Podává nám přehled o právě probíhajících fázích výpočtu a také o vývoji maximálních posunů v iteračním diagramu.



Obrázek 7.38 Průběh výpočtu

Zelené, příp. červené svislé pruhy znázorňují konvergenční chování během výpočtu: každý přírůstek zatížení namáhá určitou část sloupu, na obrázku výše jsou to např. 4/5 pro čtvrtý z pěti přírůstků zatížení. Pokud je pruh zelený, jsou deformace v přípustné oblasti, červený pruh znamená příliš velký posun nebo natočení (≥ 0,1 rad).

8 Výsledky

Je důležité si uvědomit, že MKP je přibližnou metodou výpočtu. Výsledky musí být na základě odborných znalostí statika kriticky prozkoumány z hlediska hodnověrnosti.

Po výpočtu se zobrazí v navigátoru další záložka *Výsledky* (viz kapitola 3.4.3), v které můžeme nastavit zobrazení výsledků v grafickém okně. Číselné výsledky se zobrazí v samostatných tabulkách (viz kapitola 3.4.4).

Barevné znázornění hodnot v tabulkách

Sloupce s výsledky jsou v tabulkách částečně podbarveny červeně nebo modře (viz obr. 8.3). Barevné pruhy graficky znázorňují příslušné výsledné hodnoty. Šířka barevného pruhu se řídí hodnotou vnitřní síly, resp. deformace vzhledem k maximální, resp. minimální hodnotě u všech objektů. Záporné hodnoty jsou vyznačeny červeným pruhem, kladné pruhem modrým. Takto může uživatel snadno vizuálně zhodnotit i číselné výsledky v tabulce.

Barevné zobrazení hodnot lze zapnout, resp. vypnout z hlavní nabídky

Tabulka → Zobrazit v Barevné znázornění hodnot

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

Filtry pro zobrazení tabulek

Počet zobrazených tabulek závisí na nastavení v záložce *Tabulky výsledků* v dialogu *Výpočet* (viz kapitola 7.4).

Celková bilance

Tabulka 4.0 *Výsledky - souhrn* poskytuje celkový přehled o výsledcích výpočtu a údaje řadí podle zatěžovacích stavů a kombinací zatížení.

4.0 Výsledky - souhrn

ZS1 - Vlastní tíha, nást

	A Označení	B Hodnota	C Jednotky	D Komentář
	ZS1 - Vlastní tíha, nástavba, tlak zeminy			
	Součet zatížení ve směru X	-767.99	kN	
	Součet podporových sil ve směru X	-767.99	kN	Odchylka: 0.00 %
	Součet zatížení ve směru Y	0.00	kN	
	Součet podporových sil ve směru Y	0.00	kN	
	Součet zatížení ve směru Z	652.01	kN	
	Součet podporových sil ve směru Z	652.01	kN	Odchylka: 0.00 %
	Výslednice reakcí okolo X	-0.128	kNm	V těžišti modelu (X: 6.078, Y: 3.044, Z: 0.587 m)
	Výslednice reakcí okolo Y	-1350.110	kNm	V těžišti modelu
	Výslednice reakcí okolo Z	-34.096	kNm	V těžišti modelu
	Maximální posun ve směru X	-0.7	mm	Prut č. 1, x: 2.500 m
	Maximální posun ve směru Y	1.0	mm	Prut č. 5, x: 2.796 m
	Maximální posun ve směru Z	6.0	mm	Uzel sítě prvků č. 437 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
	Maximální posun (vektorový)	6.0	mm	Uzel sítě prvků č. 437 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
	Maximální pootočení okolo osy X	1.7	mrad	Uzel sítě prvků č. 96 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
	Maximální pootočení okolo osy Y	-2.0	mrad	Uzel sítě prvků č. 937 (X: 1.000, Y: 6.000, Z: 0.000 m)
	Maximální pootočení okolo osy Z	0.3	mrad	Uzel sítě prvků č. 581 (X: 7.000, Y: 6.000, Z: 2.500 m)
	Teorie výpočtu	I. řád		Teorie I. řádu (geometricky lineární výpočet)
	Redukce tuhosti	☐		
	Počet přírůstků zatížení	1		
	Počet iterací	4		
	Maximální hodnota prvku matice tuhosti na diagonále	4.403E+11		
	Minimální hodnota prvku matice tuhosti na diagonále	2.773E+05		
	Determinant matice tuhosti	6.768E+5270		

Výsledky - souhrn | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Linie - podporové síly | Pruty - lokální deformace | Pruty - globální deformace

Obrázek 8.1 Tabulka 4.0 *Výsledky - souhrn*

V přehledu se porovnávají kontrolní součty zatížení a podporových reakcí. Procentuální odchylka by měla být v každém směru menší než 1%. V opačném případě vznikají nesrovnalosti v důsledku velkých rozdílů v tuhosti. Může nastat i případ, kdy konstrukce není dostatečně stabilní nebo kdy byl při výpočtu dosažen maximální počet iterací, aniž by proběhla konvergence. Přehled zahrnuje také výslednice reakcí, které působí ideálně v těžišti modelu.

V tomto přehledu se dále zobrazí maximální posuny a pootočení vzhledem ke globálním osám X, Y a Z a také největší celková deformace. Při kontrole deformací tak můžeme na první pohled odhadnout spolehlivost výsledků.

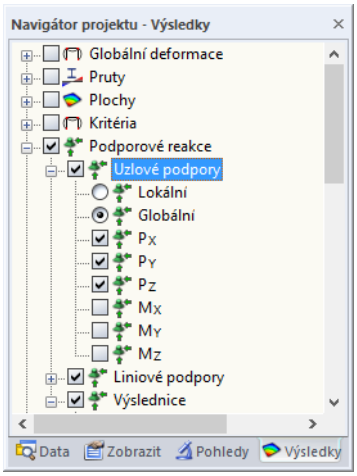
V souhrnu výsledků pro jednotlivé zatěžovací stavy se vždy uvedou i použité výpočetní parametry. Důležitý je například údaj o *počtu iterací*, který byl zapotřebí k výpočtu příslušných výsledků.

Tabulka končí celkovým souhrnem vybraných parametrů analytického jádra a globálně platnými zadávacími podmínkami výpočtu (viz obrázek 7.27).

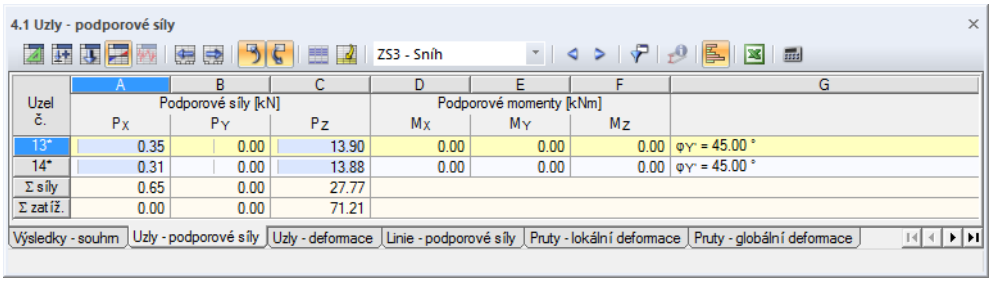
8.1 Uzly — podporové síly

Položky v sekci *Podporové reakce* v navigátoru *Výsledky* určují, které komponenty se graficky zobrazí v pracovním okně. Lze je vztáhnout k lokálním osám natočených podpor nebo ke globálnímu souřadnému systému XYZ. Číselné výsledky podporových sil a momentů si můžeme prohlédnout v tabulce 4.1.

V případě 2D modelu se v tabulce zobrazí pouze sloupce s podporovými silami a momenty pro rovinnou konstrukci.



Obrázek 8.2 Navigátor *Výsledky*: Podporové reakce → Uzlové podpory



Obrázek 8.3 Tabulka 4.1 *Uzly — podporové síly*

Zatěžovací stav, jehož podporové síly a momenty se mají zobrazit, nastavíme v seznamu v panelu nástrojů v horní části obrazovky nebo v panelu nástrojů v okně tabulek.

Podporové síly P_X / P_Y / P_Z

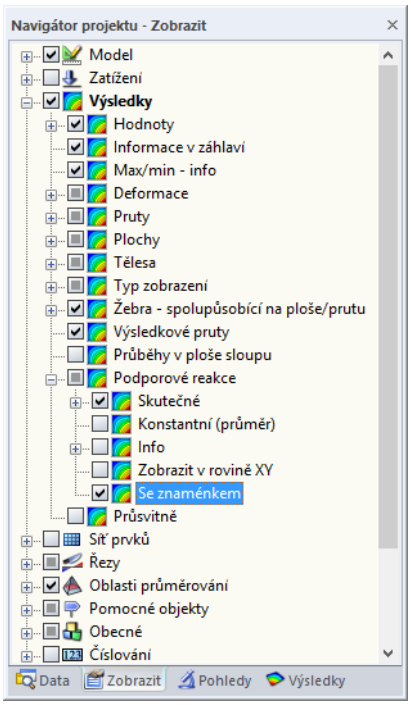
V těchto třech sloupcích se zobrazí podporové síly seřazené podle jednotlivých uzlů. Síly se vztahují zpravidla k osám X, Y a Z globálního souřadného systému. Pokud chceme síly zobrazit v grafickém okně i v tabulce ve vztahu k lokálním osám podpory X', Y' a Z' (natočené podpory), je třeba změnit nastavení v navigátoru *Výsledky* pomocí **Podporové reakce → Uzlové podpory → Lokální**.

V případě natočení podpory jsou uzly označeny hvězdičkou (*) tak, jak vidíme na obr. 8.3. Síly se zobrazí ve vztahu ke zvolenému osovému systému. V posledním sloupci tabulky se uvede úhel natočení podpory.

V tabulce jsou uvedeny síly, které podpora přenáší. Co se týče znamének, **nejedná** se tedy o reakce ze strany podpory. Znaménka se řídí směrem globálních os. Pokud směřuje globální osa Z dolů, pak například zatěžovací stav vlastní tíha vyvolává kladnou podporovou sílu P_Z a zatížení větrem proti směru globální osy X zápornou podporovou sílu P_X. Podporové síly uvedené v tabulce tak vlastně odpovídají zatížením na konstrukci.

Zelené vektory v grafickém zobrazení naopak představují reakce ze strany podpor. Z velikosti a směru vektorů můžeme vysledovat jednotlivé složky reakcí.

Reakce podpor lze v grafickém okně zobrazit včetně znamének. Tato volba je přístupná v navigátoru *Zobrazit* z položky *Výsledky*.



Obrázek 8.4 Navigátor *Zobrazit*: Výsledky → Reakce → Se znaménkem

Znaménka v grafickém okně se vztahují ke globálnímu souřadnému systému XYZ, popř. natočenému lokálnímu osovému systému X'Y'Z'. Tato znaménka je vhodné zapínat pouze ke kontrolním účelům. Vektory jsou totiž již opatřeny znaménky, a mohlo by tak docházet k mylným výkladům. Znaménka v grafickém okně je třeba chápat jako doplnění vektorového zobrazení. Udávají směr sil ve vztahu ke globálním či lokálním osám.

Podporové momenty M_X / M_Y / M_Z

V těchto třech sloupcích se zobrazí podporové momenty seřazené podle jednotlivých uzlů. Momenty se vztahují zpravidla k osám X, Y a Z globálního souřadného systému. Pokud chceme momenty zobrazit ve vztahu k lokálním osám podpory X', Y' a Z', je třeba změnit nastavení v navigátoru *Výsledky*.

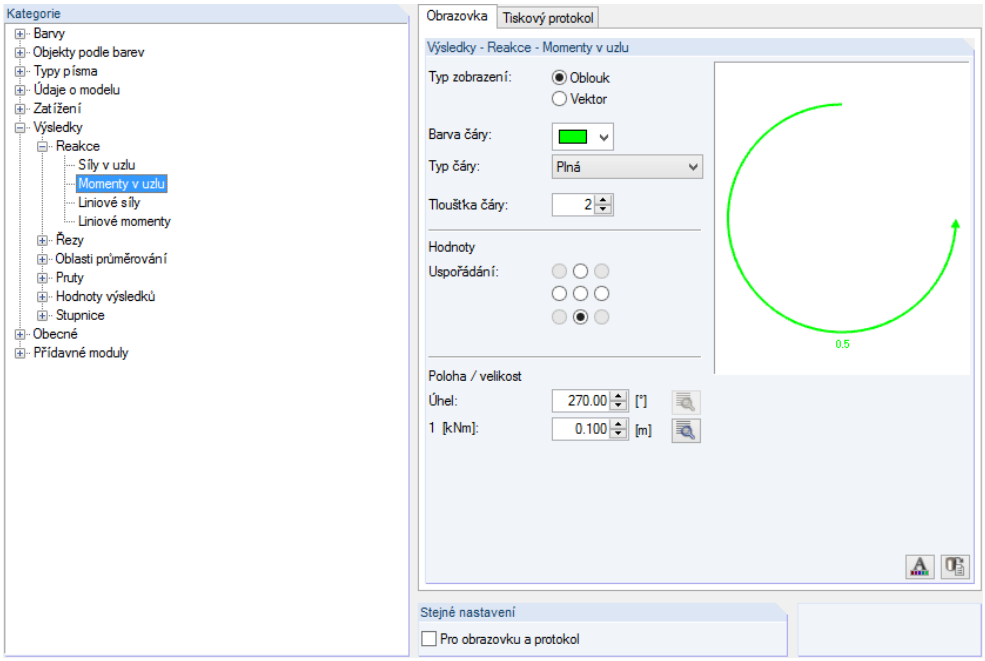
V tabulce jsou uvedeny momenty, které podpora přenáší. Co se týče znamének, **nejedná** se stejně jako v případě podporových sil o reakce ze strany podpory. Znaménka se řídí směrem globálních os. Podporové momenty uvedené v tabulce tak vlastně odpovídají zatížením na konstrukci.

V grafickém zobrazení jsou naopak znázorněny momentové reakce ze strany podpor.

Také podporové momenty lze v grafickém okně zobrazit včetně znamének (viz obr. 8.4). Kladný podporový moment působí pravotočivě okolo příslušné kladné globální osy. Stejně jako v případě podporových sil tu platí, že vektory jsou již opatřeny znaménky, a hodnoty je třeba posuzovat nezávisle na nich. Znaménka udávají směr momentů ve vztahu ke globálním či lokálním osám.

V grafickém okně lze podporové momenty znázornit ve vektorovém nebo obloukovém zobrazení. Typ zobrazení můžeme změnit z hlavní nabídky

Nastavení ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Upravit...



Obrázek 8.5 Dialog *Vlastnosti zobrazení* (výřez) : obloukové zobrazení momentů v uzlu

V levé části dialogu klikneme v sekci *Kategorie* na **Výsledky ⟶ Reakce ⟶ Momenty v uzlu** a následně v pravé horní části dialogu vybereme typ zobrazení *Oblouk*.

Natočené uzlové podpory

Pokud je uzlová podpora natočena, v posledním sloupci v tabulce se zobrazí úhel natočení (viz viz 8.3). Příslušné uzly jsou pak označeny hvězdičkou (*).

Kontrolní součty

U zatěžovacích stavů a kombinací zatížení jsou zcela na konci tabulky zařazeny kontrolní součty zatížení a podporových reakcí. Pokud model obsahuje také liniové podpory a pruty nebo plochy s pružným uložením, můžeme počítat s určitými rozdíly mezi ∑ *sil* a ∑ *zatížení*. Při celkové bilanci je v takovém případě třeba uvážit i ∑ *sil* ve výstupních tabulkách 4.3, 4.7 a 4.21.

Převzít reakce jako zatížení

Podporové síly a momenty na uzlech z jiného modelu v RFEMu lze použít jako zatížení v aktuální úloze. Lze tak převzít zatížení na jednotlivých podlažích pro statické posouzení 2D stropních desek. Tuto funkci popisujeme v kapitole 8.3 .

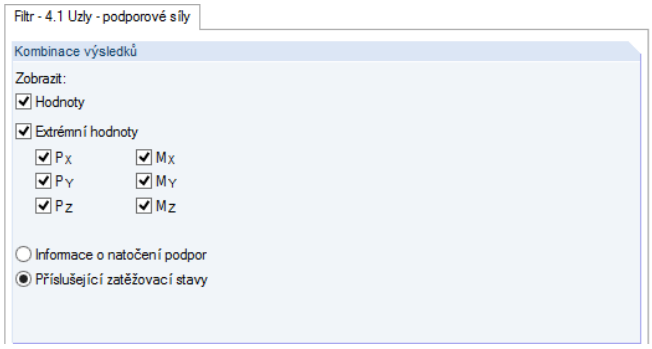
V cílové úloze se importované uzlové reakce uloží jako volná osamělá zatížení.

Filtrování reakcí z kombinací výsledků

V případě kombinací výsledků lze upravovat automatické nastavení zobrazovaných extrémních hodnot příkazem v hlavní nabídce

Tabulka ⟶ Zobrazit ⟶ Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

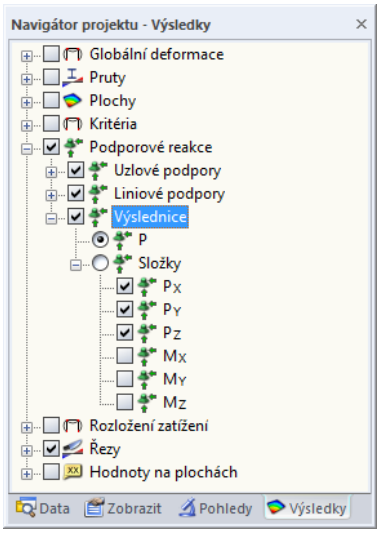


Obrázek 8.6 Dialog *Filtr tabulek* (výřez)

Druh a rozsah zobrazovaných výsledků lze nastavit zaškrtnutím příslušných políček v dialogu *Filtr tabulek*.

Výslednice reakcí

U zatěžovacích stavů a kombinací zatížení se v tabulce 4.0 *Výsledky - souhrn* zobrazí číselné hodnoty výslednic reakcí v každém globálním směru (viz obr. 8.1). Znázornit výslednice na modelu konstrukce lze z navigátoru *Výsledky*.



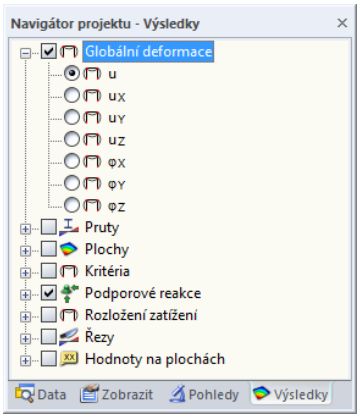
Obrázek 8.7 Navigátor *Výsledky*: Reakce ⟶ Výslednice

Kromě celkové výslednice *P* můžeme zobrazit také jednotlivé *složky*, které působí ideálně v těžišti modelu. Na první pohled tak můžeme zkontrolovat stav a polohu výsledných reakcí.

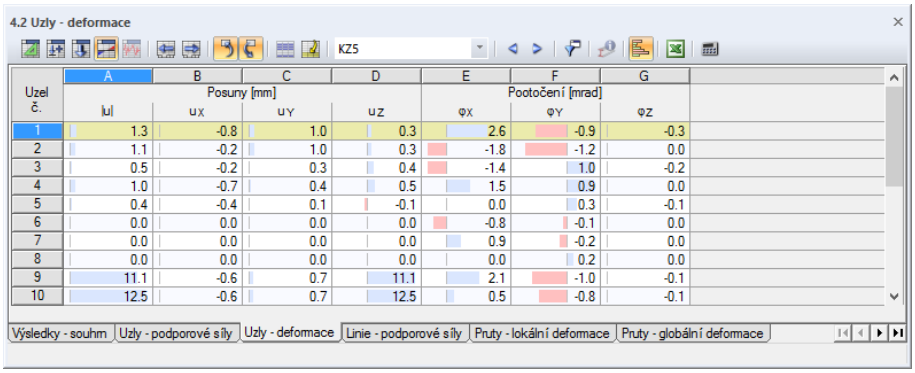
8.2

Uzly - deformace

Posuny a natočení uzlů lze graficky zobrazit po kliknutí na položku *Globální deformace* v navigátoru *Výsledky*. V tabulce 4.2 se zobrazí číselné hodnoty deformací uzlů.



Obrázek 8.8 Navigátor *Výsledky*: Globální deformace



Obrázek 8.9 Tabulka 4.2 *Uzly - deformace*

Posuny a pootočení se zobrazí seřazené podle jednotlivých uzlů.

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých deformací:

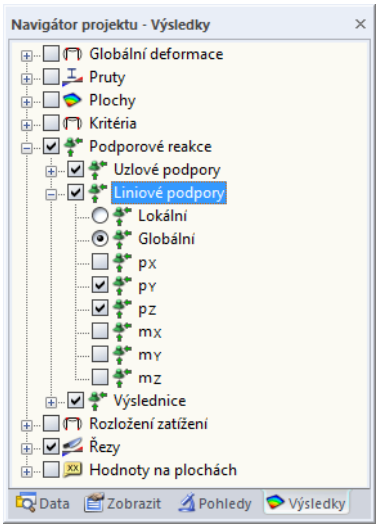
u	Celkový posun
u_X	Posun ve směru globální osy X
u_Y	Posun ve směru globální osy Y
u_Z	Posun ve směru globální osy Z
φ_X	Pootočení okolo globální osy X
φ_Y	Pootočení okolo globální osy Y
φ_Z	Pootočení okolo globální osy Z

Tabulka 8.1 Deformace uzlů

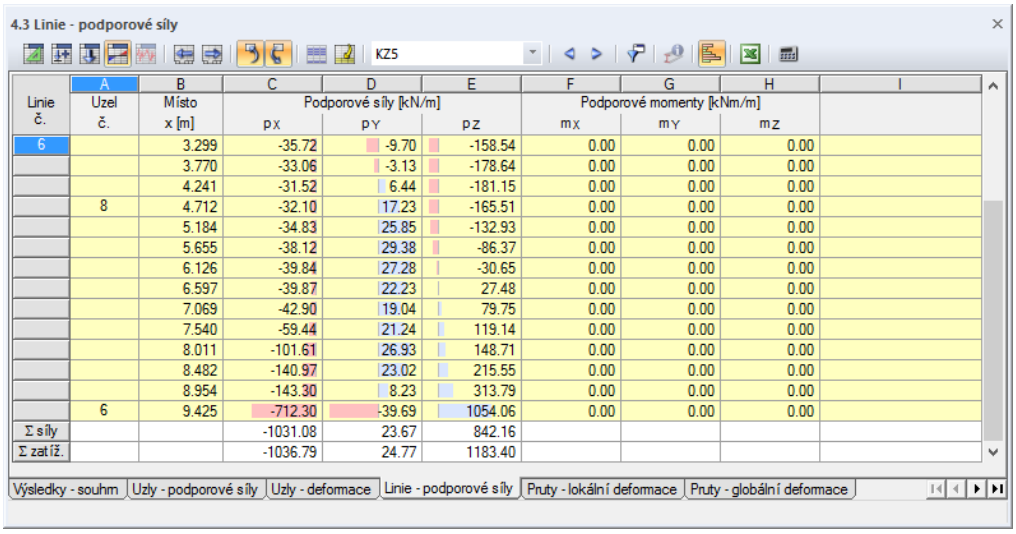
8.3 Linie — podporové síly

Položky v sekci *Podporové reakce* v navigátoru *Výsledky* určují, které komponenty se graficky zobrazí v pracovním okně. Lze je vztáhnout k lokálním osám natočených podpor nebo ke globálnímu souřadnému systému XYZ. Číselné výsledky podporových sil a momentů si můžeme prohlédnout v tabulce 4.3.

V případě 2D modelu se v tabulce zobrazí pouze sloupce s podporovými silami a momenty pro rovinnou konstrukci.



Obrázek 8.10 Navigátor *Výsledky*: Reakce → Liniové podpory



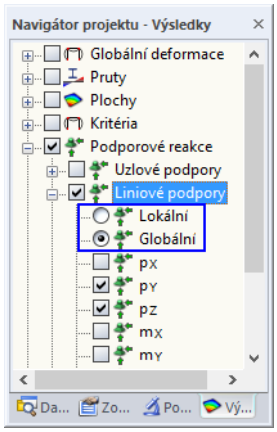
Linie č.	Uzel č.	Místo x [m]	Podporové síly [kN/m] px	py	pz	Podporové momenty [kNm/m] mx	my	mz
6		3.299	-35.72	-9.70	-158.54	0.00	0.00	0.00
		3.770	-33.06	-3.13	-178.64	0.00	0.00	0.00
		4.241	-31.52	6.44	-181.15	0.00	0.00	0.00
	8	4.712	-32.10	17.23	-165.51	0.00	0.00	0.00
		5.184	-34.83	25.85	-132.93	0.00	0.00	0.00
		5.655	-38.12	29.38	-86.37	0.00	0.00	0.00
		6.126	-39.84	27.28	-30.65	0.00	0.00	0.00
		6.597	-39.87	22.23	27.48	0.00	0.00	0.00
		7.069	-42.90	19.04	79.75	0.00	0.00	0.00
		7.540	-59.44	21.24	119.14	0.00	0.00	0.00
		8.011	-101.61	26.93	148.71	0.00	0.00	0.00
		8.482	-140.97	23.02	215.55	0.00	0.00	0.00
		8.954	-143.30	8.23	313.79	0.00	0.00	0.00
	6	9.425	-712.30	-39.69	1054.06	0.00	0.00	0.00
Σ síly			-1031.08	23.67	842.16			
Σ zat íž.			-1036.79	24.77	1183.40			

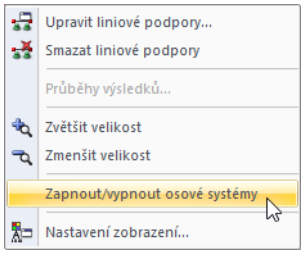
Obrázek 8.11 Tabulka 4.3 *Linie - podporové síly*

Zatěžovací stav, jehož podporové síly a momenty se mají zobrazit, nastavíme v seznamu v panelu nástrojů v horní části obrazovky nebo v panelu nástrojů v okně tabulek.

Místo x

Podporové síly a momenty se seřadí podle linií. Místa x v příslušném sloupci v tabulce udávají vzdálenosti uzlů sítě konečných prvků na linii. Tato místa jsou vztažena k počátečnímu uzlu linie. Rastr plochy nemá pro podporové síly linií význam.





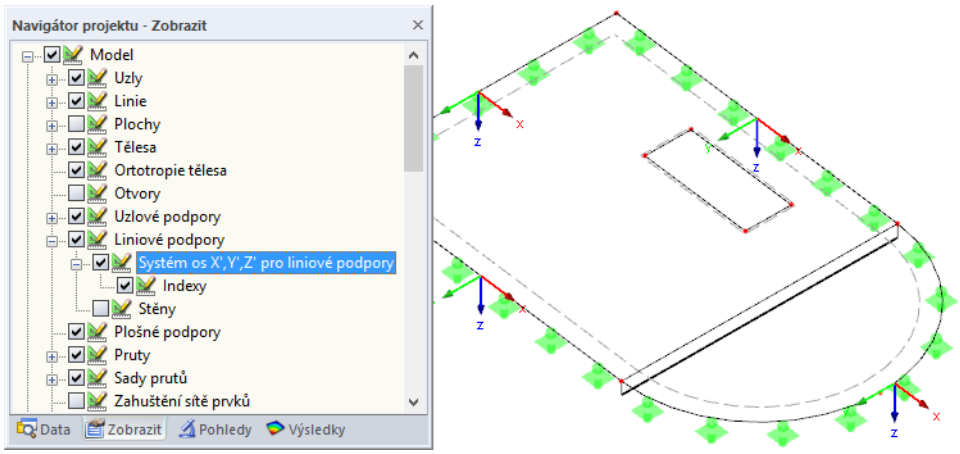
Místní nabídka liniové podpory

Podporové síly p_X / p_Y / p_Z

V těchto třech sloupcích se zobrazí podporové síly seřazené podle jednotlivých linií. Síly se vztahují buď k osám X, Y a Z globálního souřadného systému nebo k osám X', Y' a Z' lokálního souřadného systému liniové podpory. Lokální nebo globální souřadný systém lze pro reakce liniových podpor v tabulce nastavit v navigátoru *Výsledky* (viz obrázek po levé straně).

V tabulce jsou uvedeny síly, které podpora přenáší. Co se týče znamének, **nejedná** se tedy o reakce ze strany podpory. Pokud jsou podporové síly vztaženy ke globálnímu souřadnému systému, řídí se znaménka jejich hodnot směrem globálních os. Pokud směřuje globální osa Z dolů, pak například zatěžovací stav vlastní tíha vyvolává kladnou podporovou sílu p_Z a zatížení větrem proti směru globální osy X zápornou podporovou sílu p_X. Podporové síly uvedené v tabulce tak vlastně odpovídají zatížením na konstrukci.

Pokud se zobrazí lokální podporové síly $p_{X'}$, $p_{Y'}$ a $p_{Z'}$, pak jsou tyto síly vztaženy k osám liniové podpory X', Y' a Z'. Znaménka sil v tabulce se řídí směrem lokálních os podpory. Lokální osy liniové podpory lze zapnout z místní nabídky podpory nebo z navigátoru *Zobrazit*.



Obrázek 8.12 Zapnutí lokálních osových systémů liniových podpor v navigátoru *Zobrazit*

Zelené vektory v grafickém zobrazení naopak představují reakce ze strany podpor. Z velikosti a směru vektorů můžeme vysledovat jednotlivé složky reakcí.

Podporové momenty m_X / m_Y / m_Z

V těchto třech sloupcích se zobrazí podporové momenty seřazené podle jednotlivých podepřených linií. Momenty jsou také vztaženy buď ke globálnímu souřadnému systému XYZ nebo lokálnímu souřadnému systému X'Y'Z' liniové podpory. V případě, že se podporové momenty vztahují k lokálnímu souřadnému systému, označí se jako $m_{X'}$, $m_{Y'}$ a $m_{Z'}$.

V tabulce jsou uvedeny momenty, které podpora přenáší. Co se týče znamének, **nejedná** se stejně jako v případě podporových sil o reakce ze strany liniové podpory.

V grafickém zobrazení jsou naopak znázorněny momentové reakce ze strany podpor. Kromě vektorového znázornění lze zapnout obloukové zobrazení z hlavní nabídky **Nastavení** ⟶ **Nastavení zobrazení** ⟶ **Upravit...** (viz obr. 8.5).

Kontrolní součty

U zatěžovacích stavů a kombinací zatížení jsou zcela na konci tabulky zařazeny kontrolní součty zatížení a podporových reakcí, které jsou vždy vztaženy ke globálnímu osovému systému. Pokud model obsahuje také uzlové podpory a pruty nebo plochy s pružným uložením, můžeme počítat s určitými rozdíly mezi $\sum$ *sil* a $\sum$ *zatížení*. Při celkové bilanci je v takovém případě třeba uvážit i $\sum$ *sil* v příslušných výstupních tabulkách.

Průběhy výsledků

Průběhy výsledků jedné nebo i několika vybraných liniových podpor si lze prohlédnout v samostatném okně. Toto okno otevřeme tak, že pravým tlačítkem myši klikneme na zvolenou liniovou podporu a v místní nabídce pak aktivujeme funkci *Průběhy výsledků...* (viz výše vlevo vedle obr. 8.12).

Okno *Průběhy výsledků* popisujeme v kapitole 9.5.

V pracovním okně RFEMu jsou pak dále ke každé liniové podpoře k dispozici následující údaje:

$\sum$: součet jako výsledná síla

Φ : průměrná hodnota

x : vzdálenost těžiště linie od počátku linie

e : excentricita výslednice vzhledem ke středu linie

M : moment od výstřednosti výslednice

Tato data lze zapnout z navigátoru *Zobrazit* v položce **Výsledky ⟶ Reakce ⟶ Info**.

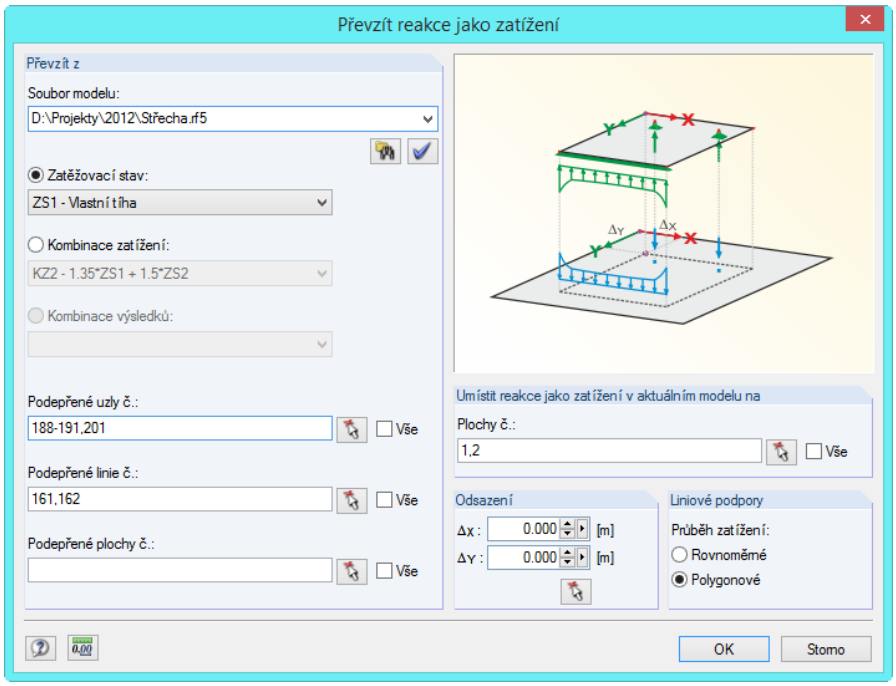
Převzít reakce jako zatížení

Složky Z uzlových i liniových podporových sil z jiného modelu v RFEMu lze použít jako zatížení v aktuální úloze. Můžeme tak například převzít zatížení na jednotlivých podlažích pro statické posouzení 2D stropních desek.

Podporové síly se importují do právě otevřeného zatěžovacího stavu. Někdy je proto vhodné založit pro převzatá zatížení nový zatěžovací stav.

Funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Převzít reakce jako zatížení...



Obrázek 8.13 Dialog *Převzít reakce jako zatížení*

V sekci *Převzít z* uvedeme nejdříve příslušný model. Model můžeme snáze vybrat pomocí vlevo znázorněného tlačítka. RFEM následně načte spočítané zatěžovací stavy a kombinace zatížení i kombinace výsledků. Některou položku pak zvolíme. Pokud se podporové síly přejímají z *kombinace výsledků*, je třeba rozhodnout, zda se mají použít maximální nebo minimální hodnoty.

Pokud si nepřejeme převzít *Všechny* reakce, můžeme uvést čísla příslušných uzlů, linií a ploch, na které podporové síly působí, nebo je případně vybereme pomocí funkce v grafickém okně ve výchozím modelu.

V sekci *Umístit reakce jako zatížení v aktuálním modelu na* uvedeme čísla ploch, na nichž se zatížení vytvoří, vybrat je můžeme také graficky pomocí funkce .

Pokud výchozí a cílové plochy leží přesně nad sebou, není třeba v sekci *Odsazení* zadávat žádný údaj. Jinak tu lze určit odsazení Δ_X a Δ_Y ve vztahu k osám globálního souřadného systému.

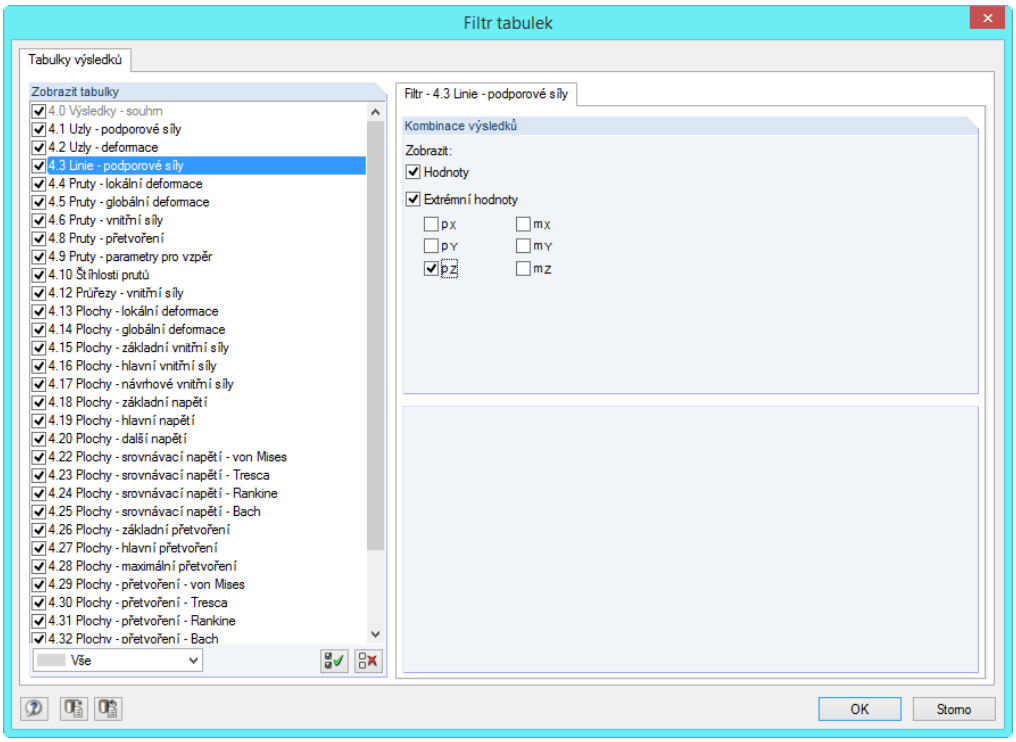
U liniových podpor ploch lze navíc stanovit, zda se podporové síly převezmou jako volná liniová zatížení s rovnoměrným nebo polygonovým průběhem.

Filtrování reakcí z kombinací výsledků

V případě kombinací výsledků lze upravovat automatické nastavení zobrazovaných extrémních hodnot příkazem v hlavní nabídce

Tabulka ⟶ Zobrazit ⟶ Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

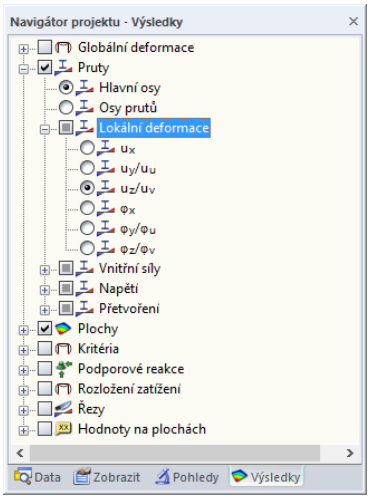


Obrázek 8.14 Dialog *Filtr tabulek*

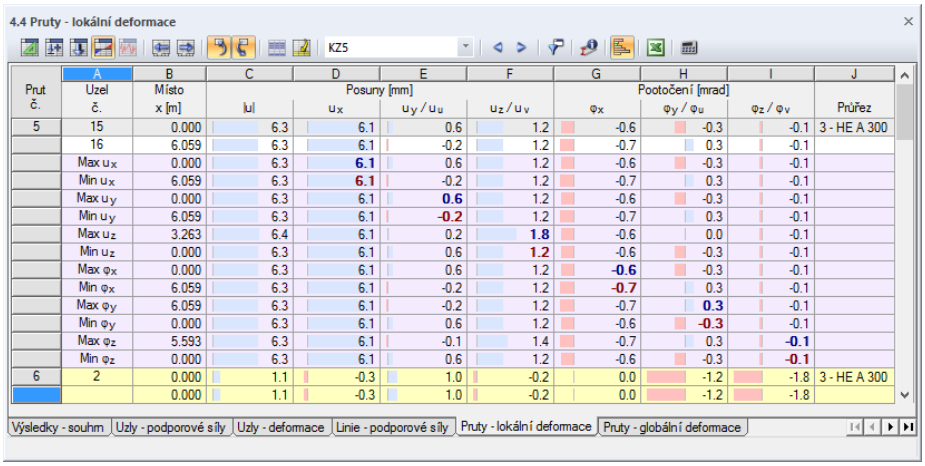
Druh a rozsah zobrazovaných výsledků lze nastavit zaškrtnutím příslušných

8.4 Pruty - lokální deformace

Posuny a natočení prutů lze graficky zobrazit z položky *Pruty* v navigátoru *Výsledky*. U nesymetrických průřezů lze výsledky vztáhnout buď k hlavním osám *u* a *v* daného průřezu (viz obrázek výše) nebo ke standardním osám pro zadání *y* a *z*. V tabulce 4.4 se zobrazí číselné hodnoty lokálních deformací prutů.



Obrázek 8.15 Navigátor *Výsledky*: Pruty → Lokální deformace



Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]	|u|	ux	uy / uu	uz / uv	φx	φy / φu	φz / φv	Průřez
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
			Posuny [mm]				Pootočení [mrad]			
5	15	0.000	6.3	6.1	0.6	1.2	-0.6	-0.3	-0.1	3 - HE A 300
	16	6.059	6.3	6.1	-0.2	1.2	-0.7	0.3	-0.1	
	Max ux	0.000	6.3	**6.1**	0.6	1.2	-0.6	-0.3	-0.1	
	Min ux	6.059	6.3	**6.1**	-0.2	1.2	-0.7	0.3	-0.1	
	Max uy	0.000	6.3	6.1	**0.6**	1.2	-0.6	-0.3	-0.1	
	Min uy	6.059	6.3	6.1	**-0.2**	1.2	-0.7	0.3	-0.1	
	Max uz	3.263	6.4	6.1	0.2	**1.8**	-0.6	0.0	-0.1	
	Min uz	0.000	6.3	6.1	0.6	**1.2**	-0.6	-0.3	-0.1	
	Max φx	0.000	6.3	6.1	0.6	1.2	**-0.6**	-0.3	-0.1	
	Min φx	6.059	6.3	6.1	-0.2	1.2	**-0.7**	0.3	-0.1	
	Max φy	6.059	6.3	6.1	-0.2	1.2	-0.7	**0.3**	-0.1	
	Min φy	0.000	6.3	6.1	0.6	1.2	-0.6	**-0.3**	-0.1	
	Max φz	5.593	6.3	6.1	-0.1	1.4	-0.7	0.3	**-0.1**	
	Min φz	0.000	6.3	6.1	0.6	1.2	-0.6	-0.3	**-0.1**	
6	2	0.000	1.1	-0.3	1.0	-0.2	0.0	-1.2	-1.8	3 - HE A 300
		0.000	1.1	-0.3	1.0	-0.2	0.0	-1.2	-1.8	

Výsledky - souhrn | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Linie - podporové síly | Pruty - lokální deformace | Pruty - globální deformace

Obrázek 8.16 Tabulka 4.4 *Pruty - lokální deformace*

Zatěžovací stav, jehož deformace chceme zobrazit, můžeme nastavit v seznamu v panelu nástrojů v horní části obrazovky nebo v panelu nástrojů v okně tabulek.

Uzel č.

V tomto sloupci se v prvních dvou řádcích zobrazí pro každý prut čísla počátečního a koncového uzlu. Na dalších řádcích následují údaje, o který typ extrémní hodnoty deformace se ve sloupcích D až I jedná.

Místo x

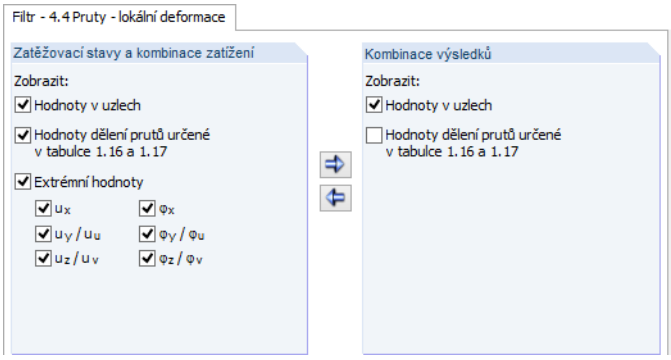
V tabulce se zobrazí deformace jednotlivých prutů pro:

- počáteční a koncový uzel
- vnitřní uzly podle zadaného dělení prutu (viz kapitola 4.16)
- extrémní hodnoty (*Max/Min*) posunů a pootočení

Toto přednastavení míst x je možné změnit z hlavní nabídky

Tabulka → Zobrazit → Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 8.17 Dialog *Filtr tabulek* (výřez)

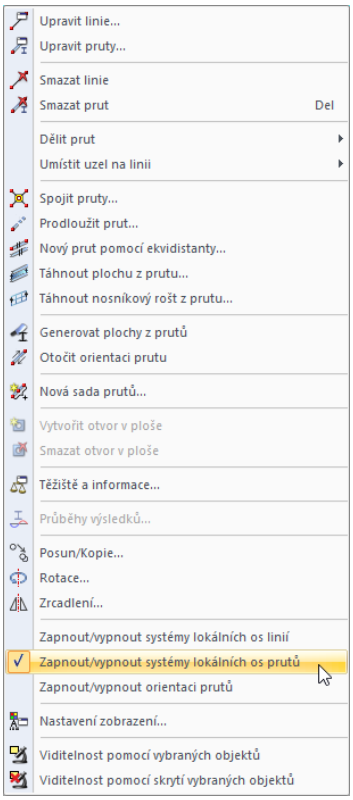
Druh a rozsah zobrazovaných výsledků lze nastavit zaškrtnutím příslušných

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých deformací prutu:

|u|	Absolutní celkový posun (nezobrazí se v případě kombinací výsledků)
u_x	Posun prutu ve směru jeho podélné osy
u_y/u_u	Posun prutu ve směru lokální osy y, resp. u
u_z/u_v	Posun prutu ve směru lokální osy z, resp. v
φ_x	Pootočení prutu okolo jeho podélné osy
φ_y/φ_u	Pootočení prutu okolo lokální osy y, resp. u
φ_z/φ_v	Pootočení prutu okolo lokální osy z, resp. v

Tabulka 8.2 Deformace prutu



Místní nabídka prutu

Polohu lokálních os lze zkontrolovat po zaškrtnutí volby *Osové systémy prutů x,y,z* v navigátoru *Zobrazit* v položce **Model** ⟶ **Pruty** (viz obr. 8.23). Alternativně je možné použít místní nabídku prutu zobrazenou vlevo.

Lokální osový systém prutu má vliv i na znaménka deformací. Kladný posun probíhá ve směru kladné lokální osy, kladné pootočení působí pravotočivě okolo kladné osy prutu.

Průřez

Pro informaci se v posledním sloupci zobrazí průřezy prutů nebo příslušné zatěžovací stavy (v případě kombinací výsledků).

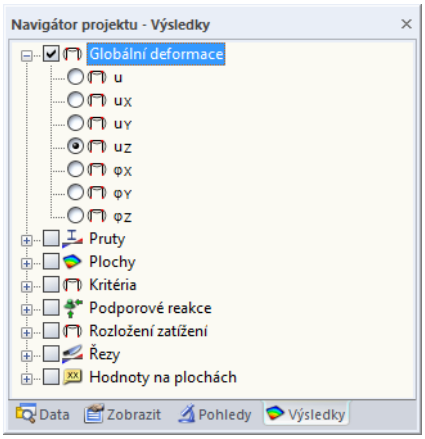
Deformace prutů lze zobrazit v grafickém okně dvou- či vícebarevně nebo je lze znázornit také v renderovacím režimu (viz kapitola 9.3).

Deformace prutu můžeme zobrazit v grafickém okně také jako animaci celkového průběhu deformace (viz kapitola 9.10).

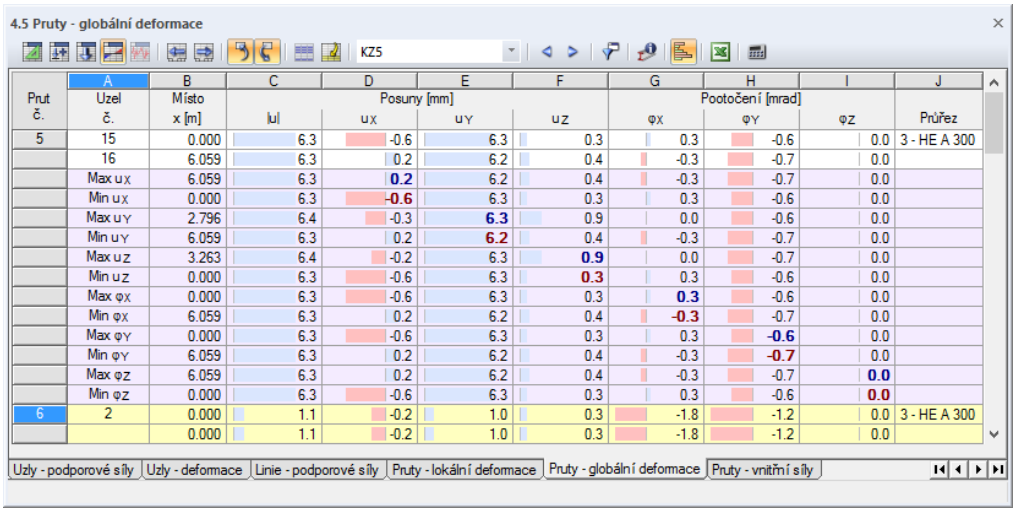
8.5

Pruty - globální deformace

Posuny a pootočení prutů vzhledem ke globálním osám X, Y a Z lze graficky zobrazit z položky *Globální deformace* v navigátoru *Výsledky*. V tabulce 4.5 se zobrazí číselné hodnoty globálních deformací prutů.



Obrázek 8.18 Navigátor *Výsledky*: Globální deformace



Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]	Posuny [mm] |u|	uX	uY	uZ	Pootočení [mrad] φX	φY	φZ	Průřez
5	15	0.000	6.3	-0.6	6.3	0.3	0.3	-0.6	0.0	3 - HE A 300
	16	6.059	6.3	0.2	6.2	0.4	-0.3	-0.7	0.0	
	Max uX	6.059	6.3	**0.2**	6.2	0.4	-0.3	-0.7	0.0	
	Min uX	0.000	6.3	**-0.6**	6.3	0.3	0.3	-0.6	0.0	
	Max uY	2.796	6.4	-0.3	**6.3**	0.9	0.0	-0.6	0.0	
	Min uY	6.059	6.3	0.2	**6.2**	0.4	-0.3	-0.7	0.0	
	Max uZ	3.263	6.4	-0.2	6.3	**0.9**	0.0	-0.7	0.0	
	Min uZ	0.000	6.3	-0.6	6.3	**0.3**	0.3	-0.6	0.0	
	Max φX	0.000	6.3	-0.6	6.3	0.3	**0.3**	-0.6	0.0	
	Min φX	6.059	6.3	0.2	6.2	0.4	**-0.3**	-0.7	0.0	
	Max φY	0.000	6.3	-0.6	6.3	0.3	0.3	**-0.6**	0.0	
	Min φY	6.059	6.3	0.2	6.2	0.4	-0.3	**-0.7**	0.0	
	Max φZ	6.059	6.3	0.2	6.2	0.4	-0.3	-0.7	**0.0**	
	Min φZ	0.000	6.3	-0.6	6.3	0.3	0.3	-0.6	**0.0**	
6	2	0.000	1.1	-0.2	1.0	0.3	-1.8	-1.2	0.0	3 - HE A 300
		0.000	1.1	-0.2	1.0	0.3	-1.8	-1.2	0.0	

Obrázek 8.19 Tabulka 4.5 *Pruty - globální deformace*

Sloupce *Uzel č.* a *Místo x* odpovídají prvním dvěma sloupcům v předchozí tabulce 4.4 *Pruty - lokální deformace*.

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých deformací prutu:

|u|	Absolutní celkový posun (nezobrazí se v případě kombinací výsledků)
uX	Posun prutu ve směru globální osy X
uY	Posun prutu ve směru globální osy Y
uZ	Posun prutu ve směru globální osy Z

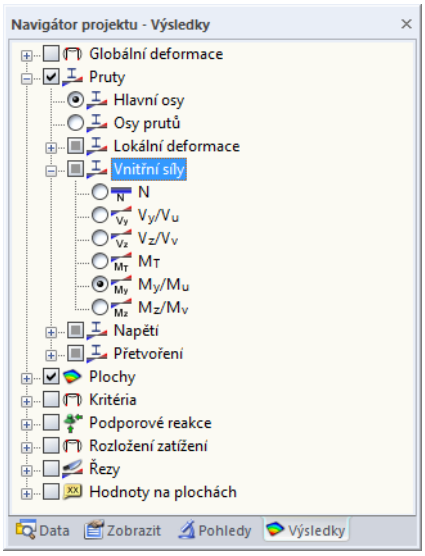
φ_X	Pootočení prutu okolo globální osy X
φ_Y	Pootočení prutu okolo globální osy Y
φ_Z	Pootočení prutu okolo globální osy Z

Tabulka 8.3 Globální deformace prutu

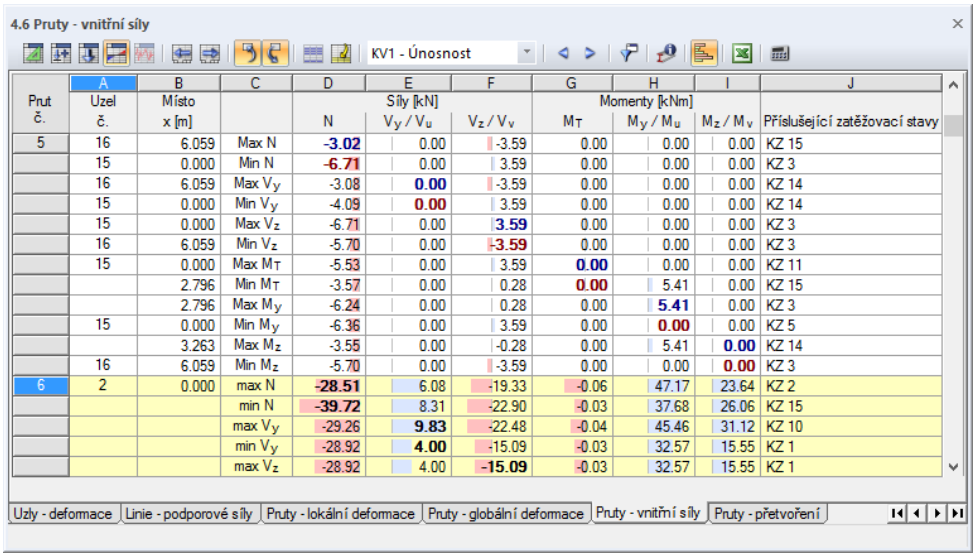
8.6 Pruty — vnitřní síly

Vnitřní síly prutů lze graficky zobrazit kliknutím na příslušnou podpoložku v položce *Pruty* v navigátoru *Výsledky*. V tabulce 4.6 jsou uvedeny číselné hodnoty vnitřních sil.

V případě 2D modelu se v tabulce zobrazí pouze sloupce s vnitřními silami pro rovinnou konstrukci.



Obrázek 8.20 Navigátor *Výsledky*: Pruty → Vnitřní síly



Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN] N	Vy / Vu	Vz / Vv	Momenty [kNm] MT	My / Mu	Mz / Mv	Příslušející zatěžovací stavy
5	16	6.059	Max N	-3.02	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 15
	15	0.000	Min N	-6.71	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 3
	16	6.059	Max Vy	-3.08	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 14
	15	0.000	Min Vy	-4.09	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 14
	15	0.000	Max Vz	-6.71	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 3
	16	6.059	Min Vz	-5.70	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 3
	15	0.000	Max MT	-5.53	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 11
		2.796	Min MT	-3.57	0.00	0.28	0.00	5.41	0.00	KZ 15
		2.796	Max My	-6.24	0.00	0.28	0.00	5.41	0.00	KZ 3
	15	0.000	Min My	-6.36	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 5
		3.263	Max Mz	-3.55	0.00	-0.28	0.00	5.41	0.00	KZ 14
	16	6.059	Min Mz	-5.70	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	KZ 3
6	2	0.000	max N	-28.51	6.08	-19.33	-0.06	47.17	23.64	KZ 2
			min N	-39.72	8.31	-22.90	-0.03	37.68	26.06	KZ 15
			max Vy	-29.26	9.83	-22.48	-0.04	45.46	31.12	KZ 10
			min Vy	-28.92	4.00	-15.09	-0.03	32.57	15.55	KZ 1
			max Vz	-28.92	4.00	-15.09	-0.03	32.57	15.55	KZ 1

Obrázek 8.21 Tabulka 4.6 *Pruty - vnitřní síly*

Zatěžovací stav, jehož vnitřní síly chceme zobrazit, můžeme nastavit v seznamu v panelu nástrojů v horní části obrazovky nebo v panelu nástrojů v okně tabulek.

Místo x

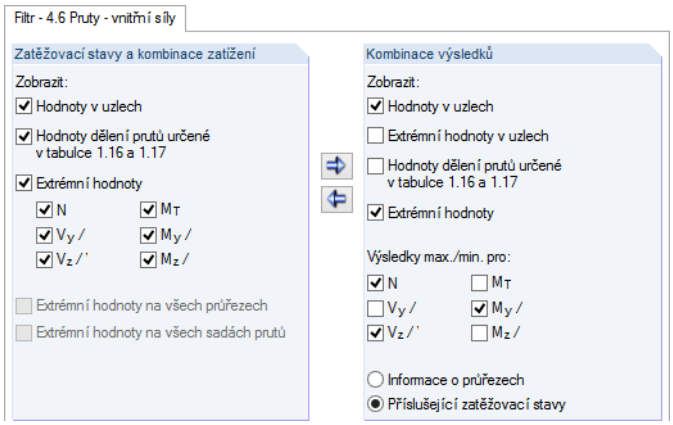
V tabulce se zobrazí vnitřní síly jednotlivých prutů pro:

- počáteční a koncový uzel
- místa x podle zadaného dělení prutu (viz kapitola 4.16)
- extrémní hodnoty (*Max/Min*) vnitřních sil

Nastavení míst x lze změnit z hlavní nabídky

Tabulka ⟶ Zobrazit ⟶ Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 8.22 Dialog *Filtr tabulek* (výřez)

Druh a rozsah zobrazovaných výsledků lze nastavit zaškrtnutím příslušných políček v dialogu *Filtr tabulek* (viz kapitola 11.5.5).

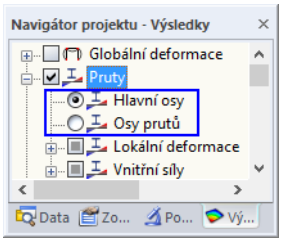
Grafické zobrazení průběhu vnitřních sil vychází z výsledných hodnot v uzlech sítě KP, resp. v dělicích bodech na prutu, které jsme zadali v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Globální parametry výpočtu* (viz kapitola 7.3.3).

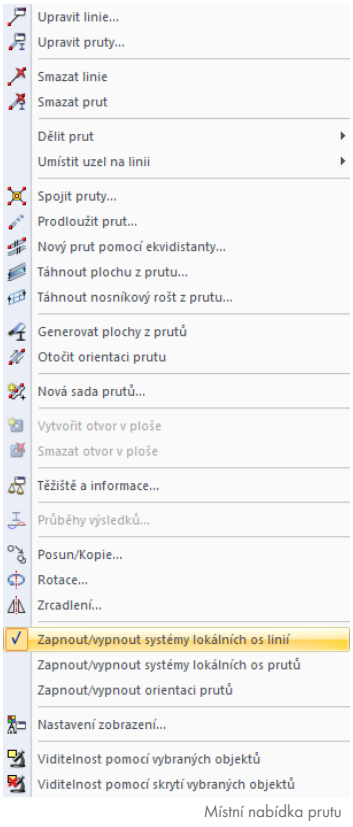
Síly / Momenty

V následující tabulce uvádíme přehled jednotlivých vnitřních sil na prutu:

N	Normálová síla
V_y/V_u	Posouvající síla ve směru lokální osy prutu y, resp. u
V_z/V_v	Posouvající síla ve směru lokální osy prutu z, resp. v
M_T	Krouticí moment
M_y/M_u	Ohybový moment okolo osy y, resp. u
M_z/M_v	Ohybový moment okolo osy z, v

Tabulka 8.4 Vnitřní síly na prutu



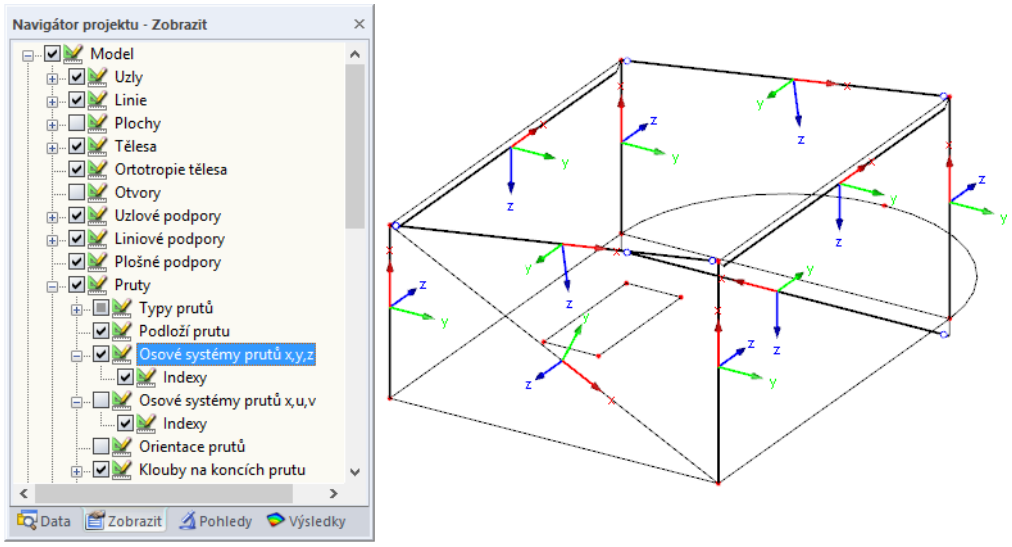


Místní nabídka prutu

Lokální osy prutu y a z, resp. u a v jsou hlavními osami průřezu. Osa z, resp. u přitom představuje takzvanou „silnou“ osu, zatímco osa y, resp. v „slabou“ osu (viz kapitola 4.17). U nesymetrických průřezů lze vnitřní síly vztáhnout buď k hlavním osám u a v daného průřezu (viz obrázek výše) nebo ke standardním osám pro zadání y a z. Požadovanou možnost zaškrtneme v navigátoru *Výsledky*. Výsledky se pak zobrazí podle našeho zadání jak v grafickém okně tak v tabulkách.

Vnitřní síly lze v případě nelineární analýzy vztáhnout i k přetvořeným osovým systémům prutu. Tuto volbu může uživatel nastavit v sekci *Možnosti* v dialogu *Parametry výpočtu* (viz kapitola 7.3.1).

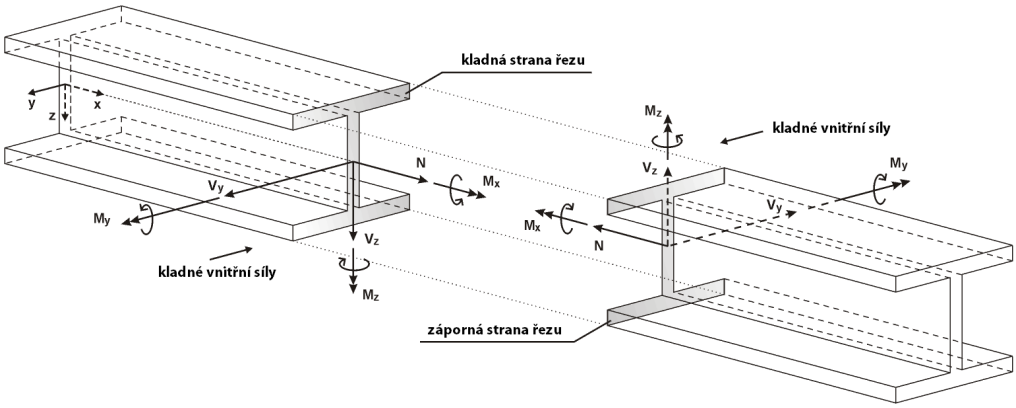
Polohu prutu lze zkontrolovat při 3D renderování nebo po zaškrtnutí volby *Osové systémy prutů x,y,z* v navigátoru *Zobrazit* v položce **Model → Pruty**.



Obrázek 8.23 *Zapnutí lokálních osových systémů prutu v navigátoru Zobrazit*

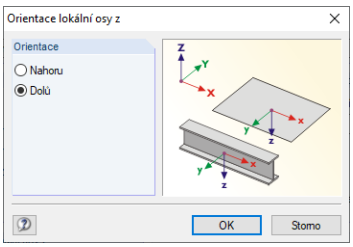
Použít lze i místní nabídku prutu.

Lokální osový systém prutu má vliv na znaménka vnitřních sil.



Obrázek 8.24 Kladné zadání vnitřních sil

Ohybový moment M_y je kladný, pokud na kladné straně prutu (ve směru osy z) vznikají **tahová** napětí. M_z je kladný, pokud na kladné straně prutu (tzn. ve směru osy y) vznikají **tlaková** napětí. Definice znamének krouticích momentů, normálových a posouvajících sil odpovídá obvyklým konvencím - tyto vnitřní síly jsou kladné, pokud působí v kladném směru na kladné straně řezu.



Tato úprava vnitřních platí pouze tehdy, když lokální osa z prutů je orientována *dolů* (možnost nastavení v základních údajích o modelu, viz popis u obr. 12.28). Je-li lokální osa z naopak určena směrem *Nahoru*, kladný moment M_y vyvolává tlaková napětí na kladné straně prutu a kladný moment M_z tahová napětí.

Extrémní hodnoty

Pokud jsme aktivovali zobrazení extrémních hodnot v tabulkách (viz obr. 8.22), pak se na konci seznamu hodnot u každého prutu uvádí největší kladná (*Max*) a nejmenší záporná (*Min*) hodnota jednotlivých vnitřních sil, které v prutu vznikají. Extrémní hodnoty jsou vyznačeny tučně. V ostatních sloupcích daného řádku s extrémní hodnotou jsou uvedeny odpovídající hodnoty ostatních vnitřních sil (viz také kapitola 11.5.5).

Průřez / Příslušející zatěžovací stavy

Pro informaci se v posledním sloupci zobrazí průřezy prutů.

Kombinace výsledků

Název posledního sloupce v tabulce se v případě kombinací výsledků změní na *Příslušející zatěžovací stavy* (viz obr. 8.21). V daném sloupci se uvádí čísla zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení uvažovaných při výpočtu maximální nebo minimální síly, která je uvedena v příslušném řádku. *Stálé* zatěžovací stavy se uvádí vždy, *proměnné* zatěžovací stavy pouze v případě, že nepříznivě ovlivňují výsledek (viz kapitola 5.6).

Dále se v tabulce objeví nový třetí sloupec C. Pro každý prut se v něm na konci seznamu hodnot uvádí největší kladné (**Max**) a nejmenší záporné (**Min**) vnitřní síly jednotlivých typů, které v prutu vznikají.

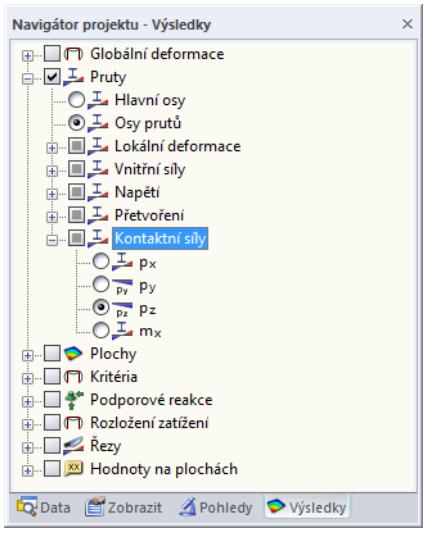
Pomocí zvláštního filtru pro kombinace výsledků lze v dialogu *Filtr tabulek* (viz obr. 8.22) omezit rozsah dat kombinací výsledků zobrazených ve výstupních tabulkách. Tento dialog otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Tabulka → Zobrazit → Filtr výsledků...

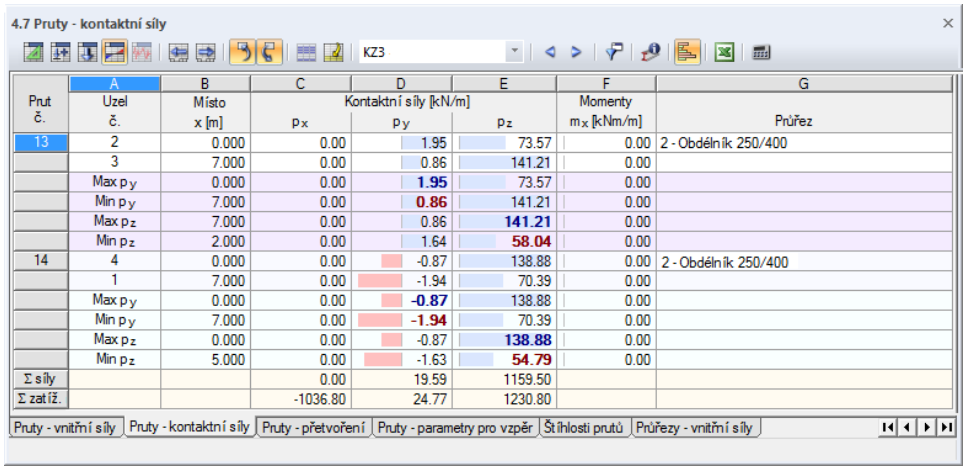
nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

8.7 Pruty — kontaktní síly

Pokud model obsahuje pruty s pružným uložením (viz kapitola 4.19), zobrazí se v tabulce výsledků 4.7 příslušné kontaktní síly a momenty. Jejich grafické zobrazení lze zapnout v navigátoru *Výsledky* z položky *Pruty*.



Obrázek 8.25 Navigátor *Výsledky*: Pruty ⟶ Kontaktní síly



Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]	Kontaktní síly [kN/m] px	py	pz	Momenty mx [kNm/m]	Průřez
13	2	0.000	0.00	1.95	73.57	0.00	2 - Obdélník 250/400
	3	7.000	0.00	0.86	141.21	0.00	
	Max py	0.000	0.00	**1.95**	73.57	0.00	
	Min py	7.000	0.00	**0.86**	141.21	0.00	
	Max pz	7.000	0.00	0.86	**141.21**	0.00	
	Min pz	2.000	0.00	1.64	**58.04**	0.00	
14	4	0.000	0.00	-0.87	138.88	0.00	2 - Obdélník 250/400
	1	7.000	0.00	-1.94	70.39	0.00	
	Max py	0.000	0.00	**-0.87**	138.88	0.00	
	Min py	7.000	0.00	**-1.94**	70.39	0.00	
	Max pz	0.000	0.00	-0.87	**138.88**	0.00	
	Min pz	5.000	0.00	-1.63	**54.79**	0.00	
Σ síly			0.00	19.59	1159.50		
Σ zatíž.			-1036.80	24.77	1230.80		

Pruty - vnitřní síly | Pruty - kontaktní síly | Pruty - přetvoření | Pruty - parametry pro vzpěr | Štíhlosti prutů | Průřezy - vnitřní síly

Obrázek 8.26 Tabulka 4.7 *Pruty - kontaktní síly*

Uzel č.

V tomto sloupci se v prvních dvou řádcích uvádí pro každý prut s pružným podložím čísla počátečního a koncového uzlu. Na dalších řádcích následují údaje, o který typ extrémní hodnoty kontaktní síly nebo momentu se jedná.

Přednastavené zobrazení extrémních hodnot lze změnit z hlavní nabídky

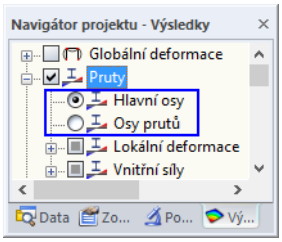
Tabulka ⟶ Zobrazit ⟶ Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

Místo x

V tabulce se zobrazí kontaktní síly jednotlivých prutů pro:

- počáteční a koncový uzel
- vnitřní uzly podle zadaného dělení prutu (viz kapitola 4.16)
- extrémní hodnoty (*Max*/*Min*) kontaktních sil a momentů.



Kontaktní síly p_x / p_y / p_z

Kontaktní síly ve směru lokálních os prutu x, y a z se vztahují k jednotkové délce. U nesymetrických průřezů lze kontaktní síly vztáhnout buď k hlavním osám *u* a *v* daného průřezu (viz obrázek průřezu), nebo ke standardním osám pro zadání y a z. Požadovanou možnost zaškrtneme v navigátoru *Výsledky*.

Polohu lokálních os lze zkontrolovat po zaškrtnutí volby Osové *systémy prutů x,y,z* v navigátoru *Zobrazit* v položce **Model** ⟶ **Pruty** (viz obr. 8.23). Znaménka se řídí běžnou konvencí, která je popsána v kapitole 8.6 u vnitřních sil prutu.

Chceme-li zjistit napětí v základové spáře, je třeba zde uvedené výsledky ještě vydělit příslušnou šířkou průřezu.

Momenty m_x

Kontaktní momenty působící okolo podélné osy prutu x se také vztahují k jednotkové délce. Na momenty m_x má vliv rotační tuhost C_φ.

Průřez / Příslušející zatěžovací stavy

Pro informaci se v posledním sloupci zobrazí průřezy prutů. V případě kombinací výsledků se zde uvádí zatěžovací stavy a kombinace zatížení, z jejichž výpočtu vyplývají maximální nebo minimální kontaktní síly v příslušném řádku.

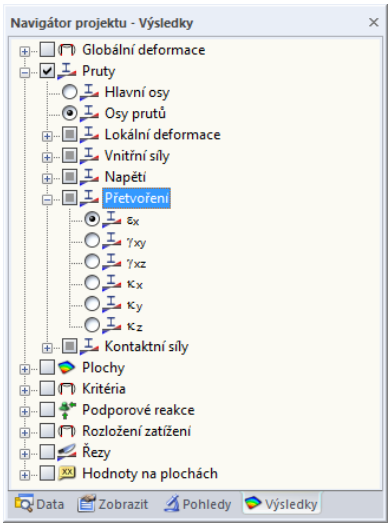
Kontrolní součty

U zatěžovacích stavů a kombinací zatížení jsou zcela na konci tabulky zařazeny kontrolní součty zatížení a podporových reakcí. Pokud model obsahuje také uzlové a liniové podpory a plochy s pružným uložením, můžeme počítat s určitými rozdíly mezi ∑ *sil* a ∑ *zatížení*. Při celkové bilanci je v takovém případě třeba uvážit i ∑ *sil* ve výstupních tabulkách 4.1, 4.3 a 4.21.

8.8 Pruty - přetvoření

Přetvoření prutu představují lokální deformace ve formě protažení či střihu. Plynou podle Hookova zákona z napětí v prutech.

Číselné hodnoty přetvoření prutů se uvádí v tabulce 4.8. Jejich grafické zobrazení nastavíme z položky *Pruty* v navigátoru *Výsledky*.



Obrázek 8.27 Navigátor *Výsledky*: Pruty ⟶ Přetvoření

4.8 Pruty - přetvoření

ZS1 - Vlastní tíha

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]	Přetvoření εx [-]	γxy [-]	γxz [-]	κx [mrad/m]	κy [mrad/m]	κz [mrad/m]	Průřez
1	1	0.000	-0.00006	0.00000	0.00000	-0.096	1.970	0.143	1 - IPE 300
		1.500	-0.00005	0.00000	0.00000	-0.096	0.675	0.057	
		3.000	-0.00004	0.00000	0.00000	-0.096	-0.620	-0.028	
		4.500	-0.00003	0.00000	0.00000	-0.096	-1.914	-0.114	
	3	6.000	-0.00001	0.00000	0.00000	-0.096	-3.209	-0.200	
2	2	0.000	-0.00006	0.00000	0.00000	-0.031	-2.289	-0.046	1 - IPE 300
		1.500	-0.00005	0.00000	0.00000	-0.031	-0.878	-0.050	
		3.000	-0.00004	0.00000	0.00000	-0.031	0.532	-0.055	
		4.500	-0.00003	0.00000	0.00000	-0.031	1.943	-0.059	
	9	6.000	-0.00001	0.00000	0.00000	-0.031	3.354	-0.064	
3	3	0.000	-0.00001	0.00000	0.00000	-1.780	-1.330	-0.042	3 - 2: IPE 400
		0.753	-0.00001	0.00000	0.00000	-1.780	-1.080	-0.014	
		1.506	-0.00001	0.00000	0.00000	-2.298	-1.159	0.018	
		2.258	-0.00001	0.00000	0.00000	-3.238	-1.244	0.072	
	4	3.011	-0.00001	0.00000	0.00000	-3.238	-0.857	0.119	

Výsledky - souhrn | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Pruty - lokální deformace | Pruty - globální deformace | Pruty - vnitřní síly

Obrázek 8.28 Tabulka 4.8 *Pruty - přetvoření*

Uzel č.

V tomto sloupci se pro každý prut uvádí čísla počátečního a koncového uzlu.

Místo x

Přetvoření se v tabulce zobrazí u každého prutu vždy v počátečním a koncovém uzlu a dále v zadaných dělicích bodech (viz kapitola 4.16).

Přetvoření

Tenzor přetvoření pro prostorový stav deformace popisujeme v kapitole 8.35 . V případě jednorozměrných prutových prvků má matice zjednodušený tvar:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & 0 & 0 \\ \varepsilon_{zx} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Rovnice 8.1

Smyk se stanoví pomocí následujících rovnic:

$$\gamma_{xy} = 2 \cdot \varepsilon_{xy}$$

Rovnice 8.2

$$\gamma_{xz} = 2 \cdot \varepsilon_{xz}$$

Rovnice 8.3

ε_x	Přetvoření ve směru osy x prutu $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$

γ_{xy}	$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$
γ_{xz}	$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}$
κ_x	Zakřivení okolo lokální osy prutu x
κ_y	Zakřivení okolo lokální osy y prutu
κ_z	Zakřivení okolo lokální osy z prutu

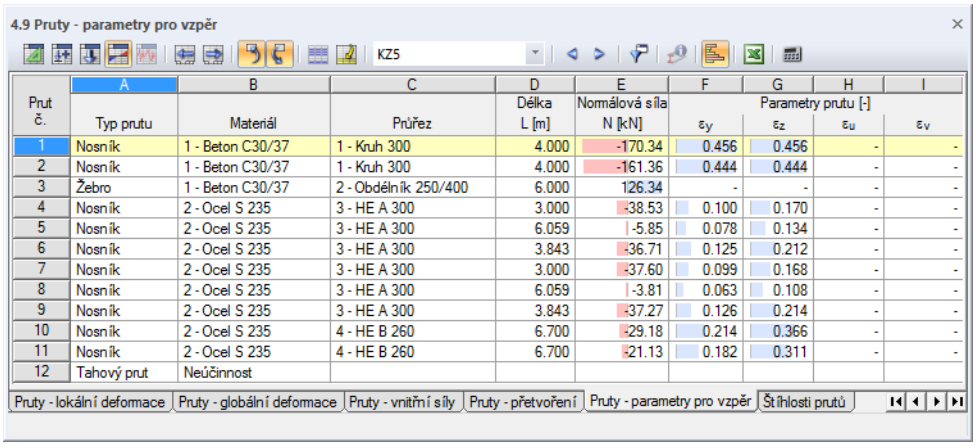
Tabulka 8.5 Přetvoření prutů

8.9 Pruty - parametry pro vzpěr

Při výpočtu tlakem namáhaných prutových konstrukcí podle teorie II. řádu hraje důležitou roli parametr ε (viz kapitola 7.3.1). Každý prut má vlastní charakteristickou hodnotu, která se určí na základě tlakové síly a délky a tuhosti prutu.

Pruty, jejichž parametr má hodnotu vyšší než 1, by se měly případně vyšetřit podle teorie II. řádu. Také podle norem některých států, např. USA, by měly být charakteristické hodnoty prutů omezeny.

Parametry prutů rozhodující pro vzpěr se uvádí v tabulce 4.9. V grafickém okně je zobrazit nelze.



Prut č.	A Typ prutu	B Materiál	C Průřez	D Délka L [m]	E Normálová síla N [kN]	F Parametry prutu [-] εy	G εz	H εu	I εv
1	Nosník	1 - Beton C30/37	1 - Kruh 300	4.000	-170.34	0.456	0.456	-	-
2	Nosník	1 - Beton C30/37	1 - Kruh 300	4.000	-161.36	0.444	0.444	-	-
3	Žebro	1 - Beton C30/37	2 - Obdélník 250/400	6.000	126.34	-	-	-	-
4	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	3.000	-38.53	0.100	0.170	-	-
5	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	6.059	-5.85	0.078	0.134	-	-
6	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	3.843	-36.71	0.125	0.212	-	-
7	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	3.000	-37.60	0.099	0.168	-	-
8	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	6.059	-3.81	0.063	0.108	-	-
9	Nosník	2 - Ocel S 235	3 - HE A 300	3.843	-37.27	0.126	0.214	-	-
10	Nosník	2 - Ocel S 235	4 - HE B 260	6.700	-29.18	0.214	0.366	-	-
11	Nosník	2 - Ocel S 235	4 - HE B 260	6.700	-21.13	0.182	0.311	-	-
12	Tahový prut	Neúčinnost							

Obrázek 8.29 Tabulka 4.9 *Pruty - parametry pro vzpěr*

Parametry jsou v tabulce seřazeny podle čísel prutů.

Typ prutu

Pro informaci se uvádí typy prutů (viz kapitola 4.17). Parametry pro vzpěr se stanoví pouze u prutů, které jsou schopny přenášet tlakové síly.

Materiál

Vlastnosti materiálu mají vliv na tuhost prutu.

Průřez

Při výpočtu tuhosti prutu se vychází z momentů setrvačnosti průřezu.

Délka L

V tabulce ve sloupci D se uvádí délky prutů.

Normálová síla N

V tomto sloupci vidíme normálové síly, z nichž se vychází při výpočtu charakteristických hodnot prutů. Jedná se přitom o normálové síly ve středu prutu (x = L/2).

Parametry pro vzpěr se zjišťují pouze u prutů, které alespoň v některé své dílčí oblasti (nosník) nebo po celé délce (tlačený prut, vzpěrný prut atd.) přenáší tlakové síly.

Parametry prutu ε_y / ε_z

Parametr prutu ε závisí na délce prutu L, na tlakové síle N a na tuhosti E · I.

$$\varepsilon = L \cdot \sqrt{\frac{|N|}{E \cdot I}}$$

Rovnice 8.4

V tabulce ve sloupcích F a G se uvádí parametry prutu ve vztahu k lokální ose prutu *y*, resp. *z*. V případě nesymetrických profilů, např. úhelníků, se v tabulce zobrazí další dva sloupce, v nichž jsou hodnoty parametrů prutu vztaženy také k hlavním osám *u* a *v*.

8.10 Štíhlosti prutů

V tabulce 4.10 se zobrazí štíhlostní poměry prutů. Jsou důležité pro posouzení vzpěrnostního chování tlakem namáhaných prutů. V grafickém okně je zobrazit nelze.

4.10 Štíhlosti prutů

KZ5

Prut č.	A Průřez	B Délka L [m]	C Součinitele vzpěrné délky [-] $k_{cr,y}$	D $k_{cr,z}$	E $k_{cr,u}$	F $k_{cr,v}$	G Štíhlost [-] λ_y	H λ_z	I λ_u	J λ_v
1	1 - Kruh 300	4.000	1.000	1.000	1.000	1.000	53.33	53.33	-	-
2	1 - Kruh 300	4.000	1.000	1.000	1.000	1.000	53.33	53.33	-	-
3	2 - Obdélník 250/4	6.000	1.000	1.000	1.000	1.000	51.96	83.14	-	-
4	3 - HE A 300	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	23.60	40.15	-	-
5	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000	1.000	1.000	47.66	81.08	-	-
6	3 - HE A 300	3.843	1.000	1.000	1.000	1.000	30.23	51.43	-	-
7	3 - HE A 300	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	23.60	40.15	-	-
8	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000	1.000	1.000	47.66	81.08	-	-
9	3 - HE A 300	3.843	1.000	1.000	1.000	1.000	30.23	51.43	-	-
10	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000	1.000	1.000	59.58	101.61	-	-
11	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000	1.000	1.000	59.58	101.61	-	-
12	5 - L 80x8	6.708	1.000	1.000	1.000	1.000	276.69	276.69	219.39	432.43

Pruty - globální deformace | Pruty - vnitřní síly | Pruty - přetvoření | Pruty - parametry pro vzpěr | Štíhlosti prutů | Průřezy - vnitřní síly

Obrázek 8.30 Tabulka 4.10 *Štíhlosti prutů*

Štíhlosti jsou v tabulce seřazeny podle čísel prutů.

Průřez

Při výpočtu štíhlostí prutů se uvažují poloměry setrvačnosti průřezů.

Délka L

V tabulce ve sloupci B se uvádí délky prutů.

Součinitele vzpěrné délky $k_{cr,y}$ / $k_{cr,z}$

Součinitele vzpěrné délky vyjadřují poměr mezi vzpěrnou délkou a délkou prutu.

Součinitel vzpěrné délky:

$$k_{cr} = \frac{L_{cr}}{L}$$

Rovnice 8.5

Vzpěrná délka s_K se vztahuje ke vzpěru kolmo k ‚silné' ose prutu y, resp. k ‚slabé' ose prutu z. Pokud jsme nedefinovali ručně žádné vzpěrné délky (viz kapitola 4.17), bude se předpokládat druhý Eulerův případ vzpěru, tzn. vzpěrná délka se rovná délce prutu. Přesnější analýzu můžeme provést v přídavném modulu RF-STABILITY nebo v návrhových modulech jako např. RF-STEEL EC3.

Štíhlost λ_y / λ_z

Štíhlostní poměr λ je čistě geometrická veličina. Stanoví se na základě součinitele vzpěrné délky $k_{cr,}$, délky prutu L a poloměru setrvačnosti i.

$$\lambda = \frac{k_{cr} L}{i}$$

Rovnice 8.6

V tabulce ve sloupcích E a F se uvádí štíhlostní poměry ve vztahu k lokální ose prutu y, resp. z. V případě nesymetrických profilů, např. úhelníků, se v tabulce zobrazí další dva sloupce, v nichž jsou štíhlostní poměry vztaženy také k hlavním osám u a v.

8.11 Sady prutů — vnitřní síly

Ve výstupní tabulce 4.11 jsou uvedené vnitřní síly pro jednotlivé sady prutů (viz kapitola 4.21).

4.11 Sady prutů - vnitřní síly

KV1

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN] N	V_y	V_z	Momenty [kNm] M_T	M_y	M_z	Příslušející zatěžovací stavy
	Sada prutů č. 1: Sled prutů 1									
52	61	3.000	max V_y	-3.45	**1.80**	-0.03	-0.01	-0.08	0.26	KZ 6
			min V_y	-3.46	**-3.31**	-0.04	-0.01	-0.08	0.31	KZ 7
			max V_z	-10.21	-0.02	**0.40**	-0.04	-0.22	0.17	KZ 2
			min V_z	-3.44	-0.07	**-0.18**	-0.03	0.04	0.20	KZ 3
			max M_T	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00	
			min M_T	-9.55	-0.03	0.11	**-0.05**	-0.09	0.17	KZ 1
			max M_y	-3.44	-0.07	-0.18	-0.03	**0.04**	0.20	KZ 3
			min M_y	-9.60	1.55	-0.06	-0.03	**-0.24**	0.27	KZ 8
			max M_z	-3.46	-3.31	-0.04	-0.01	-0.08	**0.31**	KZ 7
			min M_z	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	
52	61	3.000	MAX N	**0.22**	-0.08	0.11	0.00	0.02	0.17	KZ 5
51	51	0.000	MIN N	**-180.09**	-2.97	0.19	0.00	-0.44	-3.94	KZ 8
51	51	0.000	MAX V_y	-120.92	**5.49**	0.06	0.00	-0.09	7.27	KZ 7
51	51	0.000	MIN V_y	-121.22	**-3.57**	0.07	0.00	-0.15	-4.85	KZ 6
51	51	0.000	MAX V_z	-179.89	0.00	**9.08**	-0.01	-30.32	0.40	KZ 1
52	61	3.000	MIN V_z	-3.44	-0.07	**-0.18**	-0.03	0.04	0.20	KZ 3
51	51	0.000	MAX M_T	-120.92	5.49	0.06	**0.00**	-0.09	7.27	KZ 7
52	56	0.000	MIN M_T	-44.07	-0.03	4.16	**-0.05**	-7.18	0.11	KZ 1
51	56	3.000	MAX M_y	-145.27	-0.29	0.17	0.00	**0.21**	-0.95	KZ 9
51	51	0.000	MIN M_y	-179.89	0.00	9.08	-0.01	**-30.32**	0.40	KZ 1
51	51	0.000	MAX M_z	-120.92	5.49	0.06	0.00	-0.09	**7.27**	KZ 7
51	51	0.000	MIN M_z	-121.22	-3.57	0.07	0.00	-0.15	**-4.85**	KZ 6
	Sada prutů č. 2: Sled prutů 2									
13	13	0.000	max N	**0.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
			min N	**-124.75**	-0.26	91.85	-0.04	-404.69	-0.64	KZ 8

Výsledky - souhm | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Pruty - lokální deformace | Pruty - globální deformace | Pruty - vnitřní síly

Obrázek 8.31 Tabulka 4.11 *Sady prutů - vnitřní síly*

Tato tabulka téměř odpovídá tabulce 4.6 *Pruty — vnitřní síly*, která je popsána v kapitole 8.6. Výsledky jsou tu však seřazeny podle sledů nebo skupin prutů, které jsou vždy uvedeny na prvním řádku. Tím je zajištěna přehlednost dat při prohlížení tabulky.

Tabulka předkládá výsledky pro jednotlivé pruty, které jsou součástí dané sady prutů. Seznam hodnot každé sady prutů je zakončen řádky zvýrazněnými odlišnou barvou, který obsahuje celkové extrémní hodnoty **MAX** a **MIN** jednotlivých typů vnitřních sil v příslušné sadě prutů. Extrémní hodnoty jsou vyznačeny tučně. V ostatních sloupcích daného řádku jsou uvedeny odpovídající hodnoty ostatních vnitřních sil.

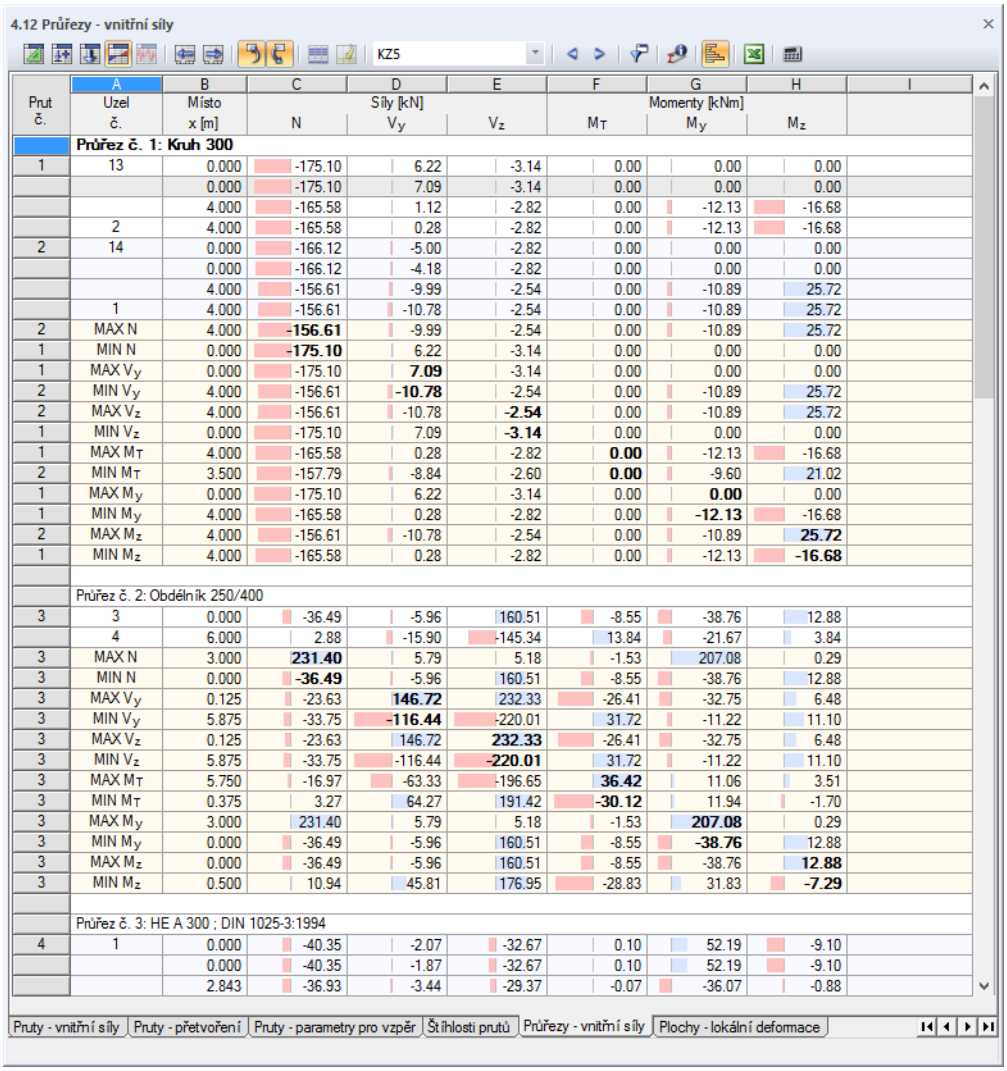
Objem dat v tabulce můžeme omezit nastavením filtrů v dialogu *Filtr tabulek* (viz kapitola 11.5.5). Tento dialog otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Tabulka → Zobrazit → Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.

8.12 Průřezy — vnitřní síly

V tabulce 4.12 jsou uvedeny vnitřní síly pro jednotlivé průřezy.



4.12 Průřezy - vnitřní síly

KZ5

Prut č.	A Uzel č.	B Místo x [m]	C Síly [kN] N	D Síly [kN] V_y	E Síly [kN] V_z	F Momenty [kNm] M_T	G Momenty [kNm] M_y	H Momenty [kNm] M_z	I
	Průřez č. 1: Kruh 300								
1	13	0.000	-175.10	6.22	-3.14	0.00	0.00	0.00	
		0.000	-175.10	7.09	-3.14	0.00	0.00	0.00	
		4.000	-165.58	1.12	-2.82	0.00	-12.13	-16.68	
	2	4.000	-165.58	0.28	-2.82	0.00	-12.13	-16.68	
2	14	0.000	-166.12	-5.00	-2.82	0.00	0.00	0.00	
		0.000	-166.12	-4.18	-2.82	0.00	0.00	0.00	
		4.000	-156.61	-9.99	-2.54	0.00	-10.89	25.72	
	1	4.000	-156.61	-10.78	-2.54	0.00	-10.89	25.72	
2	MAX N	4.000	**-156.61**	-9.99	-2.54	0.00	-10.89	25.72	
1	MIN N	0.000	**-175.10**	6.22	-3.14	0.00	0.00	0.00	
1	MAX V_y	0.000	-175.10	**7.09**	-3.14	0.00	0.00	0.00	
2	MIN V_y	4.000	-156.61	**-10.78**	-2.54	0.00	-10.89	25.72	
2	MAX V_z	4.000	-156.61	-10.78	**-2.54**	0.00	-10.89	25.72	
1	MIN V_z	0.000	-175.10	7.09	**-3.14**	0.00	0.00	0.00	
1	MAX M_T	4.000	-165.58	0.28	-2.82	**0.00**	-12.13	-16.68	
2	MIN M_T	3.500	-157.79	-8.84	-2.60	**0.00**	-9.60	21.02	
1	MAX M_y	0.000	-175.10	6.22	-3.14	0.00	**0.00**	0.00	
1	MIN M_y	4.000	-165.58	0.28	-2.82	0.00	**-12.13**	-16.68	
2	MAX M_z	4.000	-156.61	-10.78	-2.54	0.00	-10.89	**25.72**	
1	MIN M_z	4.000	-165.58	0.28	-2.82	0.00	-12.13	**-16.68**	
	Průřez č. 2: Obdélník 250/400								
3	3	0.000	-36.49	-5.96	160.51	-8.55	-38.76	12.88	
	4	6.000	2.88	-15.90	-145.34	13.84	-21.67	3.84	
3	MAX N	3.000	**231.40**	5.79	5.18	-1.53	207.08	0.29	
3	MIN N	0.000	**-36.49**	-5.96	160.51	-8.55	-38.76	12.88	
3	MAX V_y	0.125	-23.63	**146.72**	232.33	-26.41	-32.75	6.48	
3	MIN V_y	5.875	-33.75	**-116.44**	-220.01	31.72	-11.22	11.10	
3	MAX V_z	0.125	-23.63	146.72	**232.33**	-26.41	-32.75	6.48	
3	MIN V_z	5.875	-33.75	-116.44	**-220.01**	31.72	-11.22	11.10	
3	MAX M_T	5.750	-16.97	-63.33	-196.65	**36.42**	11.06	3.51	
3	MIN M_T	0.375	3.27	64.27	191.42	**-30.12**	11.94	-1.70	
3	MAX M_y	3.000	231.40	5.79	5.18	-1.53	**207.08**	0.29	
3	MIN M_y	0.000	-36.49	-5.96	160.51	-8.55	**-38.76**	12.88	
3	MAX M_z	0.000	-36.49	-5.96	160.51	-8.55	-38.76	**12.88**	
3	MIN M_z	0.500	10.94	45.81	176.95	-28.83	31.83	**-7.29**	
	Průřez č. 3: HE A 300 ; DIN 1025-3:1994								
4	1	0.000	-40.35	-2.07	-32.67	0.10	52.19	-9.10	
		0.000	-40.35	-1.87	-32.67	0.10	52.19	-9.10	
		2.843	-36.93	-3.44	-29.37	-0.07	-36.07	-0.88	

Pruty - vnitřní síly | Pruty - přetvoření | Pruty - parametry pro vzpěr | Štíhlosti prutů | Průřezy - vnitřní síly | Plochy - lokální deformace

Obrázek 8.32 Tabulka 4.12 *Průřezy - vnitřní síly*

Tato tabulka téměř odpovídá tabulce 4.6 *Pruty — vnitřní síly*, která je popsána v kapitole 8.6. Výsledky tu jsou však seřazeny podle jednotlivých průřezů, které jsou vždy uvedeny na prvním řádku. Tím je zajištěna přehlednost dat při prohlížení tabulky.

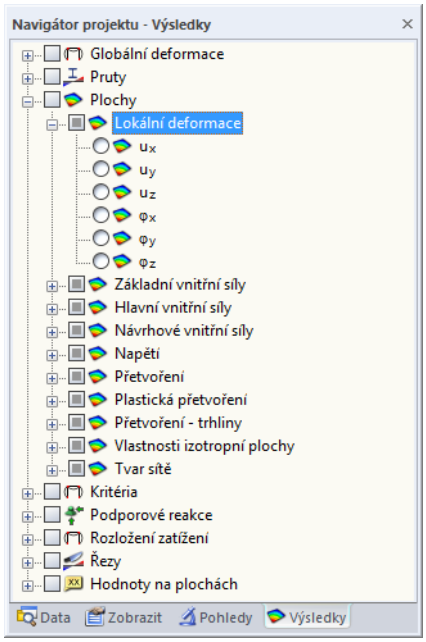
Pro každý průřez se uvádí výsledky všech prutů s daným průřezem. Seznam hodnot pro každý průřez je zakončen blokem zvýrazněným odlišnou barvou, který obsahuje celkové extrémní hodnoty **MAX** a **MIN** jednotlivých typů vnitřních sil pro daný průřez. Extrémní hodnoty jsou vyznačeny tučně. V ostatních sloupcích daného řádku jsou uvedeny odpovídající hodnoty dalších vnitřních sil.

Objem dat v tabulce můžeme omezit nastavením filtrů v dialogu *Filtr tabulek* (viz kapitola 11.5.5).

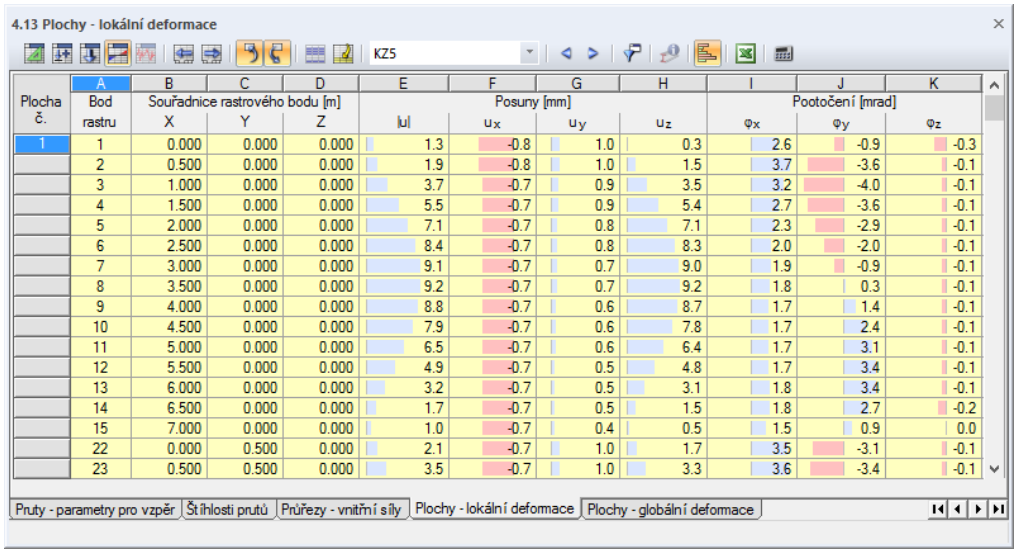
8.13 Plochy - lokální deformace

Grafické zobrazení lokálních deformací ploch se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce *Plochy*. Číselné výsledky lokálních deformací ploch lze prohlížet v tabulce 4.13.

Pokud jsme v základních údajích vybrali 2D konstrukci, zobrazí se pouze některé sloupce s deformacemi.



Obrázek 8.33 Navigátor *Výsledky*: Plochy → Lokální deformace



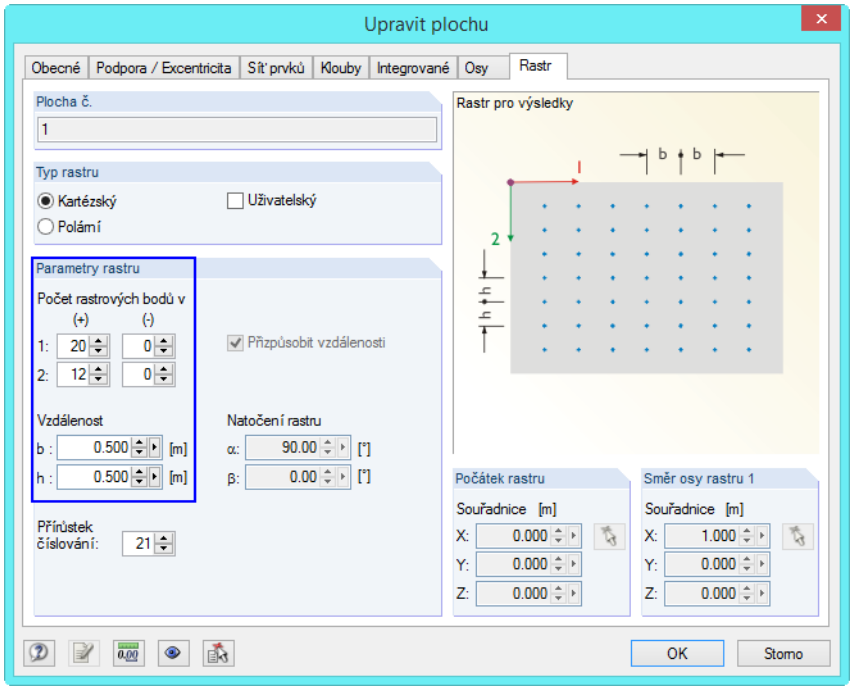
Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Posuny [mm] |u|	u_x	u_y	u_z	Pootočení [mrad] φ_x	φ_y	φ_z
1	1	0.000	0.000	0.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3
	2	0.500	0.000	0.000	1.9	-0.8	1.0	1.5	3.7	-3.6	-0.1
	3	1.000	0.000	0.000	3.7	-0.7	0.9	3.5	3.2	-4.0	-0.1
	4	1.500	0.000	0.000	5.5	-0.7	0.9	5.4	2.7	-3.6	-0.1
	5	2.000	0.000	0.000	7.1	-0.7	0.8	7.1	2.3	-2.9	-0.1
	6	2.500	0.000	0.000	8.4	-0.7	0.8	8.3	2.0	-2.0	-0.1
	7	3.000	0.000	0.000	9.1	-0.7	0.7	9.0	1.9	-0.9	-0.1
	8	3.500	0.000	0.000	9.2	-0.7	0.7	9.2	1.8	0.3	-0.1
	9	4.000	0.000	0.000	8.8	-0.7	0.6	8.7	1.7	1.4	-0.1
	10	4.500	0.000	0.000	7.9	-0.7	0.6	7.8	1.7	2.4	-0.1
	11	5.000	0.000	0.000	6.5	-0.7	0.6	6.4	1.7	3.1	-0.1
	12	5.500	0.000	0.000	4.9	-0.7	0.5	4.8	1.7	3.4	-0.1
	13	6.000	0.000	0.000	3.2	-0.7	0.5	3.1	1.8	3.4	-0.1
	14	6.500	0.000	0.000	1.7	-0.7	0.5	1.5	1.8	2.7	-0.2
	15	7.000	0.000	0.000	1.0	-0.7	0.4	0.5	1.5	0.9	0.0
	22	0.000	0.500	0.000	2.1	-0.7	1.0	1.7	3.5	-3.1	-0.1
	23	0.500	0.500	0.000	3.5	-0.7	1.0	3.3	3.6	-3.4	-0.1

Obrázek 8.34 Tabulka 4.13 *Plochy - lokální deformace*

Hodnoty posunů a pootočení se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Rastrové body jsou vlastností dané plochy. Jejich počet a uspořádání lze upravit v dialogu *Upravit plochu* v záložce *Rastr*.



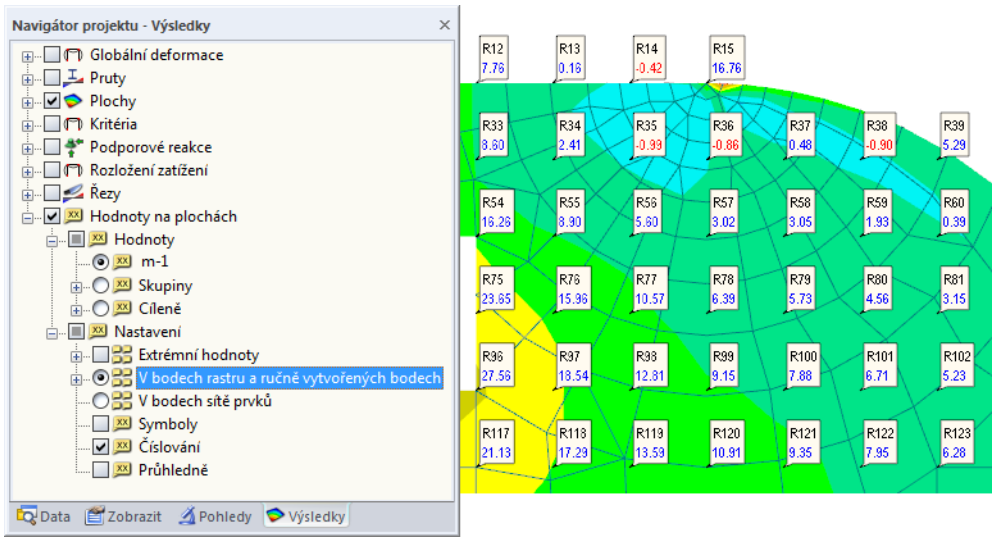
Obrázek 8.35 Dialog *Upravit plochu*, záložka *Rastr*

V této záložce lze určit *typ rastru*, *parametry rastru* nebo případně také *počátek rastru* a *směr osy rastru 1*. Standardně je přednastaven kartézský typ rastru s pravidelnou *vzdáleností* mezi rastrovými body 0,5 m v obou směrech.

Nezávisle na síti konečných prvků tak lze zobrazit výsledné hodnoty v pravidelně uspořádaných rastrových bodech, které může uživatel podle potřeby upravovat. U menších ploch může standardní vzdálenost bodů 0,5 m ve výsledném rastru vést k tomu, že na ploše se bude nacházet jen několik málo rastrových bodů nebo dokonce jen jediný, počáteční bod rastru. *Počet* a *vzdálenost* rastrových bodů by pak měly být uzpůsobeny rozměrům plochy, aby se vytvořilo více rastrových bodů.

Po úpravě rastru plochy není třeba spustit nový výpočet, protože hodnoty v rastrových bodech se stanoví na základě interpolace výsledných hodnot na uzlech sítě KP.

Výsledky zobrazené v tabulkách platí pro rastrové body plochy. V grafickém okně lze zobrazit jak hodnoty v bodech rastru tak hodnoty na uzlech sítě KP. Požadovanou možnost zaškrtneme v navigátoru *Výsledky*.



Obrázek 8.36 Navigátor *Výsledky*: Hodnoty na plochách → Nastavení → V bodech **rastru** nebo V bodech **sítě prvků**

Body rastru čísluje program automaticky. Čísla rastrových bodů lze v grafickém okně zobrazit tak, že v navigátoru *Výsledky* aktivujeme volbu *Číslování* (viz obr. 8.36).

Souřadnice rastrového bodu

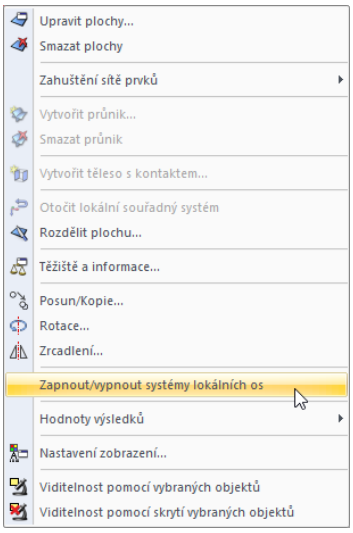
Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ. Pokud v tabulce klikneme do řádku určitého rastrového bodu, vyznačí se tento bod v grafickém okně šipkou.

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých deformací:

$\|u\|$	Absolutní celkový posun (nezobrazí se v případě kombinací výsledků)
u_x	Posun plochy ve směru lokální osy x
u_y	Posun plochy ve směru lokální osy y
u_z	Posun plochy ve směru lokální osy z
φ_x	Pootočení plochy okolo lokální osy x
φ_y	Pootočení plochy okolo lokální osy y
φ_z	Pootočení plochy okolo lokální osy z

Tabulka 8.6 Lokální deformace ploch



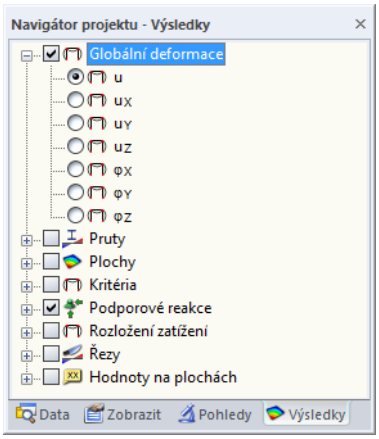
Místní nabídka plochy

Lokální osy plochy můžeme zapnout tak, že v navigátoru *Zobrazit* zaškrtneme položku **Model ⟶ Plochy ⟶ Osové systémy plochy xyz**, tuto funkci můžeme případně aktivovat i z místní nabídky plochy.

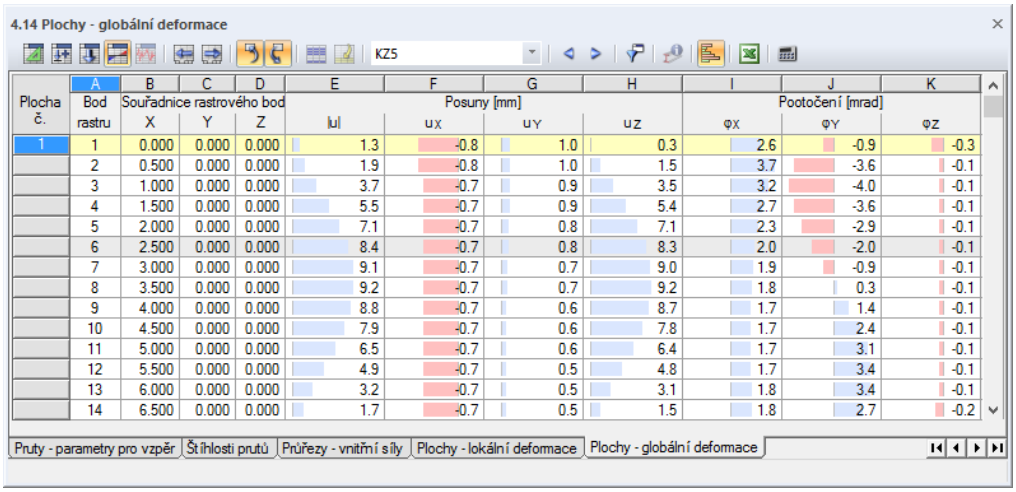
V případě zakřivených ploch se osy plochy vztahují k osám konečných prvků (viz obr. 8.41).

8.14 Plochy - globální deformace

Posuny a *pootočení* ploch vzhledem ke globálním osám X, Y a Z lze graficky zobrazit z položky *Globální deformace* v navigátoru *Výsledky*. Číselné výsledky globálních deformací ploch lze prohlížet v tabulce 4.14.



Obrázek 8.37 Navigátor *Výsledky*: Globální deformace



Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu X	Y	Z	Posuny [mm] |u|	uX	uY	uZ	Pootočení [mrad] φX	φY	φZ
1	1	0.000	0.000	0.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3
	2	0.500	0.000	0.000	1.9	-0.8	1.0	1.5	3.7	-3.6	-0.1
	3	1.000	0.000	0.000	3.7	-0.7	0.9	3.5	3.2	-4.0	-0.1
	4	1.500	0.000	0.000	5.5	-0.7	0.9	5.4	2.7	-3.6	-0.1
	5	2.000	0.000	0.000	7.1	-0.7	0.8	7.1	2.3	-2.9	-0.1
	6	2.500	0.000	0.000	8.4	-0.7	0.8	8.3	2.0	-2.0	-0.1
	7	3.000	0.000	0.000	9.1	-0.7	0.7	9.0	1.9	-0.9	-0.1
	8	3.500	0.000	0.000	9.2	-0.7	0.7	9.2	1.8	0.3	-0.1
	9	4.000	0.000	0.000	8.8	-0.7	0.6	8.7	1.7	1.4	-0.1
	10	4.500	0.000	0.000	7.9	-0.7	0.6	7.8	1.7	2.4	-0.1
	11	5.000	0.000	0.000	6.5	-0.7	0.6	6.4	1.7	3.1	-0.1
	12	5.500	0.000	0.000	4.9	-0.7	0.5	4.8	1.7	3.4	-0.1
	13	6.000	0.000	0.000	3.2	-0.7	0.5	3.1	1.8	3.4	-0.1
	14	6.500	0.000	0.000	1.7	-0.7	0.5	1.5	1.8	2.7	-0.2

Obrázek 8.38 Tabulka 4.14 *Plochy - globální deformace*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.13 *Plochy - lokální deformace*.

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých globálních deformací plochy:

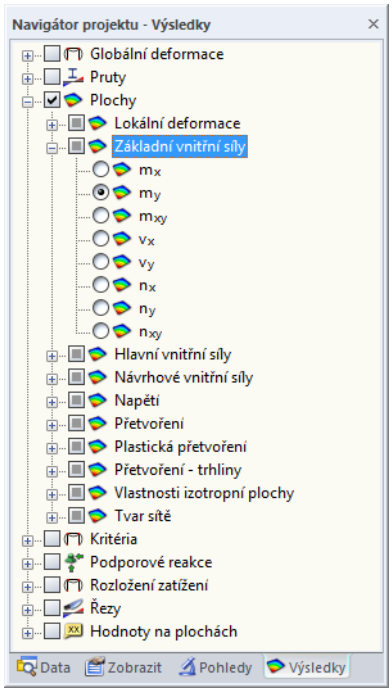
$\|u\|$	Absolutní celkový posun (nezobrazí se v případě kombinací výsledků)
u_X	Posun plochy ve směru globální osy X
u_Y	Posun plochy ve směru globální osy Y
u_Z	Posun plochy ve směru globální osy Z
φ_X	Pootočení plochy okolo globální osy X
φ_Y	Pootočení plochy okolo globální osy Y

φ_Z	Pootočení plochy okolo globální osy Z

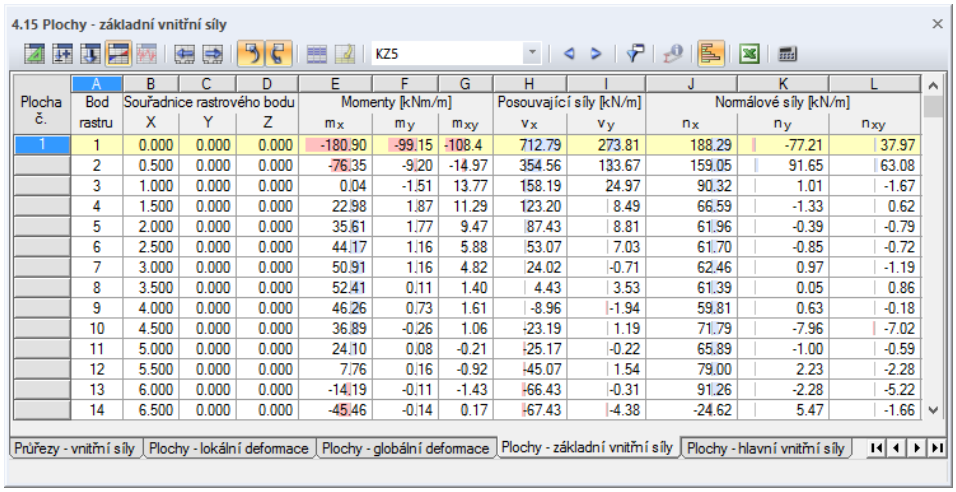
Tabulka 8.7 Globální deformace ploch

8.15 Plochy - základní vnitřní síly

Grafické zobrazení základních vnitřních sil se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** → **Základní vnitřní síly**. Číselné výsledky základních vnitřních sil ploch lze prohlížet v tabulce 4.15.



Obrázek 8.39 Navigátor *Výsledky*: Plochy → Základní vnitřní síly



Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu X	Y	Z	Momenty [kNm/m] mx	my	mxy	Posouvající síly [kN/m] vx	vy	Normálové síly [kN/m] nx	ny	nxy
1	1	0.000	0.000	0.000	-180.90	-99.15	-108.4	712.79	273.81	188.29	-77.21	37.97
	2	0.500	0.000	0.000	-76.35	-9.20	-14.97	354.56	133.67	159.05	91.65	63.08
	3	1.000	0.000	0.000	0.04	-1.51	13.77	158.19	24.97	90.32	1.01	-1.67
	4	1.500	0.000	0.000	22.98	1.87	11.29	123.20	8.49	66.59	-1.33	0.62
	5	2.000	0.000	0.000	35.61	1.77	9.47	87.43	8.81	61.96	-0.39	-0.79
	6	2.500	0.000	0.000	44.17	1.16	5.88	53.07	7.03	61.70	-0.85	-0.72
	7	3.000	0.000	0.000	50.91	1.16	4.82	24.02	-0.71	62.46	0.97	-1.19
	8	3.500	0.000	0.000	52.41	0.11	1.40	4.43	3.53	61.39	0.05	0.86
	9	4.000	0.000	0.000	46.26	0.73	1.61	-8.96	-1.94	59.81	0.63	-0.18
	10	4.500	0.000	0.000	36.89	-0.26	1.06	-23.19	1.19	71.79	-7.96	-7.02
	11	5.000	0.000	0.000	24.10	0.08	-0.21	-25.17	-0.22	65.89	-1.00	-0.59
	12	5.500	0.000	0.000	7.76	0.16	-0.92	-45.07	1.54	79.00	2.23	-2.28
	13	6.000	0.000	0.000	-14.19	-0.11	-1.43	-66.43	-0.31	91.26	-2.28	-5.22
	14	6.500	0.000	0.000	-45.46	-0.14	0.17	-67.43	-4.38	-24.62	5.47	-1.66

Průřezy - vnitřní síly | Plochy - lokální deformace | Plochy - globální deformace | Plochy - základní vnitřní síly | Plochy - hlavní vnitřní síly

Obrázek 8.40 Tabulka 4.15 *Plochy - základní vnitřní síly*

Hodnoty základních vnitřních sil se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

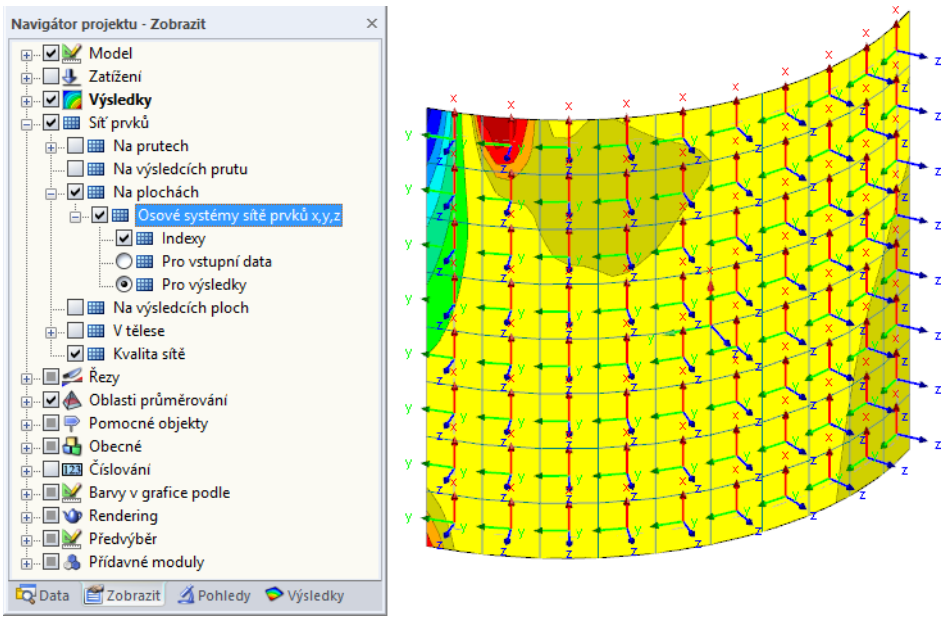
Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ. Pokud v tabulce klikneme do řádku určitého rastrového bodu, vyznačí se tento bod v grafickém okně šipkou.

Momenty / Posouvající síly / Normálové síly

Vnitřní síly ploch jsou na rozdíl od vnitřních sil prutů označeny malým písmenem. Z integrální definice ohybových momentů m_x a m_y vyplývá, že momenty jsou vztaženy ke směru souřadných os plochy, v kterém vznikají příslušná normálová napětí. Osy ploch lze zobrazit z místní nabídky plochy (viz obr. 4.122).

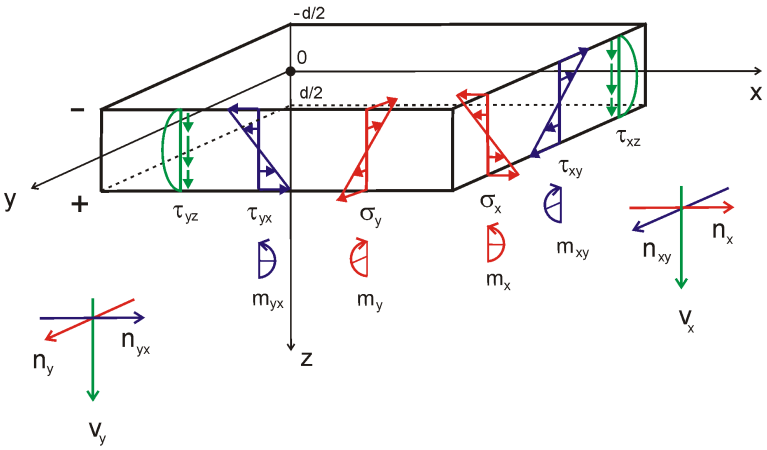
U zakřivených ploch jsou vnitřní síly vztaženy k lokálním osám jednotlivých konečných prvků, které lze zobrazit z navigátoru *Zobrazit*:



Obrázek 8.41 Navigátor *Zobrazit*: Osové systémy sítě prvků x,y,z

Tím je dán zásadní rozdíl mezi vnitřními silami plochy a prutu: zatímco moment M_y v prutu vyvolává napětí **okolo** lokální osy y daného prutu, působí plošný moment m_y **ve směru** osy y lokálního souřadného systému plochy, tzn. okolo osy x dané plochy.

Definici základních vnitřních sil plochy nám ozřejmí následující obrázek:



Obrázek 8.42 Vnitřní síly a napětí na ploše

Momenty a smyková napětí působící kolmo na plochu vykazují po její tloušťce parabolický průběh.

Ze znamének sil lze poznat, na které straně plochy vnitřní síly působí. Znaménka ovšem také závisí na orientaci globální osy Z: pokud globální osa Z směřuje **dolů** (obvyklý stav), pak kladné vnitřní síly vyvolávají tahová napětí na kladné straně plochy (tzn. ve směru kladné osy z dané plochy). V tabulce jsou vyznačeny modrým pruhem. Záporné vnitřní síly vyvolávají napětí v tlaku na kladné straně plochy a v tabulce jsou pak vyznačeny pruhem červeným.

Jestliže globální osa Z směřuje **nahoru**, znaménka ohybových momentů a posouvajících sil se obrátí.

Základní vnitřní síly se v případě **osy Z směřující dolů** počítají následovně:

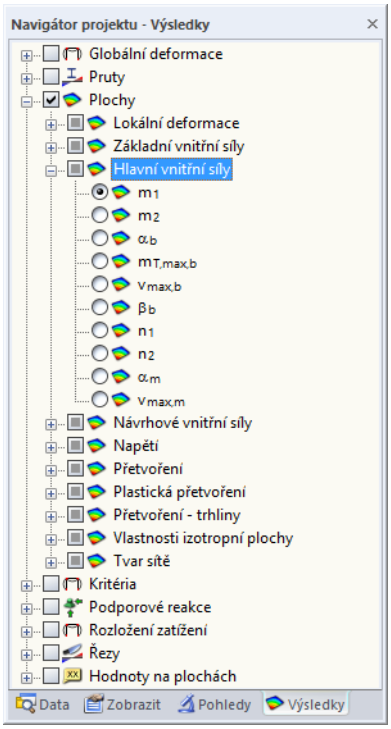
m_x	Ohybový moment, který vytváří napětí ve směru lokální osy x $m_x = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_x z \, dz$
m_y	Ohybový moment, který vytváří napětí ve směru lokální osy y $m_y = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_y z \, dz$
m_{xy}	Krouticí moment $m_{xy} = m_{yx} = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xy} z \, dz$
v_x	Posouvající síla v_x $v_x = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xz} dz$

v_y	Posouvající síla v_y $v_y = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{yz} dz$
n_x	Normálová síla ve směru lokální osy x $n_x = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_x dz$
n_y	Normálová síla ve směru lokální osy y $n_y = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_y dz$
n_{xy}	Smykový tok $n_{xy} = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xy} dz$

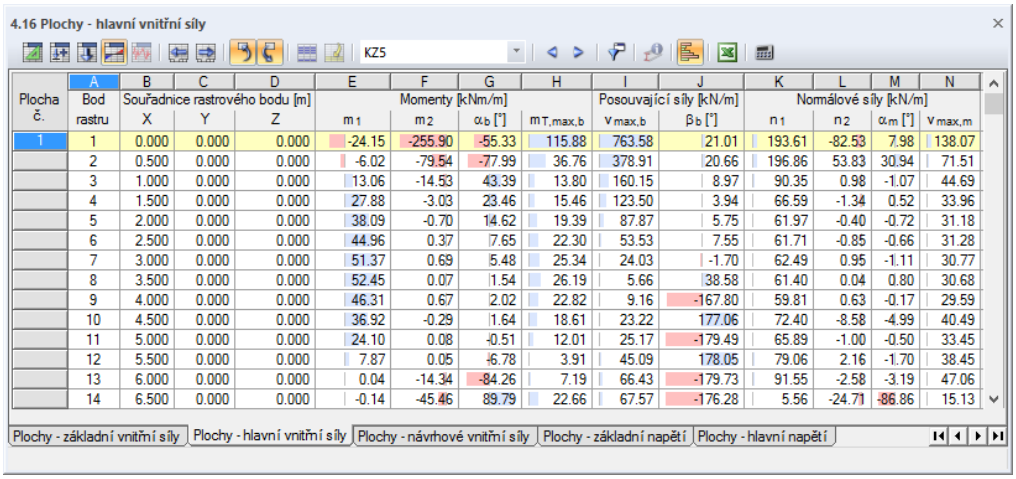
Tabulka 8.8 Základní vnitřní síly

8.16 Plochy — hlavní vnitřní síly

Grafické zobrazení hlavních vnitřních sil se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** → **Hlavní vnitřní síly**. Číselné výsledky hlavních vnitřních sil ploch lze prohlížet v tabulce 4.16.



Obrázek 8.43 Navigátor *Výsledky*: Plochy → Hlavní vnitřní síly



Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Momenty [kNm/m] m1	m2	αb [°]	mT,max,b	Posouvající síly [kN/m] vmax,b	βb [°]	Normálové síly [kN/m] n1	n2	αm [°]	vmax,m
1	1	0.000	0.000	0.000	-24.15	-255.90	-55.33	115.88	763.58	21.01	193.61	-82.53	7.98	138.07
	2	0.500	0.000	0.000	-6.02	-79.54	-77.99	36.76	378.91	20.66	196.86	53.83	30.94	71.51
	3	1.000	0.000	0.000	13.06	-14.53	43.39	13.80	160.15	8.97	90.35	0.98	-1.07	44.69
	4	1.500	0.000	0.000	27.88	-3.03	23.46	15.46	123.50	3.94	66.59	-1.34	0.52	33.96
	5	2.000	0.000	0.000	38.09	-0.70	14.62	19.39	87.87	5.75	61.97	-0.40	-0.72	31.18
	6	2.500	0.000	0.000	44.96	0.37	7.65	22.30	53.53	7.55	61.71	-0.85	-0.66	31.28
	7	3.000	0.000	0.000	51.37	0.69	5.48	25.34	24.03	-1.70	62.49	0.95	-1.11	30.77
	8	3.500	0.000	0.000	52.45	0.07	1.54	26.19	5.66	38.58	61.40	0.04	0.80	30.68
	9	4.000	0.000	0.000	46.31	0.67	2.02	22.82	9.16	-167.80	59.81	0.63	-0.17	29.59
	10	4.500	0.000	0.000	36.92	-0.29	1.64	18.61	23.22	177.06	72.40	-8.58	-4.99	40.49
	11	5.000	0.000	0.000	24.10	0.08	-0.51	12.01	25.17	-179.49	65.89	-1.00	-0.50	33.45
	12	5.500	0.000	0.000	7.87	0.05	-6.78	3.91	45.09	178.05	79.06	2.16	-1.70	38.45
	13	6.000	0.000	0.000	0.04	-14.34	-84.26	7.19	66.43	-179.73	91.55	-2.58	-3.19	47.06
	14	6.500	0.000	0.000	-0.14	-45.46	89.79	22.66	67.57	-176.28	5.56	-24.71	-86.86	15.13

Obrázek 8.44 Tabulka 4.16 *Plochy - hlavní vnitřní síly*

Hodnoty hlavních vnitřních sil se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.15 *Plochy - základní vnitřní síly*.

Momenty / Posouvající síly / Normálové síly

Základní vnitřní síly, které jsou popsány v předchozí kapitole, se vztahují k definovanému souřadnému systému xyz plochy. *Hlavní vnitřní síly* oproti tomu představují extrémní vnitřní síly v každém plošném prvku. Základní vnitřní síly se transformují ve směru příslušných hlavních os, přičemž hlavní osy *1* (maximální hodnota) a *2* (minimální hodnota) jsou na sebe kolmé.

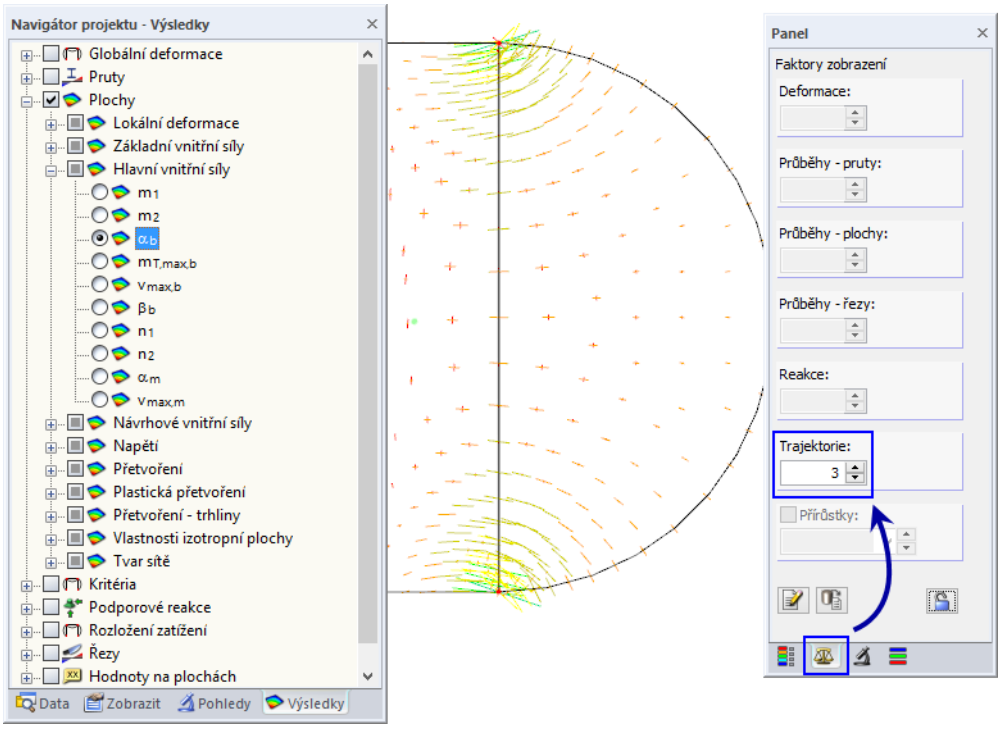
Hlavní vnitřní síly se určují ze základních vnitřních sil:

m_1	Ohybový moment ve směru hlavní osy 1 $\frac{1}{2}\left(m_x + m_y + \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2}\right)$
m_2	Ohybový moment ve směru hlavní osy 2 $\frac{1}{2}\left(m_x + m_y - \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2}\right)$
α_b	Úhel mezi lokální osou x (resp. y) a hlavní osou 1 (resp. 2) $\frac{1}{2}\left[\arctan\left(\frac{2m_{xy}}{m_x - m_y}\right)\right]$
$m_{\tau,max,b}$	Maximální krouticí moment $\frac{\sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2}}{2}$
$v_{max,b}$	Maximální posouvající síla od ohybu $v_{max,b} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
β_b	Úhel mezi hlavní posouvající silou $v_{max,b}$ a lokální osou x $\beta = \arctan\frac{v_y}{v_x}$
n_1	Normálová síla ve směru hlavní osy 1 $\frac{1}{2}\left(n_x + n_y + \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2}\right)$
n_2	Normálová síla ve směru hlavní osy 2 $\frac{1}{2}\left(n_x + n_y - \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2}\right)$
α_m	Úhel mezi osou x a hlavní osou 1 (pro normálovou sílu n_1) $\frac{1}{2}\left[\arctan\left(\frac{2n_{xy}}{n_x - n_y}\right)\right]$

$v_{max,m}$	Maximální posouvající síla od membránových účinků $\frac{\sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2}}{2}$

Tabulka 8.9 Hlavní vnitřní síly

V pracovním okně lze jako trajektorie zobrazit směry hlavních os α_b (pro ohybové momenty), β_b (pro posouvající síly) a α_m (pro normálové síly).

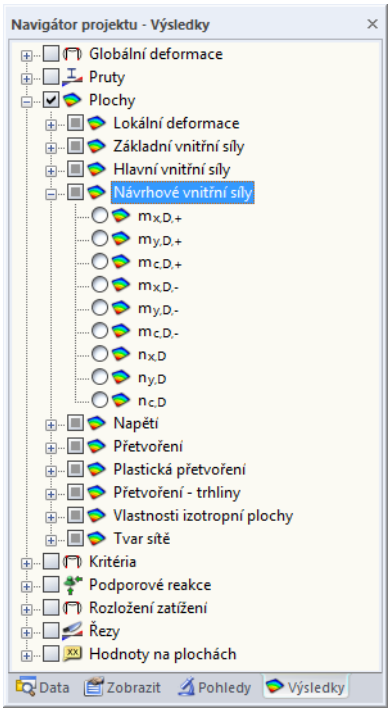


Obrázek 8.45 Trajektorie hlavních os

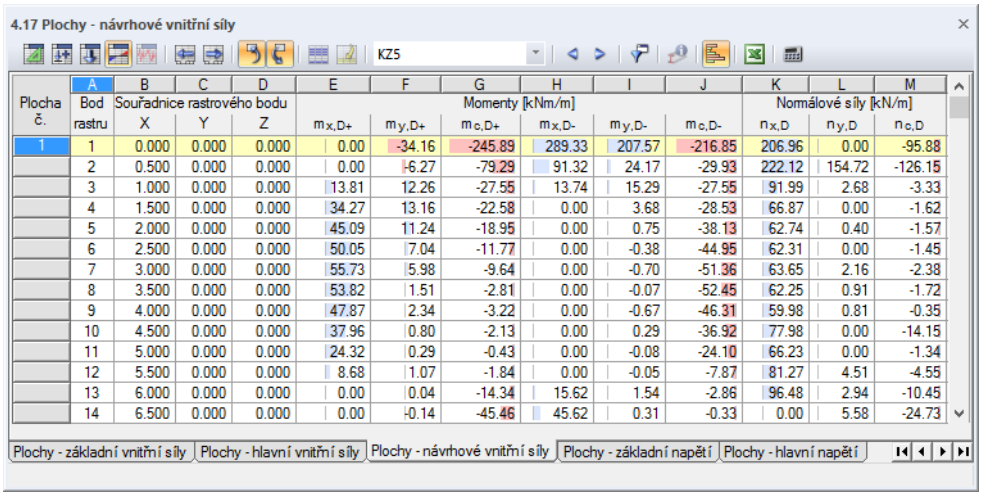
Například v zobrazení úhlu α_b je patrná i velikost příslušných hlavních momentů, protože délka trajektorií se řídí hodnotami momentů m_1 a m_2.

8.17 Plochy — návrhové vnitřní síly

Grafické zobrazení návrhových vnitřních sil se nastavuje v navigátoru **Výsledky** v položce *Plochy, Návrhové vnitřní síly*. Číselné výsledky návrhových vnitřních sil ploch lze prohlížet v tabulce 4.17.



Obrázek 8.46 Navigátor *Výsledky*: Plochy ⟶ Návrhové vnitřní síly



Plocha č.	A Bod rastru	B Souřadnice rastrového bodu X	C Y	D Z	E Momenty [kNm/m] mx,D+	F my,D+	G mc,D+	H mx,D-	I my,D-	J mc,D-	K Normálové síly [kN/m] nx,D	L ny,D	M nc,D
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00	-34.16	-245.89	289.33	207.57	-216.85	206.96	0.00	-95.88
	2	0.500	0.000	0.000	0.00	-6.27	-79.29	91.32	24.17	-29.93	222.12	154.72	-126.15
	3	1.000	0.000	0.000	13.81	12.26	-27.55	13.74	15.29	-27.55	91.99	2.68	-3.33
	4	1.500	0.000	0.000	34.27	13.16	-22.58	0.00	3.68	-28.53	66.87	0.00	-1.62
	5	2.000	0.000	0.000	45.09	11.24	-18.95	0.00	0.75	-38.13	62.74	0.40	-1.57
	6	2.500	0.000	0.000	50.05	7.04	-11.77	0.00	-0.38	-44.95	62.31	0.00	-1.45
	7	3.000	0.000	0.000	55.73	5.98	-9.64	0.00	-0.70	-51.36	63.65	2.16	-2.38
	8	3.500	0.000	0.000	53.82	1.51	-2.81	0.00	-0.07	-52.45	62.25	0.91	-1.72
	9	4.000	0.000	0.000	47.87	2.34	-3.22	0.00	-0.67	-46.31	59.98	0.81	-0.35
	10	4.500	0.000	0.000	37.96	0.80	-2.13	0.00	0.29	-36.92	77.98	0.00	-14.15
	11	5.000	0.000	0.000	24.32	0.29	-0.43	0.00	-0.08	-24.10	66.23	0.00	-1.34
	12	5.500	0.000	0.000	8.68	1.07	-1.84	0.00	-0.05	-7.87	81.27	4.51	-4.55
	13	6.000	0.000	0.000	0.00	0.04	-14.34	15.62	1.54	-2.86	96.48	2.94	-10.45
	14	6.500	0.000	0.000	0.00	-0.14	-45.46	45.62	0.31	-0.33	0.00	5.58	-24.73

Obrázek 8.47 Tabulka 4.17 *Plochy — návrhové vnitřní síly*

Hodnoty návrhových vnitřních sil se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Momenty / Normálové síly

Návrhové momenty a normálové síly uvedené v tabulce vycházejí z DIN V ENV 1992-1-1, přílohy 2, A 2.8 a A 2.9. Pro uživatele, kteří nemají k dispozici návrhový modul RF-CONCRETE Surfaces, tak mohou představovat vítanou pomoc při ručním posouzení železobetonových konstrukcí. Vzhledem k tomu, že v modulu RF-CONCRETE Surfaces se uplatňuje postup podle Baumanna, tyto vnitřní síly se v něm nepoužívají.

V této souvislosti je důležité zmínit, že návrhové momenty a normálové síly z tabulky 4.17 **nelze** kombinovat. Jak je vysvětleno v DIN V ENV 1992-1-1 v příloze 2.8, momenty se vztahují výlučně na výztuže desek, zatímco návrhové normálové síly se používají pro posouzení stěnových prvků podle přílohy 2.9.

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých návrhových vnitřních sil :

$m_{x,D+}$	Návrhový moment ve směru lokální osy x na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $m_x + \lvert m_{xy} \rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_x \ge -\lvert m_{xy} \rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_y \ge -\lvert m_{xy} \rvert$ 0 pro $m_x \le m_y$ a $m_x < -\lvert m_{xy} \rvert$ $m_x + \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_y \rvert}$ pro $m_x > m_y$ a $m_y < -\lvert m_{xy} \rvert$
$m_{y,D+}$	Návrhový moment ve směru lokální osy y na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $m_y + \lvert m_{xy} \rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_x \ge -\lvert m_{xy} \rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_y \ge -\lvert m_{xy} \rvert$ $m_y + \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_x \rvert}$ pro $m_x \le m_y$ a $m_x < -\lvert m_{xy} \rvert$ 0 pro $m_x > m_y$ a $m_x < -\lvert m_{xy} \rvert$

$m_{c,D+}$	Návrhový moment pro posouzení napětí v betonu na kladné straně plochy $-2\lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_x \ge -\lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_y \ge -\lvert m_{xy}\rvert$ $m_x - \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_x\rvert}$ pro $m_x \le m_y$ a $m_x < -\lvert m_{xy}\rvert$ $m_y - \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_y\rvert}$ pro $m_x > m_y$ a $m_x < -\lvert m_{xy}\rvert$
$m_{x,D-}$	Návrhový moment ve směru osy x na záporné straně plochy $-m_x + \lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_y \le \lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_x \le \lvert m_{xy}\rvert$ $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_y\rvert}$ pro $m_x \le m_y$ a $m_y > \lvert m_{xy}\rvert$ 0 pro $m_x > m_y$ a $m_x > \lvert m_{xy}\rvert$
$m_{y,D-}$	Návrhový moment ve směru osy y na záporné straně plochy $-m_y + \lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_y \le \lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_x \le \lvert m_{xy}\rvert$ 0 pro $m_x \le m_y$ a $m_y > \lvert m_{xy}\rvert$ $-m_y + \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_x\rvert}$ pro $m_x > m_y$ a $m_x > \lvert m_{xy}\rvert$

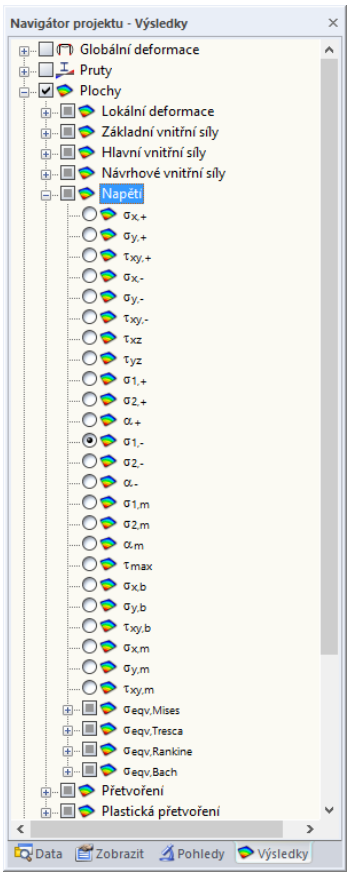
$m_{c,D-}$	Návrhový moment pro posouzení napětí v betonu na záporné straně plochy $-2\,\lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x \le m_y$ a $m_y \le \lvert m_{xy}\rvert$ pro $m_x > m_y$ a $m_x \le \lvert m_{xy}\rvert$ $-m_y - \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_y\rvert}$ pro $m_x \le m_y$ a $m_y > \lvert m_{xy}\rvert$ $-m_x - \frac{m_{xy}^2}{\lvert m_x\rvert}$ pro $m_x > m_y$ a $m_x > \lvert m_{xy}\rvert$
$n_{x,D}$	Návrhová síla ve směru lokální osy x $n_x + \lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x \le n_y$ a $n_x \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x > n_y$ a $n_y \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ 0 pro $n_x \le n_y$ a $n_x < -\lvert n_{xy}\rvert$ $n_x + \frac{n_{xy}^2}{\lvert n_y\rvert}$ pro $n_x > n_y$ a $n_y < -\lvert n_{xy}\rvert$
$n_{y,D}$	Návrhová síla ve směru lokální osy y $n_y + \lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x \le n_y$ a $n_x \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x > n_y$ a $n_y \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ $n_y + \frac{n_{xy}^2}{\lvert n_x\rvert}$ pro $n_x \le n_y$ a $n_x < -\lvert n_{xy}\rvert$ 0 pro $n_x > n_y$ a $n_y < -\lvert n_{xy}\rvert$

$n_{c,D}$	Návrhová síla pro posouzení napětí v betonu $-2\,\lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x \le n_y$ a $n_x \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ pro $n_x > n_y$ a $n_y \ge -\lvert n_{xy}\rvert$ $-\lvert n_x\rvert - \frac{n_{xy}^2}{\lvert n_x\rvert}$ pro $n_x \le n_y$ a $n_x < -\lvert n_{xy}\rvert$ $-\lvert n_y\rvert - \frac{n_{xy}^2}{\lvert n_y\rvert}$ pro $n_x > n_y$ a $n_y < -\lvert n_{xy}\rvert$

Tabulka 8.10 Návrhové vnitřní síly

8.18 Plochy — základní napětí

Grafické zobrazení základních napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** ⟶ **Napětí**. Číselné hodnoty základních napětí ploch lze prohlížet v tabulce 4.18.



Obrázek 8.48 Navigátor *Výsledky*: Plochy ⟶ Napětí

4.18 Plochy - základní napětí

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Normálová napětí [kN/cm²] σx,+	σy,+	σx,-	σy,-	Smyková napětí [kN/cm²] τxy,+	τxy,-	τxz	τyz
1	1	0.000	0.000	0.000	-2.62	-1.53	2.81	1.45	-1.61	1.65	0.53	0.21
	2	0.500	0.000	0.000	-1.07	-0.09	1.22	0.18	-0.19	0.26	0.27	0.10
	3	1.000	0.000	0.000	0.05	-0.02	0.04	0.02	0.21	-0.21	0.12	0.02
	4	1.500	0.000	0.000	0.38	0.03	-0.31	-0.03	0.17	-0.17	0.09	0.01
	5	2.000	0.000	0.000	0.57	0.03	-0.50	-0.03	0.14	-0.14	0.07	0.01
	6	2.500	0.000	0.000	0.69	0.02	-0.63	-0.02	0.09	-0.09	0.04	0.01
	7	3.000	0.000	0.000	0.79	0.02	-0.73	-0.02	0.07	-0.07	0.02	-0.00
	8	3.500	0.000	0.000	0.82	0.00	-0.76	-0.00	0.02	-0.02	0.00	0.00
	9	4.000	0.000	0.000	0.72	0.01	-0.66	-0.01	0.02	-0.02	-0.01	-0.00
	10	4.500	0.000	0.000	0.59	-0.01	-0.52	-0.00	0.01	-0.02	-0.02	0.00
	11	5.000	0.000	0.000	0.39	0.00	-0.33	-0.00	-0.00	0.00	-0.02	-0.00
	12	5.500	0.000	0.000	0.16	0.00	-0.08	-0.00	-0.01	0.01	-0.03	0.00
	13	6.000	0.000	0.000	-0.17	-0.00	0.26	0.00	-0.02	0.02	-0.05	-0.00
	14	6.500	0.000	0.000	-0.69	0.00	0.67	0.00	0.00	-0.00	-0.05	-0.00

Plochy - hlavní vnitřní síly | Plochy - návrhové vnitřní síly | Plochy - základní napětí | Plochy - hlavní napětí | Plochy - další napětí

Obrázek 8.49 Tabulka 4.18 *Plochy - základní napětí*

Hodnoty základních napětí se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

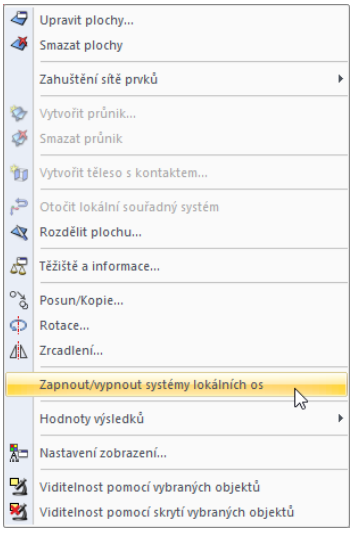
Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Normálová napětí / Smyková napětí

Napětí jsou vztažena ke směru lokálních os plochy. V případě zakřivených ploch se vztahují k lokálním osám jednotlivých konečných prvků (viz obr. 8.41).

Základní napětí jsou znázorněna na obr. 8.42. V tabulce níže uvádíme jejich seznam:

$\sigma_{x,+}$	Napětí ve směru lokální osy x na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6\,m_x}{d^2}$ kde *d*: tloušťka plochy
$\sigma_{y,+}$	Napětí ve směru lokální osy y na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6\,m_y}{d^2}$



Místní nabídka plochy

$\sigma_{x,-}$	Napětí ve směru osy x na záporné straně plochy $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6\,m_x}{d^2}$
$\sigma_{y,-}$	Napětí ve směru osy y na záporné straně plochy $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6\,m_y}{d^2}$
$\tau_{xy,+}$	Napětí od kroucení na kladné straně plochy $\tau_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6\,m_{xy}}{d^2}$
$\tau_{xy,-}$	Napětí od kroucení na záporné straně plochy $\tau_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6\,m_{xy}}{d^2}$
τ_{xz}	Smykové napětí ortogonálně k ploše ve směru osy x $\frac{3\,v_x}{2\,d}$ kde *d*: tloušťka plochy
τ_{yz}	Smykové napětí ortogonálně k ploše ve směru osy y $\frac{3\,v_y}{2\,d}$

Tabulka 8.11 Základní napětí

8.19 Plochy — hlavní napětí

Grafické zobrazení hlavních napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy ⟶ Napětí** (viz obr. 8.48). Číselné hodnoty hlavních napětí na plochách lze prohlížet v tabulce 4.19.

4.19 Plochy - hlavní napětí

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu X	Y	Z	Hlavní napětí [kN/cm²] σ1,+	σ2,+	α+ [°]	σ1,-	σ2,-	α- [°]	σ1,m	σ2,m	αm	τmax
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.37	-3.77	-54.39	3.91	0.35	33.78	0.10	-0.04	7.98	0.57
	2	0.500	0.000	0.000	-0.06	-1.10	-79.19	1.28	0.12	13.10	0.10	0.03	30.94	0.28
	3	1.000	0.000	0.000	0.22	-0.20	40.31	0.24	-0.17	-43.53	0.05	0.00	-1.07	0.12
	4	1.500	0.000	0.000	0.45	-0.04	22.03	0.05	-0.39	-64.95	0.03	-0.00	0.52	0.09
	5	2.000	0.000	0.000	0.60	-0.01	13.87	0.01	-0.54	-74.56	0.03	-0.00	-0.72	0.07
	6	2.500	0.000	0.000	0.70	0.01	7.28	-0.01	-0.64	-81.95	0.03	-0.00	-0.66	0.04
	7	3.000	0.000	0.000	0.80	0.01	5.23	-0.01	-0.74	-84.24	0.03	0.00	-1.11	0.02
	8	3.500	0.000	0.000	0.82	0.00	1.51	-0.00	-0.76	-88.43	0.03	0.00	0.80	0.00
	9	4.000	0.000	0.000	0.72	0.01	1.93	-0.01	-0.66	-87.88	0.03	0.00	-0.17	0.01
	10	4.500	0.000	0.000	0.59	-0.01	1.19	0.00	-0.52	-87.85	0.04	-0.00	-4.99	0.02
	11	5.000	0.000	0.000	0.39	0.00	-0.51	-0.00	-0.33	89.49	0.03	-0.00	-0.50	0.02
	12	5.500	0.000	0.000	0.16	0.00	-5.53	0.00	-0.08	80.78	0.04	0.00	-1.70	0.03
	13	6.000	0.000	0.000	0.00	-0.17	-81.85	0.26	-0.00	4.15	0.05	-0.00	-3.19	0.05
	14	6.500	0.000	0.000	0.00	-0.69	89.86	0.67	0.00	-0.29	0.00	-0.01	-86.86	0.05
	15	7.000	0.000	0.000	0.25	-1.59	64.85	1.66	-0.14	-40.03	0.37	-0.28	-69.41	0.29
	22	0.000	0.500	0.000	-0.01	-0.76	-50.34	0.60	-0.05	38.29	-0.03	-0.08	-41.65	0.19

Plochy - hlavní vnitřní síly | Plochy - návrhové vnitřní síly | Plochy - základní napětí | Plochy - hlavní napětí | Plochy - další napětí

Obrázek 8.50 Tabulka 4.19 *Plochy — hlavní napětí*

Hodnoty hlavních napětí se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.18 *Plochy - základní napětí*.

Hlavní napětí

Základní napětí, která jsou popsána v kapitole 8.18, se vztahují k souřadnému systému ploch *xyz*. Hlavní napětí oproti tomu představují extrémní hodnoty napětí v každém plošném prvku, přičemž hlavní osy *1* (maximální hodnota) a *2* (minimální hodnota) jsou na sebe kolmé.

V grafickém okně lze směry hlavních os α zobrazit jako trajektorie (viz obr. 8.45).

Hlavní napětí se určují ze základních napětí :

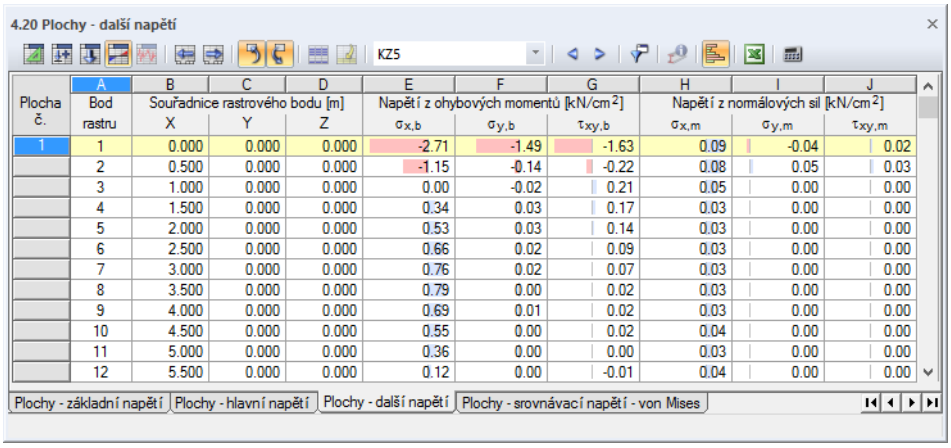
$\sigma_{1,+}$	Napětí ve směru hlavní osy 1 na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\sigma_{1,+} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}\right)$
$\sigma_{2,+}$	Napětí ve směru hlavní osy 2 na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\sigma_{2,+} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}\right)$
α_+	Úhel mezi lokální osou x (resp. y) a hlavní osou 1 (resp. 2) pro napětí na kladné straně plochy $\alpha_+ = \frac{1}{2}\operatorname{atan2}\left(\frac{2\,\tau_{xy,+}}{\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+}}\right) \quad \in (-90°, 90°]$

$\sigma_{1,-}$	Napětí ve směru hlavní osy 1 na záporné straně plochy $\sigma_{1,-} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2}\right)$
$\sigma_{2,-}$	Napětí ve směru hlavní osy 2 na záporné straně plochy $\sigma_{2,-} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2}\right)$
α_{-}	Úhel mezi lokální osou x (resp. y) a hlavní osou 1 (resp. 2) pro napětí na záporné straně plochy $\alpha_{-} = \frac{1}{2}\operatorname{atan2}\left(\frac{2\,\tau_{xy,-}}{\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-}}\right) \quad \in (-90°, 90°]$
$\sigma_{1,m}$	Membránové napětí ve směru hlavní osy 1 $\sigma_{1,m} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2}\right)$
$\sigma_{2,m}$	Membránové napětí ve směru hlavní osy 2 $\sigma_{2,m} = \frac{1}{2}\left(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} - \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2}\right)$
α_m	Úhel mezi lokální osou x a hlavní osou 1 pro membránová napětí $\alpha_m = \frac{1}{2}\operatorname{atan2}\left(\frac{2 \cdot \tau_{xy,m}}{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}\right) \quad \in (-90°, 90°]$
τ_{max}	Maximální smykové napětí kolmo k ploše $\tau_{max} = \sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2}$

Tabulka 8.12 Hlavní napětí

8.20 Plochy — další napětí

Grafické zobrazení složek napětí od ohybových momentů a membránových sil se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Napětí** (viz obr. 8.48). Číselné hodnoty napětí lze prohlížet v tabulce 4.20.



4.20 Plochy - další napětí

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Napětí z ohybových momentů [kN/cm²] $\sigma_{x,b}$	$\sigma_{y,b}$	$\tau_{xy,b}$	Napětí z normálových sil [kN/cm²] $\sigma_{x,m}$	$\sigma_{y,m}$	$\tau_{xy,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-2.71	-1.49	-1.63	0.09	-0.04	0.02
	2	0.500	0.000	0.000	-1.15	-0.14	-0.22	0.08	0.05	0.03
	3	1.000	0.000	0.000	0.00	-0.02	0.21	0.05	0.00	0.00
	4	1.500	0.000	0.000	0.34	0.03	0.17	0.03	0.00	0.00
	5	2.000	0.000	0.000	0.53	0.03	0.14	0.03	0.00	0.00
	6	2.500	0.000	0.000	0.66	0.02	0.09	0.03	0.00	0.00
	7	3.000	0.000	0.000	0.76	0.02	0.07	0.03	0.00	0.00
	8	3.500	0.000	0.000	0.79	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00
	9	4.000	0.000	0.000	0.69	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00
	10	4.500	0.000	0.000	0.55	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
	11	5.000	0.000	0.000	0.36	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
	12	5.500	0.000	0.000	0.12	0.00	-0.01	0.04	0.00	0.00

Plochy - základní napětí | Plochy - hlavní napětí | Plochy - další napětí | Plochy - srovnávací napětí - von Mises

Obrázek 8.51 Tabulka 4.20 *Plochy - další napětí*

Hodnoty těchto napětí se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Napětí od ohybových momentů / normálových sil

Napětí jsou vztažena ke směru lokálních os plochy. U zakřivených ploch se vztahují k osám konečných prvků (viz obr. 8.41).

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých napětí:

$\sigma_{x,b}$	Napětí od ohybového momentu m_x $\sigma_{x,b} = \frac{6\, m_x}{d^2}$ kde d: tloušťka plochy
$\sigma_{y,b}$	Napětí od ohybového momentu m_y $\sigma_{y,b} = \frac{6\, m_y}{d^2}$
$\tau_{xy,b}$	Napětí od krouticího momentu m_{xy} $\tau_{xy,b} = \frac{6\, m_{xy}}{d^2}$

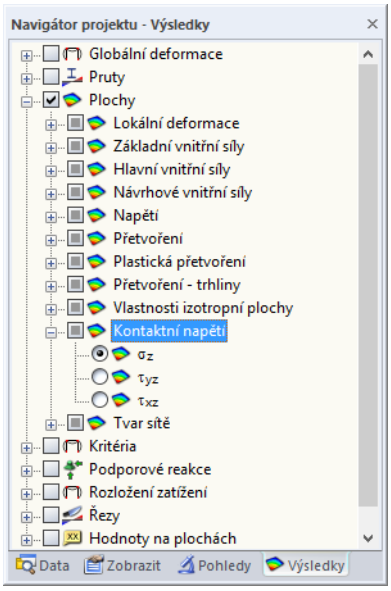
$\sigma_{x,m}$	Membránové napětí od normálové síly n_x $\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}$
$\sigma_{y,m}$	Membránové napětí od normálové síly n_y $\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$
$\tau_{xy,m}$	Membránové napětí od smykového toku n_{xy} $\tau_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$

Tabulka 8.13 Ostatní napětí

8.21 Plochy — kontaktní napětí

Pokud model obsahuje pružná podloží ploch (viz kapitola 4.9), pak se hodnoty kontaktních napětí ploch („napětí v základové spáře“) zobrazí v tabulce 4.21. Grafické zobrazení kontaktních napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Kontaktní napětí**.

V případě 2D desky se zobrazí pouze sloupec σ_z.



Obrázek 8.52 Navigátor *Výsledky*: Plochy → Kontaktní napětí

4.21 Plochy - kontaktní napětí

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Kontaktní napětí [kN/m²] σ_z	τ_{yz}	τ_{xz}
1	1	0.000	0.000	0.000	4.58	0.80	-1.41
	2	0.500	0.000	0.000	1.40	0.71	-1.38
	3	1.000	0.000	0.000	5.51	0.66	-1.36
	4	1.500	0.000	0.000	8.16	0.61	-1.34
	5	2.000	0.000	0.000	10.14	0.57	-1.33
	6	2.500	0.000	0.000	11.45	0.54	-1.32
	7	3.000	0.000	0.000	12.28	0.50	-1.31
	8	3.500	0.000	0.000	12.81	0.47	-1.31
	9	4.000	0.000	0.000	13.19	0.44	-1.30
	10	4.500	0.000	0.000	12.96	0.42	-1.29
	11	5.000	0.000	0.000	12.31	0.39	-1.29
	12	5.500	0.000	0.000	11.64	0.37	-1.29
	13	6.000	0.000	0.000	8.91	0.35	-1.28
	14	6.500	0.000	0.000	7.09	0.33	-1.28

Plochy - hlavní napětí | Plochy - další napětí | Plochy - kontaktní napětí | Plochy - srovnávací napětí - von Mises

Obrázek 8.53 Tabulka 4.21 *Plochy - kontaktní napětí*

Hodnoty kontaktních napětí se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

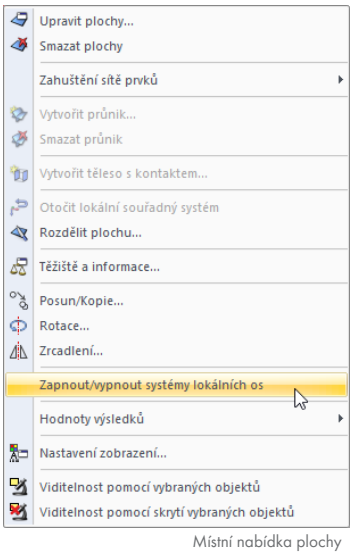
Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ. Pokud je aktivována synchronizace výběru a v tabulce klikneme do řádku určitého rastrového bodu, vyznačí se tento bod v grafickém okně šipkou (viz kapitola 11.5.4).

Kontaktní napětí

Napětí jsou vztažena ke směru lokálních os plochy. U zakřivených ploch se vztahují k osám konečných prvků (viz obr. 8.41).

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých kontaktních napětí:

σ_z	Kontaktní napětí („napětí v základové spáře“) ve směru osy z plochy $\sigma_z = \frac{F_z}{A}$ kde F_z: Kontaktní síla v bodě sítě KP ve směru z A: Dílčí plocha pro bod sítě konečných prvků
τ_{yz}	Smykové napětí od uložení plochy $\tau_{yz} = \frac{F_y}{A}$ kde F_y: Kontaktní síla v bodě sítě KP ve směru y A: Dílčí plocha pro bod sítě konečných prvků



Místní nabídka plochy

τ_{xz}	Smykové napětí od uložení plochy $\tau_{xz} = \frac{F_x}{A}$ kde F_x: Kontaktní síla v bodě sítě KP ve směru x A: Dílčí plocha pro bod sítě KP

Tabulka 8.14 Kontaktní napětí

Kladná kontaktní napětí se v tabulce podbarví modře, záporná červeně.

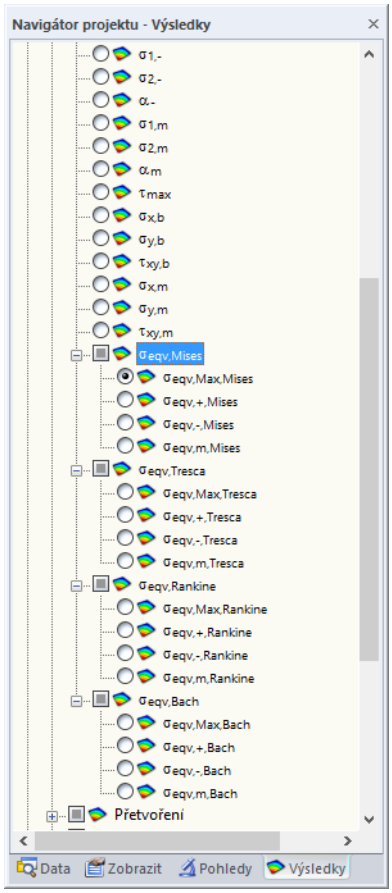
V tabulce se napětí uvádějí jako síly, které se přenášejí do podloží. Co se týče znamének, **nejedná** se tedy o reakce ze strany podloží. Pokud směřuje lokální osa z dané plochy dolů, pak například zatížení ve směru osy z vyvolává kladné napětí σ_z. Znaménka se tak řídí směrem osy z dané plochy (viz obr. 4.75).

Orientaci osy z lze u 3D modelů rychle změnit.

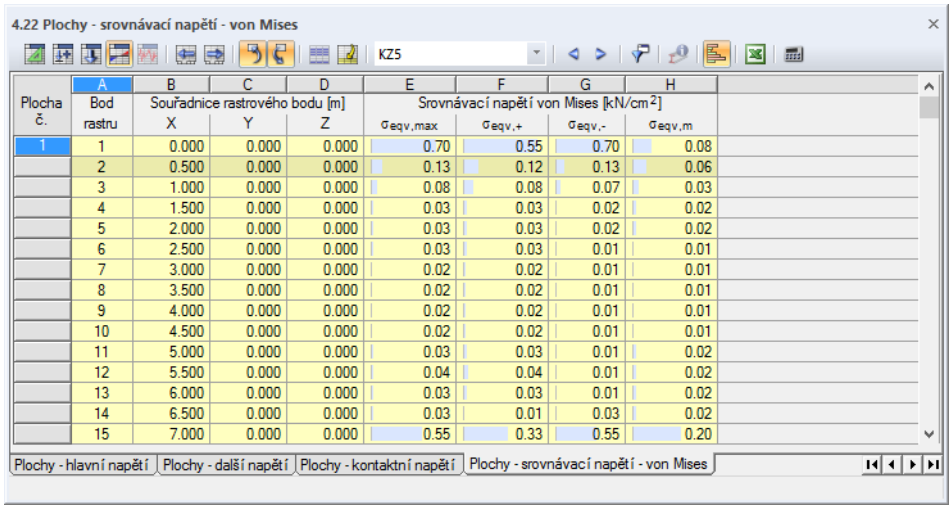
Klikneme na plochu pravým tlačítkem myši a vybereme v místní nabídce (viz obrázek výše po levé straně) příkaz *Otočit lokální souřadný systém*. Přitom je třeba si uvědomit, že případná nelinearita mění směr působení.

8.22 Plochy - srovnávací napětí - von Mises

Grafické zobrazení srovnávacích napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** ⟶ **Napětí**. Číselné hodnoty srovnávacích napětí ploch podle von Misese lze prohlížet v tabulce 4.22.



Obrázek 8.54 Srovnávací napětí v navigátoru *Výsledky*: Plochy → Napětí → $\sigma_{eqv,Mises}$



Plocha č.	Bod rastru	X	Y	Z	$\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	0.70	0.55	0.70	0.08
	2	0.500	0.000	0.000	0.13	0.12	0.13	0.06
	3	1.000	0.000	0.000	0.08	0.08	0.07	0.03
	4	1.500	0.000	0.000	0.03	0.03	0.02	0.02
	5	2.000	0.000	0.000	0.03	0.03	0.02	0.02
	6	2.500	0.000	0.000	0.03	0.03	0.01	0.01
	7	3.000	0.000	0.000	0.02	0.02	0.01	0.01
	8	3.500	0.000	0.000	0.02	0.02	0.01	0.01
	9	4.000	0.000	0.000	0.02	0.02	0.01	0.01
	10	4.500	0.000	0.000	0.02	0.02	0.01	0.01
	11	5.000	0.000	0.000	0.03	0.03	0.01	0.02
	12	5.500	0.000	0.000	0.04	0.04	0.01	0.02
	13	6.000	0.000	0.000	0.03	0.03	0.01	0.02
	14	6.500	0.000	0.000	0.03	0.01	0.03	0.02
	15	7.000	0.000	0.000	0.55	0.33	0.55	0.20

Obrázek 8.55 Tabulka 4.22 *Plochy - srovnávací napětí - von Mises*

Hodnoty srovnávacích napětí se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Srovnávací napětí

V navigátoru *Výsledky* máme k dispozici čtyři různé hypotézy pro výpočet srovnávacích napětí v případě rovinné napjatosti. Hypotéza napětí podle von Misese je známá jako „hypotéza energie napjatosti pro změnu tvaru“. Vychází se z předpokladu, že materiál selže, pokud energie změny tvaru překročí určitou hranici. Energie změny tvaru představuje takovou energii, která vede k přetvoření nebo deformaci tělesa.

Srovnávací napětí podle hypotézy změny tvaru je nejznámější a nejčastěji uplatňovaná hypotéza srovnávacího napětí. Je vhodná pro všechny materiály vyjma křehkých. Významnou oblastí jejího uplatnění jsou tak ocelové pozemní stavby. Tato hypotéza není vhodná pro hydrostatickou napjatost se stejnými hlavními napětími ve všech směrech, protože srovnávací napětí je v takovém případě rovno nule.

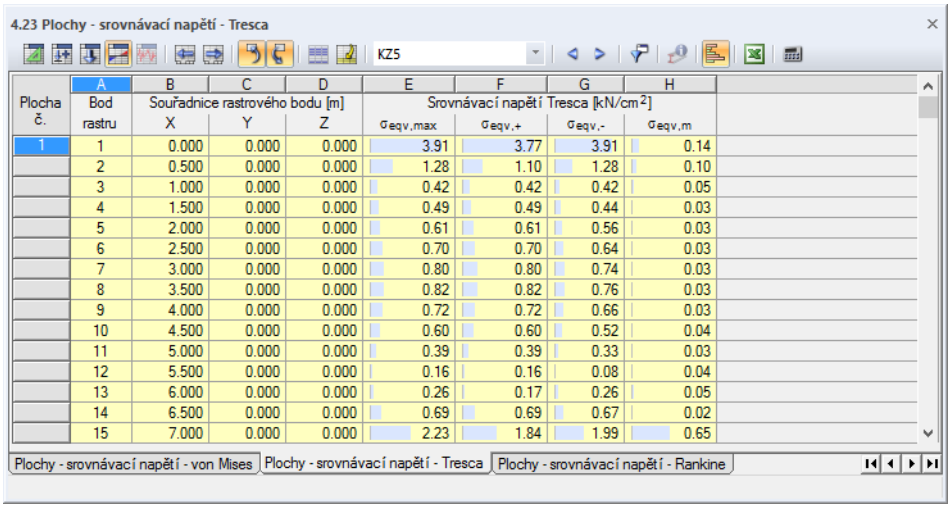
V tabulce níže uvádíme srovnávací napětí podle von Misese pro rovinnou napjatost:

$\sigma_{eqv,max}$	Maximální srovnávací napětí na kladné a záporné straně plochy
$\sigma_{eqv,+}$	Srovnávací napětí na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\sigma_{eqv,+} = \sqrt{\sigma_{x,+}^2 + \sigma_{y,+}^2 - \sigma_{x,+}\sigma_{y,+} + 3\tau_{xy,+}^2}$
$\sigma_{eqv,-}$	Srovnávací napětí na záporné straně plochy $\sigma_{eqv,-} = \sqrt{\sigma_{x,-}^2 + \sigma_{y,-}^2 - \sigma_{x,-}\sigma_{y,-} + 3\tau_{xy,-}^2}$
$\sigma_{eqv,m}$	Membránové srovnávací napětí $\sigma_{eqv,m} = \sqrt{\sigma_{x,m}^2 + \sigma_{y,m}^2 - \sigma_{x,m}\sigma_{y,m} + 3\tau_{xy,m}^2}$

Tabulka 8.15 Srovnávací napětí podle von Misese

8.23 Plochy - srovnávací napětí - Tresca

Grafické zobrazení srovnávacích napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** → **Napětí** (viz obr. 8.54). Číselné hodnoty srovnávacích napětí ploch podle Trescy lze prohlížet v tabulce 4.23.



4.23 Plochy - srovnávací napětí - Tresca

KZ5

Plocha č.	A Bod rastru	B Souřadnice rastrového bodu [m] X	C Y	D Z	E Srovnávací napětí Tresca [kN/cm²] σeqv,max	F σeqv,+	G σeqv,-	H σeqv,m
1	1	0.000	0.000	0.000	3.91	3.77	3.91	0.14
	2	0.500	0.000	0.000	1.28	1.10	1.28	0.10
	3	1.000	0.000	0.000	0.42	0.42	0.42	0.05
	4	1.500	0.000	0.000	0.49	0.49	0.44	0.03
	5	2.000	0.000	0.000	0.61	0.61	0.56	0.03
	6	2.500	0.000	0.000	0.70	0.70	0.64	0.03
	7	3.000	0.000	0.000	0.80	0.80	0.74	0.03
	8	3.500	0.000	0.000	0.82	0.82	0.76	0.03
	9	4.000	0.000	0.000	0.72	0.72	0.66	0.03
	10	4.500	0.000	0.000	0.60	0.60	0.52	0.04
	11	5.000	0.000	0.000	0.39	0.39	0.33	0.03
	12	5.500	0.000	0.000	0.16	0.16	0.08	0.04
	13	6.000	0.000	0.000	0.26	0.17	0.26	0.05
	14	6.500	0.000	0.000	0.69	0.69	0.67	0.02
	15	7.000	0.000	0.000	2.23	1.84	1.99	0.65

Plochy - srovnávací napětí - von Mises | Plochy - srovnávací napětí - Tresca | Plochy - srovnávací napětí - Rankine

Obrázek 8.56 Tabulka 4.23 *Plochy - srovnávací napětí - Tresca*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.22 *Plochy - srovnávací napětí - von Mises*.

Hypotéza podle Trescy, která je známá také jako „hypotéza smykového napětí“, vychází z předpokladu, že selhání způsobuje maximální smykové napětí. Vzhledem k tomu, že tato hypotéza je vhodná především pro křehké materiály, nachází často uplatnění ve strojírenství.

Srovnávací napětí podle Trescy se počítají následovně:

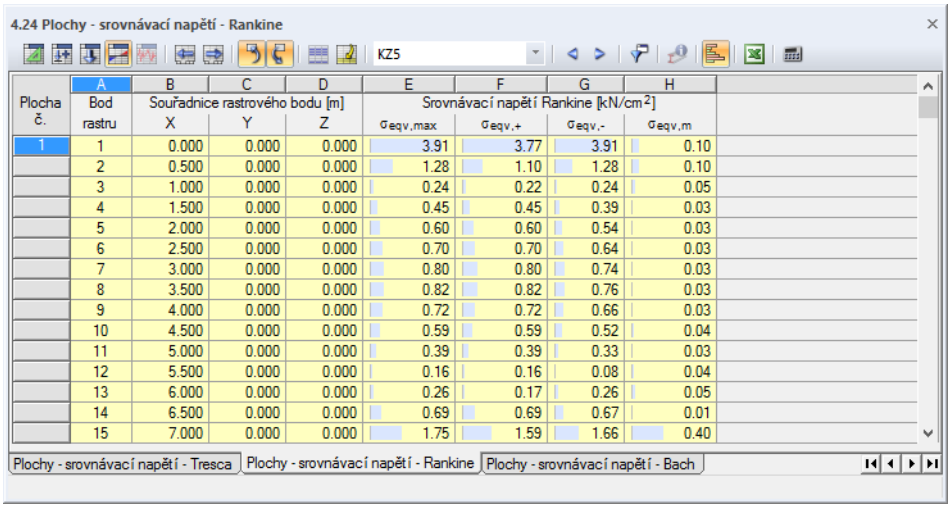
$\sigma_{eqv,max}$	Maximální srovnávací napětí na kladné a záporné straně plochy
$\sigma_{eqv,+}$	Srovnávací napětí na kladné straně plochy $\sigma_{eqv,+} = \max(\lvert\sigma_{1,+} - \sigma_{2,+}\rvert; \lvert\sigma_{2,+}\rvert; \lvert\sigma_{1,+}\rvert)$ resp. $\sigma_{eqv,+} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}; \lvert\sigma_{2,+}\rvert; \lvert\sigma_{1,+}\rvert)$
$\sigma_{eqv,-}$	Srovnávací napětí na záporné straně plochy $\sigma_{eqv,-} = \max(\lvert\sigma_{1,-} - \sigma_{2,-}\rvert; \lvert\sigma_{2,-}\rvert; \lvert\sigma_{1,-}\rvert)$ resp. $\sigma_{eqv,-} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2}; \lvert\sigma_{2,-}\rvert; \lvert\sigma_{1,-}\rvert)$
$\sigma_{eqv,m}$	Membránové srovnávací napětí $\sigma_{eqv,m} = \max(\lvert\sigma_{1,m} - \sigma_{2,m}\rvert; \lvert\sigma_{2,m}\rvert; \lvert\sigma_{1,m}\rvert)$ resp. $\sigma_{eqv,m} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2}; \lvert\sigma_{2,m}\rvert; \lvert\sigma_{1,m}\rvert)$

Tabulka 8.16 Srovnávací napětí podle Trescy

8.24

Plochy - srovnávací napětí - Rankine

Grafické zobrazení srovnávacích napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** → **Napětí** (viz obr. 8.54). Číselné hodnoty srovnávacích napětí ploch podle Rankina se zobrazí v tabulce 4.24.



4.24 Plochy - srovnávací napětí - Rankine

KZS

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Srovnávací napětí Rankine [kN/cm²] $\sigma_{eqv,max}$	$\sigma_{eqv,+}$	$\sigma_{eqv,-}$	$\sigma_{eqv,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	3.91	3.77	3.91	0.10
	2	0.500	0.000	0.000	1.28	1.10	1.28	0.10
	3	1.000	0.000	0.000	0.24	0.22	0.24	0.05
	4	1.500	0.000	0.000	0.45	0.45	0.39	0.03
	5	2.000	0.000	0.000	0.60	0.60	0.54	0.03
	6	2.500	0.000	0.000	0.70	0.70	0.64	0.03
	7	3.000	0.000	0.000	0.80	0.80	0.74	0.03
	8	3.500	0.000	0.000	0.82	0.82	0.76	0.03
	9	4.000	0.000	0.000	0.72	0.72	0.66	0.03
	10	4.500	0.000	0.000	0.59	0.59	0.52	0.04
	11	5.000	0.000	0.000	0.39	0.39	0.33	0.03
	12	5.500	0.000	0.000	0.16	0.16	0.08	0.04
	13	6.000	0.000	0.000	0.26	0.17	0.26	0.05
	14	6.500	0.000	0.000	0.69	0.69	0.67	0.01
	15	7.000	0.000	0.000	1.75	1.59	1.66	0.40

Plochy - srovnávací napětí - Tresca | Plochy - srovnávací napětí - Rankine | Plochy - srovnávací napětí - Bach

Obrázek 8.57 Tabulka 4.24 *Plochy - srovnávací napětí - Rankine*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.22 *Plochy - srovnávací napětí - von Mises*.

Hypotéza srovnávacího napětí podle Rankina je označována také jako „hypotéza normálového napětí“. Vychází se přitom z předpokladu, že největší hlavní napětí vede k selhání.

Srovnávací napětí podle Rankina se počítají pomocí následujících rovnic:

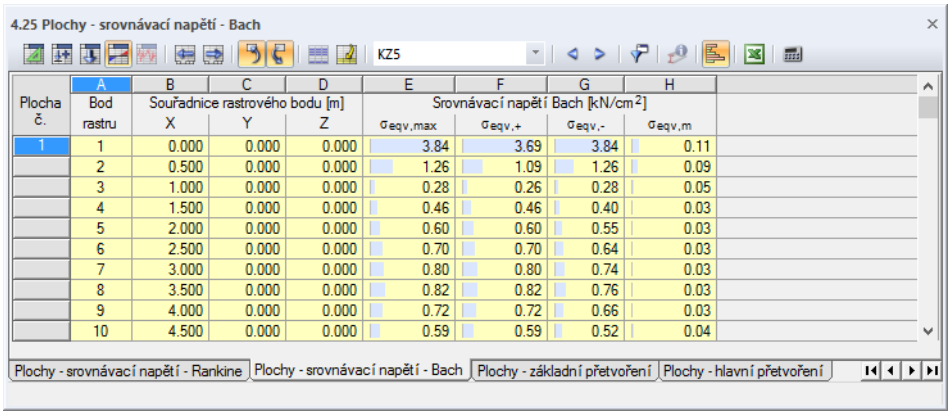
$\sigma_{eqv,max}$	Maximální srovnávací napětí na kladné a záporné straně plochy
$\sigma_{eqv,+}$	Největší absolutní hodnota srovnávacího napětí na kladné straně plochy $$\sigma_{eqv,+} = \frac{1}{2}\lvert\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}\rvert + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}$$
$\sigma_{eqv,-}$	Největší absolutní hodnota srovnávacího napětí na záporné straně plochy $$\sigma_{eqv,-} = \frac{1}{2}\lvert\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}\rvert + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2}$$
$\sigma_{eqv,m}$	Největší absolutní hodnota membránového srovnávacího napětí $$\sigma_{eqv,m} = \frac{1}{2}\lvert\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}\rvert + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2}$$

Tabulka 8.17 Srovnávací napětí podle Rankina

8.25

Plochy - srovnávací napětí - Bach

Grafické zobrazení srovnávacích napětí se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Napětí** (viz obr. 8.54). Číselné hodnoty srovnávacích napětí ploch podle Rankina se zobrazí v tabulce 4.25.



Obrázek 8.58 Tabulka 4.25 *Plochy - srovnávací napětí - Bach*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.22 *Plochy - srovnávací napětí - von Mises*.

Hypotéza hlavní deformace neboli srovnávací napětí podle „Bacha“ vychází z předpokladu, že selhání nastává ve směru největší deformace. Postup se podobá výpočtu napětí podle popisu v kapitole 8.24 . Místo hlavního napětí se tu používá hlavní deformace.

Srovnávací napětí podle Bacha se počítají následovně:

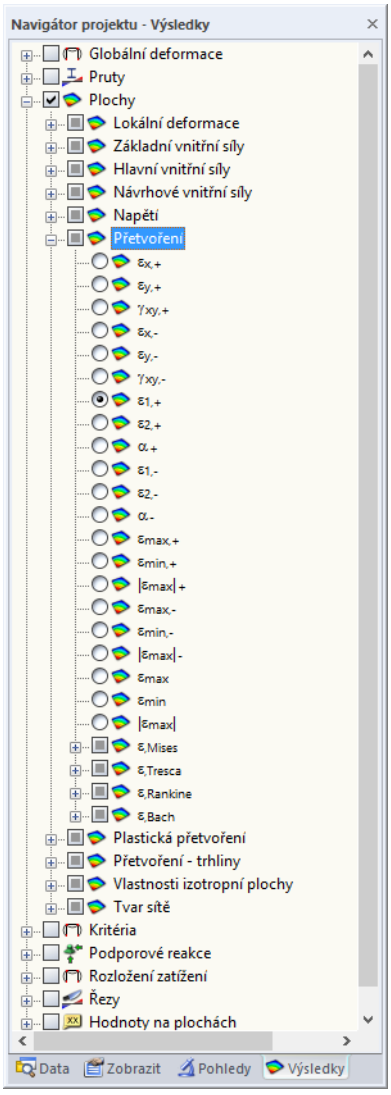
$\sigma_{eqv,max}$	Maximální srovnávací napětí na kladné a záporné straně plochy
$\sigma_{eqv,+}$	Největší absolutní hodnota srovnávacího napětí na kladné straně plochy $\sigma_{eqv,+} = \max[\frac{1-\nu}{2}\lvert\sigma_{x,+}+\sigma_{y,+}\rvert+\frac{1+\nu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+}-\sigma_{y,+})^2+4\tau_{xy,+}^2}]; \nu\lvert\sigma_{x,+}+\sigma_{y,+}\rvert$ kde ν: Poissonův součinitel (viz kapitola 4.3)
$\sigma_{eqv,-}$	Největší absolutní hodnota srovnávacího napětí na záporné straně plochy $\sigma_{eqv,-} = \max[\frac{1-\nu}{2}\lvert\sigma_{x,-}+\sigma_{y,-}\rvert+\frac{1+\nu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-}-\sigma_{y,-})^2+4\tau_{xy,-}^2}]; \nu\lvert\sigma_{x,-}+\sigma_{y,-}\rvert$
$\sigma_{eqv,m}$	Největší absolutní hodnota membránového srovnávacího napětí $\sigma_{eqv,m} = \max[\frac{1-\nu}{2}\lvert\sigma_{x,m}+\sigma_{y,m}\rvert+\frac{1+\nu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m}-\sigma_{y,m})^2+4\tau_{xy,m}^2}]; \nu\lvert\sigma_{x,m}+\sigma_{y,m}\rvert$

Tabulka 8.18 Srovnávací napětí podle Bacha

8.26

Plochy - základní přetvoření

Položka **Plochy → Přetvoření** v navigátoru *Výsledky* řídí grafické zobrazení poměrných přetvoření ploch. Číselné hodnoty základních přetvoření ploch lze prohlížet v tabulce 4.26.



Obrázek 8.59 Navigátor *Výsledky*: Plochy → Přetvoření

4.26 Plochy - základní přetvoření

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Základní přetvoření [-] εx,+	εy,+	γxy,+	εx,-	εy,-	γxy,-
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.00070	-0.00030	-0.00117	0.00076	0.00027	0.00120
	2	0.500	0.000	0.000	-0.00032	0.00004	-0.00014	0.00036	-0.00002	0.00019
	3	1.000	0.000	0.000	0.00002	-0.00001	0.00015	0.00001	0.00000	-0.00015
	4	1.500	0.000	0.000	0.00011	-0.00002	0.00012	-0.00009	0.00001	-0.00012
	5	2.000	0.000	0.000	0.00017	-0.00003	0.00010	-0.00015	0.00002	-0.00010
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	-0.00004	0.00006	-0.00019	0.00003	-0.00006
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00004	0.00005	-0.00022	0.00004	-0.00005
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	0.00002	-0.00023	0.00005	-0.00002
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	0.00002	-0.00020	0.00004	-0.00002
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00001	-0.00016	0.00003	-0.00001
	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	-0.00000	-0.00010	0.00002	0.00000
	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00001	-0.00001	-0.00002	0.00000	0.00001
	13	6.000	0.000	0.000	-0.00005	0.00001	-0.00002	0.00008	-0.00002	0.00001
	14	6.500	0.000	0.000	-0.00021	0.00004	0.00000	0.00020	-0.00004	-0.00000
	15	7.000	0.000	0.000	-0.00039	0.00007	0.00036	0.00023	0.00014	-0.00062

Plochy - srovnávací napětí - Rankine | Plochy - srovnávací napětí - Bach | Plochy - základní přetvoření | Plochy - hlavní přetvoření

Obrázek 8.60 Tabulka 4.26 *Plochy - základní přetvoření*

Přetvoření se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazená podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

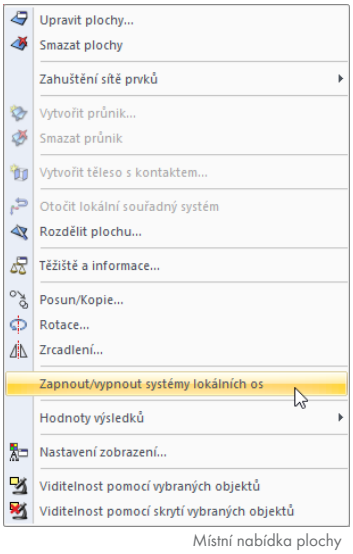
Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Základní přetvoření

Přetvoření jsou vztažena ke směru lokálních os plochy. U zakřivených ploch se vztahují k osám konečných prvků (viz obr. 8.41).

V tabulce níže uvádíme seznam základních přetvoření:



Místní nabídka plochy

$\varepsilon_{x,+}$	Přetvoření ve směru lokální osy x na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{x,+} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{d}{2}\frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$ kde *d*: tloušťka plochy
$\varepsilon_{y,+}$	Přetvoření ve směru lokální osy y na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{y,+} = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{d}{2}\left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}\right)$

$\gamma_{xy,+}$	Poměrné pootočení na kladné straně plochy $\gamma_{xy,+} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{d}{2}\left(\frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x}\right)$
$\varepsilon_{x,-}$	Přetvoření ve směru osy x na záporné straně plochy $\varepsilon_{x,-} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{d}{2}\frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$
$\varepsilon_{y,-}$	Přetvoření ve směru osy y na záporné straně plochy $\varepsilon_{y,-} = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{d}{2}(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y})$
$\gamma_{xy,-}$	Poměrné pootočení na záporné straně plochy $\gamma_{xy,-} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{d}{2}\left(\frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x}\right)$

Tabulka 8.19 Základní přetvoření

8.27 Plochy - hlavní přetvoření

Grafické zobrazení přetvoření ploch se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy** ⟶ **Přetvoření** (viz obr. 8.59). Číselné hodnoty hlavních přetvoření ploch lze prohlížet v tabulce 4.27.

4.27 Plochy - hlavní přetvoření

KZ5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Hlavní přetvoření [-] ε1,+	ε2,+	α+ [°]	ε1,-	ε2,-	α- [°]
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00112	-54.39	0.00116	-0.00014	33.78
	2	0.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00033	-79.19	0.00038	-0.00004	13.10
	3	1.000	0.000	0.000	0.00008	-0.00007	40.31	0.00008	-0.00007	-43.53
	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00004	22.03	0.00004	-0.00012	-64.95
	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	13.87	0.00004	-0.00017	-74.56
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	-0.00004	7.28	0.00004	-0.00019	-81.95
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00005	5.23	0.00004	-0.00022	-84.24
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	1.51	0.00005	-0.00023	-88.43
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	1.93	0.00004	-0.00020	-87.88
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	1.19	0.00003	-0.00016	-87.85
	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	-0.51	0.00002	-0.00010	89.49
	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00001	-5.53	0.00001	-0.00002	80.78
	13	6.000	0.000	0.000	0.00001	-0.00005	-81.85	0.00008	-0.00002	4.15
	14	6.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00021	89.86	0.00020	-0.00004	-0.29
	15	7.000	0.000	0.000	0.00017	-0.00050	64.85	0.00051	-0.00014	-40.03

Plochy - srovnávací napětí - Bach | Plochy - základní přetvoření | Plochy - hlavní přetvoření | Plochy - maximální přetvoření

Obrázek 8.61 Tabulka 4.27 *Plochy - hlavní přetvoření*

Hlavní přetvoření se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazená podle bodů rastru.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.26 *Plochy - základní přetvoření*.

Hlavní přetvoření

Základní přetvoření, která jsou popsána v kapitole 8.26, se vztahují k souřadnému systému ploch xyz. Hlavní poměrná přetvoření oproti tomu představují extrémní hodnoty přetvoření v každém plošném prvku, přičemž hlavní osy *1* (maximální hodnota) a 2 (minimální hodnota) jsou na sebe kolmé.

V grafickém okně lze směry hlavních os zobrazit jako trajektorie (viz obr. 8.45 pro hlavní vnitřní síly).

V tabulce níže uvádíme seznam hlavních přetvoření:

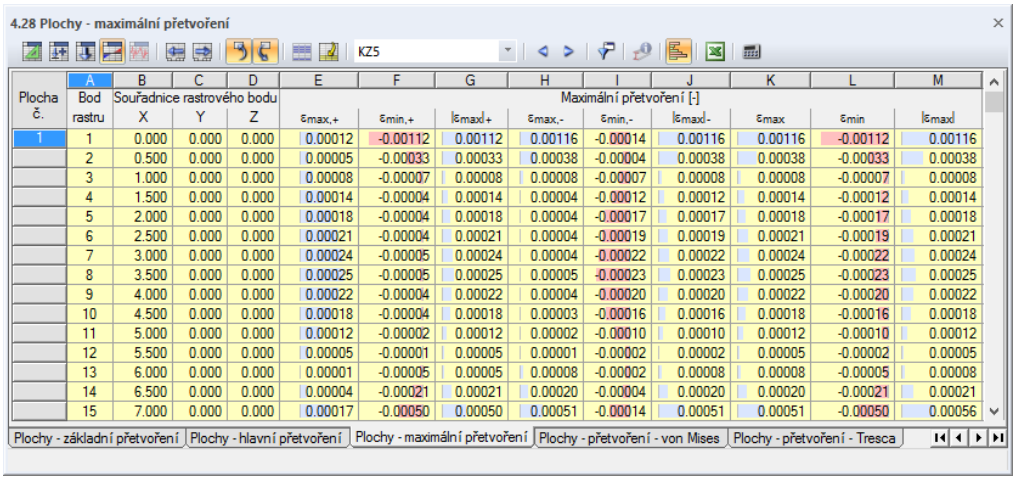
$\varepsilon_{1,+}$	Přetvoření ve směru hlavní osy 1 na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{1,+} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} + \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}\right)$
$\varepsilon_{2,+}$	Přetvoření ve směru hlavní osy 2 na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{2,+} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} - \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}\right)$
α_+	Úhel mezi lokální osou x (resp. y) a hlavní osou 1 (resp. 2) pro přetvoření na kladné straně plochy $\alpha_+ = \frac{1}{2}\left(\arctan\left(\frac{\gamma_{xy,+}}{\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+}}\right)\right)$
$\varepsilon_{1,-}$	Přetvoření ve směru hlavní osy 1 na záporné straně plochy $\varepsilon_{1,-} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} + \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}\right)$
$\varepsilon_{2,-}$	Přetvoření ve směru hlavní osy 2 na záporné straně plochy $\varepsilon_{2,-} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} - \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}\right)$
α_-	Úhel mezi lokální osou x (resp. y) a hlavní osou 1 (resp. 2) pro napětí na záporné straně plochy $\alpha_- = \frac{1}{2}\left(\arctan\left(\frac{\gamma_{xy,-}}{\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-}}\right)\right)$

Tabulka 8.20 Hlavní přetvoření

8.28

Plochy - maximální přetvoření

Grafické zobrazení extrémních hodnot poměrných přetvoření se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy ⟶ Přetvoření** (viz obr. 8.59). Jejich číselné hodnoty lze prohlížet v tabulce 4.28.



4.28 Plochy - maximální přetvoření

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu X	Y	Z	Maximální přetvoření [-] εmax,+	εmin,+	|εmax|+	εmax,-	εmin,-	|εmax|-	εmax	εmin	|εmax|
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00112	0.00112	0.00116	-0.00014	0.00116	0.00116	-0.00112	0.00116
	2	0.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00033	0.00033	0.00038	-0.00004	0.00038	0.00038	-0.00033	0.00038
	3	1.000	0.000	0.000	0.00008	-0.00007	0.00008	0.00008	-0.00007	0.00008	0.00008	-0.00007	0.00008
	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00004	0.00014	0.00004	-0.00012	0.00012	0.00014	-0.00012	0.00014
	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00004	-0.00017	0.00017	0.00018	-0.00017	0.00018
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	-0.00004	0.00021	0.00004	-0.00019	0.00019	0.00021	-0.00019	0.00021
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00005	0.00024	0.00004	-0.00022	0.00022	0.00024	-0.00022	0.00024
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	0.00025	0.00005	-0.00023	0.00023	0.00025	-0.00023	0.00025
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	0.00022	0.00004	-0.00020	0.00020	0.00022	-0.00020	0.00022
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00003	-0.00016	0.00016	0.00018	-0.00016	0.00018
	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	0.00012	0.00002	-0.00010	0.00010	0.00012	-0.00010	0.00012
	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00001	0.00005	0.00001	-0.00002	0.00002	0.00005	-0.00002	0.00005
	13	6.000	0.000	0.000	0.00001	-0.00005	0.00005	0.00008	-0.00002	0.00008	0.00008	-0.00005	0.00008
	14	6.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00021	0.00021	0.00020	-0.00004	0.00020	0.00020	-0.00021	0.00021
	15	7.000	0.000	0.000	0.00017	-0.00050	0.00050	0.00051	-0.00014	0.00051	0.00051	-0.00050	0.00056

Plochy - základní přetvoření | Plochy - hlavní přetvoření | Plochy - maximální přetvoření | Plochy - přetvoření - von Mises | Plochy - přetvoření - Tresca

Obrázek 8.62 Tabulka 4.28 *Plochy - maximální přetvoření*

Extrémní hodnoty přetvoření se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazené podle bodů rastru.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.26 *Plochy - základní přetvoření*.

Maximální přetvoření

Uvedené hodnoty představují extrémní hodnoty poměrných přetvoření, která se počítají pomocí rovnic z tabulky 8.20.

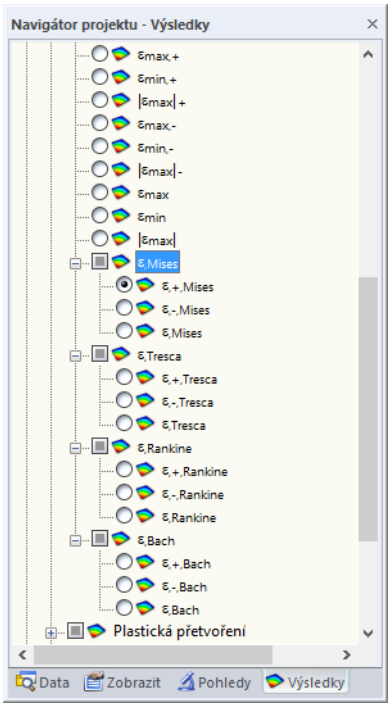
$\varepsilon_{max,+}$	Maximální hodnota přetvoření na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z dané plochy)
$\varepsilon_{min,+}$	Minimální hodnota přetvoření na kladné straně plochy
$\lvert\varepsilon_{max}\rvert_+$	Větší absolutní hodnota z obou extrémních hodnot na kladné straně plochy
$\varepsilon_{max,-}$	Maximální hodnota přetvoření na záporné straně plochy
$\varepsilon_{min,-}$	Minimální hodnota přetvoření na záporné straně plochy
$\lvert\varepsilon_{max}\rvert_-$	Větší absolutní hodnota z obou extrémních hodnot na záporné straně plochy
ε_{max}	Maximální hodnota přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec E a H)
ε_{min}	Minimální hodnota přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec F a I)

$\lvert\varepsilon_{max}\rvert$	Největší absolutní hodnota přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec K a L)

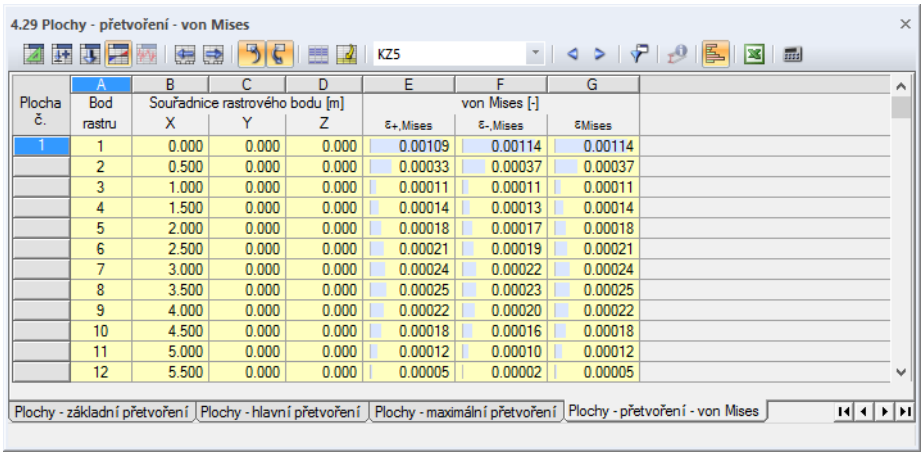
Tabulka 8.21 Maximální přetvoření

8.29 Plochy - přetvoření - von Mises

Grafické zobrazení poměrných přetvoření ploch, při jejichž výpočtu jsme vycházeli z von Misesovy hypotézy srovnávacího napětí, se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Přetvoření**. Číselné hodnoty těchto přetvoření lze prohlížet v tabulce 4.29.



Obrázek 8.63 Srovnávací přetvoření v navigátoru *Výsledky*: Plochy → Přetvoření



Obrázek 8.64 Tabulka 4.29 *Plochy - přetvoření - von Mises*

Srovnávací poměrná přetvoření se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazená podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích B až D jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Přetvoření podle von Misese

V navigátoru *Výsledky* může uživatel vybírat z několika hypotéz pro stav rovinného přetvoření (viz kapitoly 8.22 až 8.25). Hypotéza napětí podle von Misese je známá také jako „hypotéza energie napjatosti pro změnu tvaru". Vychází se z předpokladu, že materiál selže, pokud energie změny tvaru překročí určitou hranici. Energie změny tvaru představuje takovou energii, která vede k přetvoření nebo deformaci tělesa (viz kapitola 8.22).

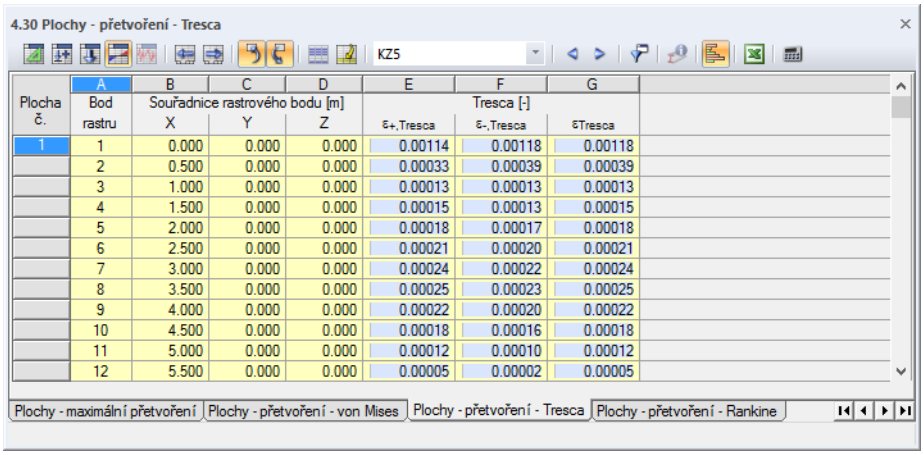
V tabulce níže uvádíme poměrná přetvoření podle von Misese pro stav rovinného přetvoření:

$\varepsilon_{+,Mises}$	Srovnávací přetvoření na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{+} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + (\frac{\varepsilon_{x,+} + \nu\varepsilon_{y,+}}{1-\nu})^2 + (\frac{\nu\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+}}{1-\nu})^2 + \frac{3}{2}\gamma_{xy,+}^2}}{\sqrt{2}(1+\nu)}$
$\varepsilon_{-,Mises}$	Srovnávací poměrné přetvoření na záporné straně plochy $\varepsilon_{-} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + (\frac{\varepsilon_{x,-} + \nu\varepsilon_{y,-}}{1-\nu})^2 + (\frac{\nu\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-}}{1-\nu})^2 + \frac{3}{2}\gamma_{xy,-}^2}}{\sqrt{2}(1+\nu)}$
ε_{Mises}	Největší srovnávací poměrné přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec E a F)

Tabulka 8.22 Přetvoření podle von Misese

8.30 Plochy - přetvoření - Tresca

Grafické zobrazení poměrných přetvoření ploch, při jejichž výpočtu jsme vycházeli z Trescovy hypotézy srovnávacího napětí, se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Přetvoření** (viz obr. 8.63). Číselné hodnoty těchto přetvoření lze prohlížet v tabulce 4.30.



4.30 Plochy - přetvoření - Tresca

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Tresca [-] ε+,Tresca	ε-,Tresca	εTresca
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00114	0.00118	0.00118
	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00039	0.00039
	3	1.000	0.000	0.000	0.00013	0.00013	0.00013
	4	1.500	0.000	0.000	0.00015	0.00013	0.00015
	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00020	0.00021
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	0.00010	0.00012
	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	0.00002	0.00005

Plochy - maximální přetvoření | Plochy - přetvoření - von Mises | Plochy - přetvoření - Tresca | Plochy - přetvoření - Rankine

Obrázek 8.65 Tabulka 4.30 *Plochy - přetvoření - Tresca*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.29 *Plochy - přetvoření - von Mises*.

Hypotéza srovnávacího napětí podle Trescy vychází z předpokladu, že selhání způsobuje maximální smykové napětí (viz kapitola 8.23).

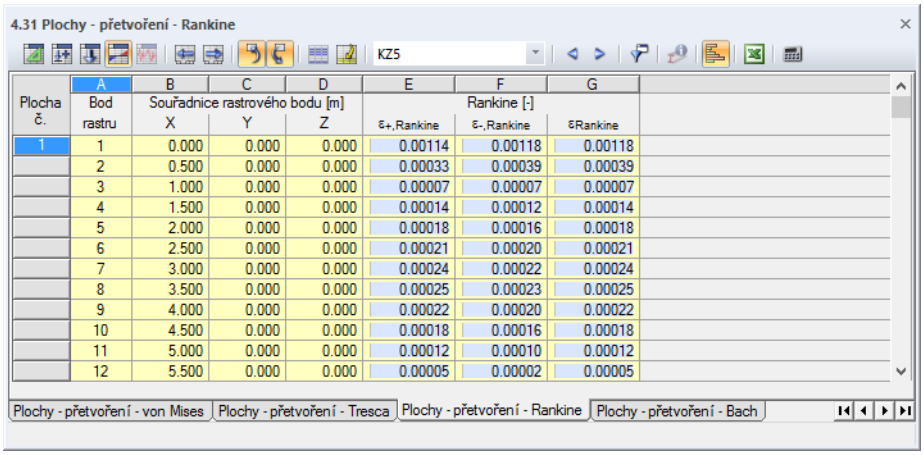
Poměrná přetvoření podle Trescy se počítají následovně:

$\varepsilon_{+,\text{Tresca}}$	Srovnávací přetvoření na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_{+} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1+\nu}$ Zároveň se analyzuje srovnávací přetvoření podle Rankina (viz následující kapitolu 8.31). Pokud je výsledkem výpočtu podle dané hypotézy větší přetvoření, uvede se ve sloupci E tato hodnota.
$\varepsilon_{-,\text{Tresca}}$	Srovnávací poměrné přetvoření na záporné straně plochy $\varepsilon_{-} = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1+\nu}$ Pokud vede hypotéza podle Rankina k většímu přetvoření, uvede se tato hodnota ve sloupci F.
$\varepsilon_{\text{Tresca}}$	Největší srovnávací poměrné přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec E a F)

Tabulka 8.23 Přetvoření podle Trescy

8.31 Plochy - přetvoření - Rankine

Grafické zobrazení poměrných přetvoření ploch, při jejichž výpočtu jsme vycházeli z Rankinovy hypotézy srovnávacího napětí, se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Přetvoření** (viz obr. 8.63). Číselné hodnoty těchto přetvoření lze prohlížet v tabulce 4.31.



4.31 Plochy - přetvoření - Rankine

KZ5

Plocha č.	A Bod rastru	B Souřadnice rastrového bodu [m] X	C Y	D Z	E Rankine [-] ε+,Rankine	F ε-,Rankine	G εRankine
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00114	0.00118	0.00118
	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00039	0.00039
	3	1.000	0.000	0.000	0.00007	0.00007	0.00007
	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	0.00012	0.00014
	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00020	0.00021
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	0.00010	0.00012
	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	0.00002	0.00005

Plochy - přetvoření - von Mises | Plochy - přetvoření - Tresca | Plochy - přetvoření - Rankine | Plochy - přetvoření - Bach

Obrázek 8.66 Tabulka 4.31 *Plochy - přetvoření - Rankine*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.29 *Plochy - přetvoření - von Mises*.

Hypotéza srovnávacího napětí podle Rankina vychází z předpokladu, že největší hlavní napětí vede k selhání (viz kapitola 8.24).

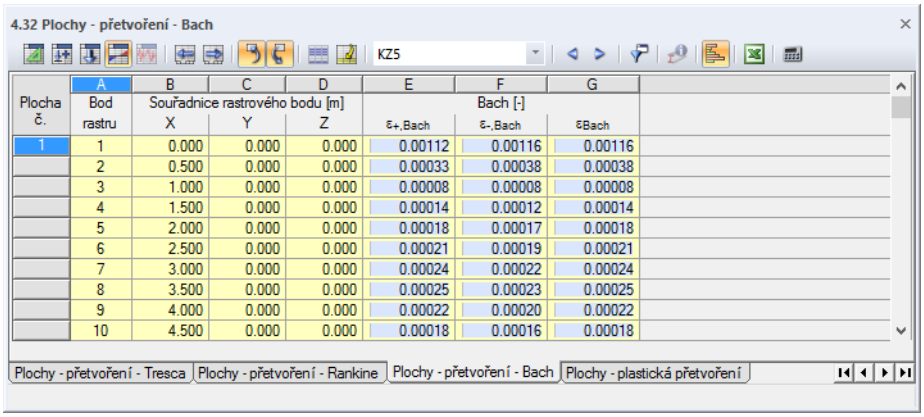
Poměrná přetvoření podle Rankina se počítají následovně:

$\varepsilon_{+,\text{Rankine}}$	Srovnávací přetvoření na kladné straně plochy (tzn. na straně ve směru kladné osy z plochy) $\varepsilon_+ = \frac{1}{2}\left(\frac{\lvert\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+}\rvert}{1-\nu} + \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1+\nu}\right)$
$\varepsilon_{-,\text{Rankine}}$	Srovnávací poměrné přetvoření na záporné straně plochy $\varepsilon_- = \frac{1}{2}\left(\frac{\lvert\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-}\rvert}{1-\nu} + \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1+\nu}\right)$
$\varepsilon_{\text{Rankine}}$	Největší srovnávací poměrné přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec E a F)

Tabulka 8.24 Přetvoření podle Rankina

8.32 Plochy - přetvoření - Bach

Grafické zobrazení poměrných přetvoření ploch, při jejichž výpočtu jsme vycházeli z Bachovy hypotézy srovnávacího napětí, se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Plochy → Přetvoření** (viz obr. 8.63). Číselné hodnoty těchto přetvoření lze prohlížet v tabulce 4.32.



4.32 Plochy - přetvoření - Bach

KZ5

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Bach [-] ε+,Bach	ε-,Bach	εBach
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00112	0.00116	0.00116
	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00038	0.00038
	3	1.000	0.000	0.000	0.00008	0.00008	0.00008
	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	0.00012	0.00014
	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00019	0.00021
	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018

Plochy - přetvoření - Tresca | Plochy - přetvoření - Rankine | Plochy - přetvoření - Bach | Plochy - plastická přetvoření

Obrázek 8.67 Tabulka 4.32 *Plochy - přetvoření - Bach*

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.29 *Plochy - přetvoření - von Mises*.

Hypotéza podle Bacha vychází z předpokladu, že selhání nastává ve směru největší deformace (viz kapitola 8.25).

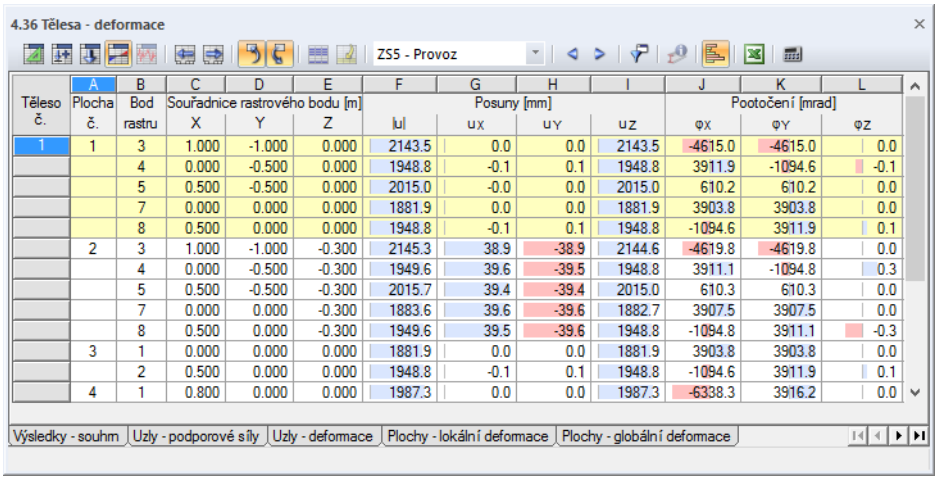
Poměrná přetvoření podle Bacha se počítají následovně:

$\varepsilon_{+,Bach}$	Největší absolutní hodnota hlavního poměrného přetvoření ε_{1+} nebo ε_{2+} na kladné straně plochy (viz kapitola 8.27)
$\varepsilon_{-,Bach}$	Největší absolutní hodnota hlavního poměrného přetvoření ε_{1-} nebo ε_{2-} na záporné straně plochy (tzn. na straně proti směru kladné osy z dané plochy)
ε_{Bach}	Největší srovnávací poměrné přetvoření na kladné nebo záporné straně plochy (sloupec E a F)

Tabulka 8.25 Poměrná přetvoření podle Bacha

8.33 Tělesa - deformace

Grafické zobrazení deformací těles se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce *Deformace* (viz obr. 8.37). V tabulce 4.33 se zobrazí číselné hodnoty deformací hraničních ploch těles.



4.36 Tělesa - deformace

ZS5 - Provoz

Těleso č.	Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Posuny [mm] |u|	uX	uY	uZ	Pootočení [mrad] φX	φY	φZ
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	2143.5	0.0	0.0	2143.5	-4615.0	-4615.0	0.0
		4	0.000	-0.500	0.000	1948.8	-0.1	0.1	1948.8	3911.9	-1094.6	-0.1
		5	0.500	-0.500	0.000	2015.0	-0.0	0.0	2015.0	610.2	610.2	0.0
		7	0.000	0.000	0.000	1881.9	0.0	0.0	1881.9	3903.8	3903.8	0.0
		8	0.500	0.000	0.000	1948.8	-0.1	0.1	1948.8	-1094.6	3911.9	0.1
	2	3	1.000	-1.000	-0.300	2145.3	38.9	-38.9	2144.6	-4619.8	-4619.8	0.0
		4	0.000	-0.500	-0.300	1949.6	39.6	-39.5	1948.8	3911.1	-1094.8	0.3
		5	0.500	-0.500	-0.300	2015.7	39.4	-39.4	2015.0	610.3	610.3	0.0
		7	0.000	0.000	-0.300	1883.6	39.6	-39.6	1882.7	3907.5	3907.5	0.0
		8	0.500	0.000	-0.300	1949.6	39.5	-39.6	1948.8	-1094.8	3911.1	-0.3
	3	1	0.000	0.000	0.000	1881.9	0.0	0.0	1881.9	3903.8	3903.8	0.0
		2	0.500	0.000	0.000	1948.8	-0.1	0.1	1948.8	-1094.6	3911.9	0.1
	4	1	0.800	0.000	0.000	1987.3	0.0	0.0	1987.3	-6338.3	3916.2	0.0

Výsledky - souhrn | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Plochy - lokální deformace | Plochy - globální deformace

Obrázek 8.68 Tabulka 4.33 *Tělesa - deformace*

Hodnoty posunů a pootočení se v seznamu zobrazí pro jednotlivé hraniční plochy seřazené podle bodů rastru. Deformace uvnitř tělesa se nevykazují.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů (viz kapitola 8.13).

Souřadnice rastrového bodu

Ve sloupcích C až E jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Posuny / Pootočení

V tabulce níže uvádíme seznam jednotlivých deformací:

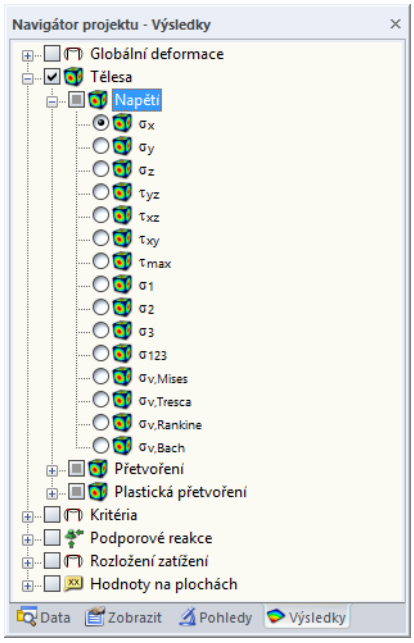
$\|u\|$	Absolutní celkový posun (nezobrazí se v případě kombinací výsledků)
u_X	Posun tělesa ve směru globální osy X
u_Y	Posun tělesa ve směru globální osy Y
u_Z	Posun tělesa ve směru globální osy Z
φ_X	Pootočení tělesa okolo globální osy X
φ_Y	Pootočení tělesa okolo globální osy Y
φ_Z	Pootočení tělesa okolo globální osy Z

Tabulka 8.26 Deformace tělesa

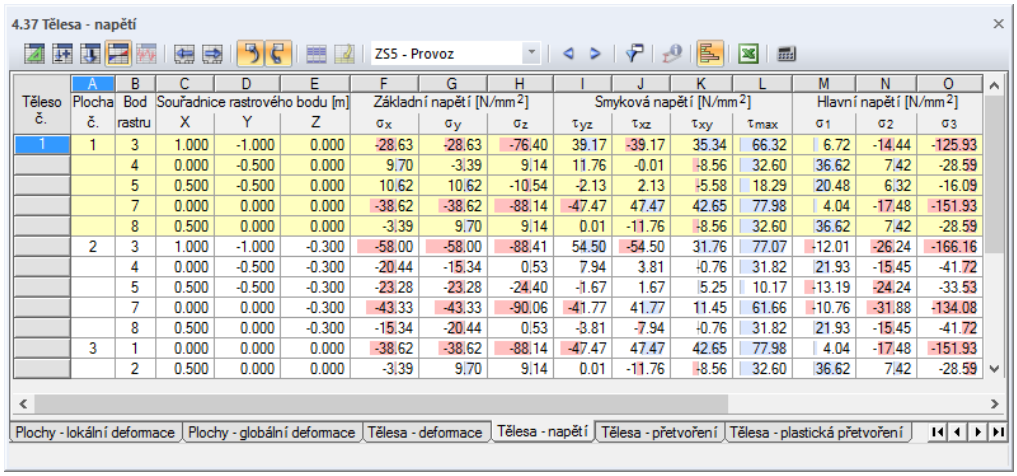
8.34 Tělesa - napětí

Grafické zobrazení napětí na tělesech se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce *Tělesa*. V tabulce 4.34 se zobrazí číselné hodnoty napětí na tělesech.

Výsledné hodnoty v tabulce se vztahují k rastrovým bodům hraničních ploch. Napětí uvnitř těles se tu neuvádějí. Při grafickém zobrazení výsledků na bodech sítě konečných prvků lze ovšem napětí v tělese zjistit — za předpokladu, že v něm byly generovány uzly sítě prvků. V navigátoru *Výsledky* je třeba označit položku **Hodnoty na plochách → Nastavení → V bodech sítě prvků**. Pomocí ořezávací roviny (viz kapitola 9.9.2) si pak můžeme prohlédnout požadované hodnoty.



Obrázek 8.69 Navigátor *Výsledky*: Tělesa → Napětí



Těleso č.	Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Základní napětí [N/mm²] σx	σy	σz	Smyková napětí [N/mm²] τyz	τxz	τxy	τmax	Hlavní napětí [N/mm²] σ1	σ2	σ3
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	-28.63	-28.63	-76.40	39.17	-39.17	35.34	66.32	6.72	-14.44	-125.93
		4	0.000	-0.500	0.000	9.70	-3.39	9.14	11.76	-0.01	-8.56	32.60	36.62	7.42	-28.59
		5	0.500	-0.500	0.000	10.62	10.62	-10.54	-2.13	2.13	-5.58	18.29	20.48	6.32	-16.09
		7	0.000	0.000	0.000	-38.62	-38.62	-88.14	-47.47	47.47	42.65	77.98	4.04	-17.48	-151.93
		8	0.500	0.000	0.000	-3.39	9.70	9.14	0.01	-11.76	-8.56	32.60	36.62	7.42	-28.59
	2	3	1.000	-1.000	-0.300	-58.00	-58.00	-88.41	54.50	-54.50	31.76	77.07	-12.01	-26.24	-166.16
		4	0.000	-0.500	-0.300	-20.44	-15.34	0.53	7.94	3.81	-0.76	31.82	21.93	-15.45	-41.72
		5	0.500	-0.500	-0.300	-23.28	-23.28	-24.40	-1.67	1.67	5.25	10.17	-13.19	-24.24	-33.53
		7	0.000	0.000	-0.300	-43.33	-43.33	-90.06	-41.77	41.77	11.45	61.66	-10.76	-31.88	-134.08
		8	0.500	0.000	-0.300	-15.34	-20.44	0.53	-3.81	-7.94	-0.76	31.82	21.93	-15.45	-41.72
	3	1	0.000	0.000	0.000	-38.62	-38.62	-88.14	-47.47	47.47	42.65	77.98	4.04	-17.48	-151.93
		2	0.500	0.000	0.000	-3.39	9.70	9.14	0.01	-11.76	-8.56	32.60	36.62	7.42	-28.59

Obrázek 8.70 Tabulka 4.34 *Tělesa - napětí*

Napětí na tělesech se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy seřazená podle bodů rastru.

Bod rastru

V tomto sloupci se pro každou plochu zobrazí čísla rastrových bodů. Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Souřadnice rastrového bodu

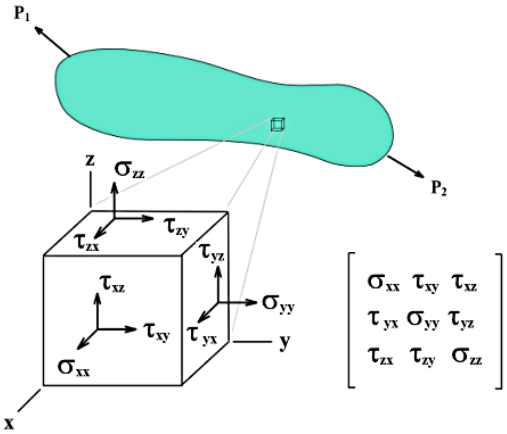
Ve sloupcích C až E jsou v tabulce uvedeny souřadnice rastrových bodů v globálním souřadném systému XYZ.

Základní napětí / Smyková napětí / Hlavní napětí

Napětí na tělesech nelze vyjádřit jednoduchými rovnicemi jako napětí na plochách. *Základní napětí* σ_x, σ_y a σ_z a dále *smyková napětí* τ_{xy}, τ_{yz} a τ_{xz} spočítá přímo výpočetní jádro programu.

Pokud z prostorově zatíženého tělesa vyřízneme kostku s hranami o délce d_x, d_y a d_z, pak lze napětí v

každé ploše kostky rozložit na normálová a smyková napětí. Při zanedbání prostorové síly a rozdílů v napětí na rovnoběžných plochách lze napětí v lokálním souřadném systému kostky popsat devíti složkami napětí.



Obrázek 8.71 Těleso s jednotlivými složkami napětí

Matice tenzoru napětí je následující:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Rovnice 8.7

Z vlastních čísel tenzoru se vypočítají *hlavní napětí* σ_1, σ_2 a σ_3 podle následujícího vzorce:

Hlavní napětí

$$\det(S - \sigma E) = 0$$

Rovnice 8.8

kdy

E : 3x3 jednotková matice

Maximální *smykové napětí* τ_{max} se určí pomocí Mohrovy kružnice napětí.

Maximální smykové napětí:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

Rovnice 8.9

Pomocí položky navigátoru σ_{123} lze graficky zobrazit trajektorie hlavních napětí.

Srovnávací napětí

Srovnávací napětí σ_v podle von Misese lze vyjádřit dvěma ekvivalentními vzorci:

Srovnávací napětí z hlavních napětí podle von Misese :

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2\right]}$$

Rovnice 8.10

Srovnávací napětí ze základních napětí podle von Misese:

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Rovnice 8.11

Při výpočtu *srovnávacího napětí* σ_v podle Trescy se vyšetří rozdíly hlavních napětí a z nich se určí maximální hodnota.

Výpočet srovnávacího napětí podle Trescy:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|)$$

Rovnice 8.12

Srovnávací napětí σ_v podle Rankina se stanoví na základě největších absolutních hodnot hlavních napětí.

Výpočet srovnávacího napětí podle Rankina:

$$\sigma_{eqv} = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

Rovnice 8.13

Při výpočtu *srovnávacího napětí* σ_v podle Bacha se vyšetří rozdíly hlavních napětí, přičemž se zohlední Poissonovo číslo ν. Z nich se pak určí maximální hodnota.

Výpočet srovnávacího napětí podle Bacha:

$$\sigma_{eqv} = \max[|\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)|, |\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)|, |\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)|]$$

Rovnice 8.14

8.35 Tělesa - přetvoření

Obecně je tenzor pro prostorový stav přetvoření dán následovně:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

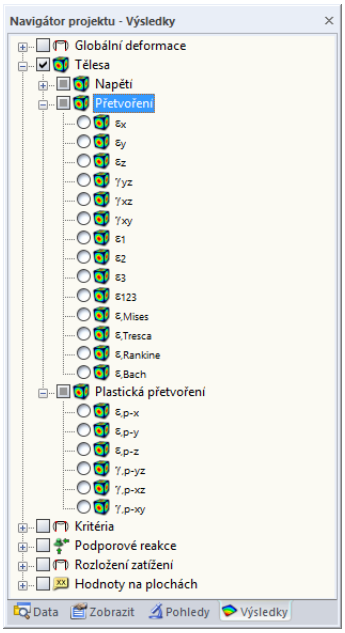
Rovnice 8.15

Jednotlivé prvky tenzoru lze pak určit z následujícího vztahu:

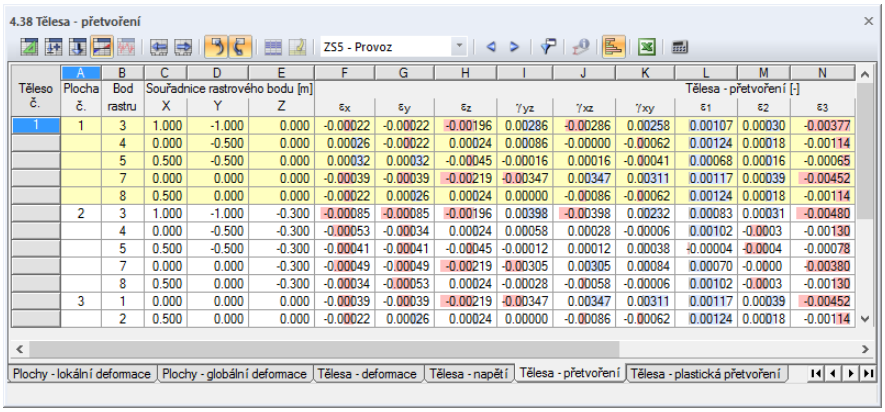
$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$$

Rovnice 8.16

Grafické zobrazení poměrných přetvoření těles se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Tělesa → Přetvoření**. Číselné hodnoty těchto přetvoření lze prohlížet v tabulce 4.35.



Obrázek 8.72 Navigátor *Výsledky*: Tělesa → Přetvoření



Těleso č.	Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m] X	Y	Z	Tělesa - přetvoření [-] εx	εy	εz	γyz	γxz	γxy	ε1	ε2	ε3
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	-0.00022	-0.00022	-0.00196	0.00286	-0.00286	0.00258	0.00107	0.00030	-0.00377
		4	0.000	-0.500	0.000	0.00026	-0.00022	0.00024	0.00086	-0.00000	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114
		5	0.500	-0.500	0.000	0.00032	0.00032	-0.00045	-0.00016	0.00016	-0.00041	0.00068	0.00016	-0.00065
		7	0.000	0.000	0.000	-0.00039	-0.00039	-0.00219	-0.00347	0.00347	0.00311	0.00117	0.00039	-0.00452
		8	0.500	0.000	0.000	-0.00022	0.00026	0.00024	0.00000	-0.00086	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114
	2	3	1.000	-1.000	-0.300	-0.00085	-0.00085	-0.00196	0.00398	-0.00398	0.00232	0.00083	0.00031	-0.00480
		4	0.000	-0.500	-0.300	-0.00053	-0.00034	0.00024	0.00058	0.00028	-0.00006	0.00102	-0.0003	-0.00130
		5	0.500	-0.500	-0.300	-0.00041	-0.00041	-0.00045	-0.00012	0.00012	0.00038	-0.00004	-0.0004	-0.00078
		7	0.000	0.000	-0.300	-0.00049	-0.00049	-0.00219	-0.00305	0.00305	0.00084	0.00070	-0.0000	-0.00380
		8	0.500	0.000	-0.300	-0.00034	-0.00053	0.00024	-0.00028	-0.00058	-0.00006	0.00102	-0.0003	-0.00130
	3	1	0.000	0.000	0.000	-0.00039	-0.00039	-0.00219	-0.00347	0.00347	0.00311	0.00117	0.00039	-0.00452
		2	0.500	0.000	0.000	-0.00022	0.00026	0.00024	0.00000	-0.00086	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114

Obrázek 8.73 Tabulka 4.35 *Tělesa - přetvoření*

Přetvoření se v seznamu zobrazí pro jednotlivé plochy. Hodnoty se přitom zobrazí v bodech rastru všech ploch, které těleso vymezují.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům předchozí tabulky 4.34 *Tělesa - napětí*.

Tělesa - přetvoření

Poměrná přetvoření spočítá přímo výpočetní jádro z vlastních čísel matice přetvoření. Při analýze podle teorie I. či II. řádu probíhá lineární výpočet, v případě teorie III. řádu se uplatňuje logaritmický výpočet.

Srovnávací přetvoření se stanoví podle čtyř hypotéz pro napětí následovně:

ε_{Mises}	$\varepsilon = \frac{1}{1+\nu}\sqrt{\varepsilon_x^2+\varepsilon_y^2+\varepsilon_z^2-\varepsilon_x\varepsilon_y-\varepsilon_y\varepsilon_z-\varepsilon_z\varepsilon_x+\frac{3}{4}(\gamma_{xy}^2+\gamma_{yz}^2+\gamma_{xz}^2)}$

ε_{Tresca}	Maximum rozdílů vlastních čísel podle matice R (viz rovnice 8.17) $\varepsilon = \max\left(\lvert R_1 - R_2\rvert, \lvert R_2 - R_3\rvert, \lvert R_3 - R_1\rvert\right)$
$\varepsilon_{Rankine}$	Maximum vlastních čísel podle matice R $\varepsilon = \max\left(\lvert R_1\rvert, \lvert R_2\rvert, \lvert R_3\rvert\right)$
ε_{Bach}	Maximum rozdílů vlastních čísel při zohlednění Poissonova součinitele ν podle matice R $\varepsilon = \max\left[\lvert R_1 - \nu(R_2 + R_3)\rvert, \lvert R_2 - \nu(R_3 + R_1)\rvert, \lvert R_3 - \nu(R_1 + R_2)\rvert\right]$

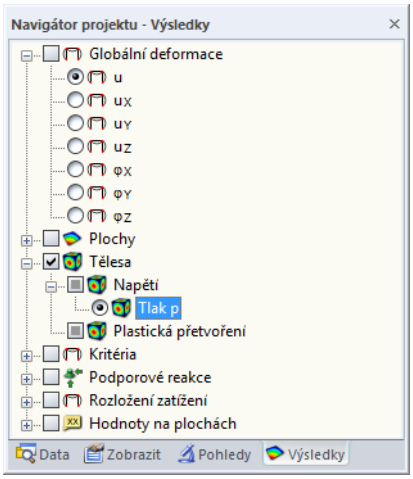
Tabulka 8.27 Srovnávací přetvoření

$$R = \frac{1}{1+\nu}\begin{bmatrix} \frac{(1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)}{1-2\nu} & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{(1-\nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)}{1-2\nu} & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xz}}{2} & \frac{\gamma_{yz}}{2} & \frac{(1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{1-2\nu} \end{bmatrix}$$

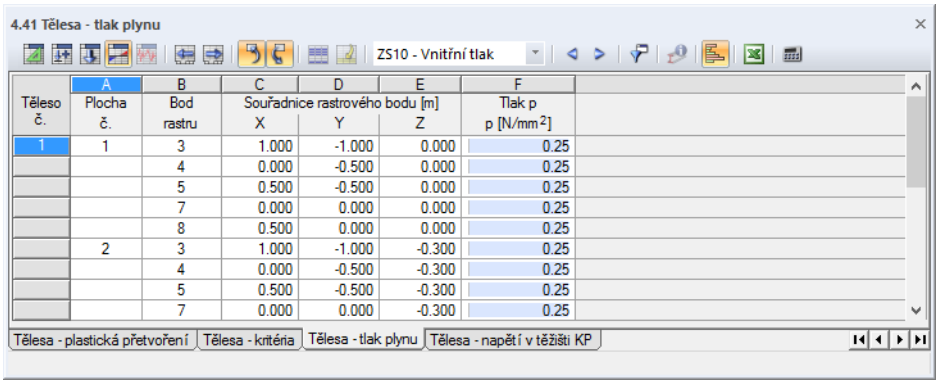
Rovnice 8.17

8.36 Tělesa - tlak plynu

Grafické zobrazení tlaku plynu se nastavuje v navigátoru *Výsledky* v položce **Tělesa** ⟶ **Napětí** ⟶ **Tlak p**. Číselné hodnoty se zobrazí v tabulce 4.36.



Obrázek 8.74 Navigátor *Výsledky*: Tělesa ⟶ Napětí ⟶ Tlak p



Těleso č.	A Plocha č.	B Bod rastru	C Souřadnice rastrového bodu [m] X	D Y	E Z	F Tlak p p [N/mm²]
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	0.25
		4	0.000	-0.500	0.000	0.25
		5	0.500	-0.500	0.000	0.25
		7	0.000	0.000	0.000	0.25
		8	0.500	0.000	0.000	0.25
	2	3	1.000	-1.000	-0.300	0.25
		4	0.000	-0.500	-0.300	0.25
		5	0.500	-0.500	-0.300	0.25
		7	0.000	0.000	-0.300	0.25

Obrázek 8.75 Tabulka 4.36 *Tělesa - tlak plynu*

Hodnoty v tabulce se seřadí podle jednotlivých ploch. Hodnoty se přitom zobrazí v bodech rastru všech ploch, které těleso vymezují.

Sloupce *Bod rastru* a *Souřadnice rastrového bodu* odpovídají prvním dvěma sloupcům tabulky 4.34 *Tělesa - napětí*.

Tlak p

Tlak plynu je specifický typ napětí pro tělesa typu „Plyn“ (viz kapitola 4.5). Vypočítá se na základě stavových veličin objemu V a teploty T podle následující podmínky.

Stavová rovnice pro plyny:

$$p \cdot \frac{V}{T} = \text{const}$$

Rovnice 8.18

kdy T v [K] je vztažena k absolutní nule

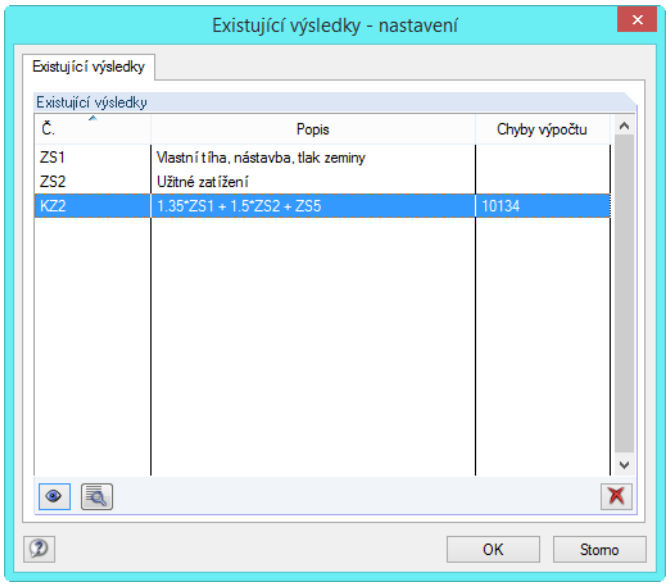
9 Vyhodnocení výsledků

9.1 Existující výsledky

Z hlavní nabídky

Výsledky → Existující výsledky...

lze otevřít dialog, v němž se načte přehled všech spočítaných zatěžovacích stavů a kombinací.



Obrázek 9.1 Dialog *Existující výsledky - nastavení*

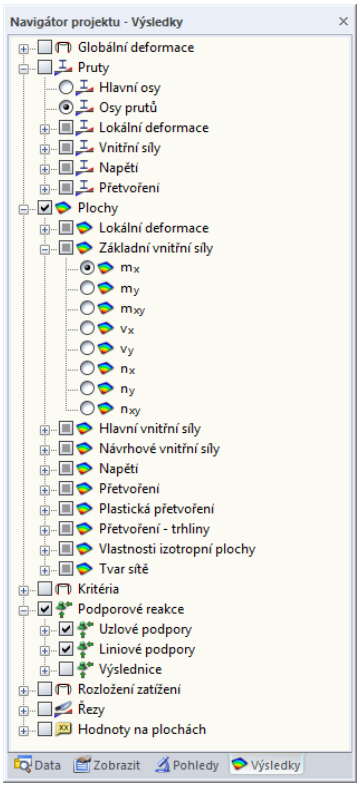
Seznam, který se nám zobrazí, podává informaci o tom, které zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků se spočítaly. Ve sloupci *Chyby výpočtu* se vypíšou příčiny případných přerušení výpočtu. Blíže se s nimi u vybraného zatěžovacího stavu může uživatel seznámit po kliknutí na tlačítko .

U vybrané položky lze graficky zobrazit výsledky pomocí tlačítka nebo dvojím kliknutím na příslušnou položku. Uživatel může výsledky, které nepotřebuje, smazat pomocí tlačítka .

Další možností, jak zobrazit výsledky určitého zatěžovacího stavu, resp. kombinace zatížení či kombinace výsledků, je nastavit příslušný stav v seznamu v panelu nástrojů v horní části obrazovky nebo v panelu nástrojů v okně tabulek s výsledky. Pokud je aktivována synchronizace výběru, grafické zobrazení a tabulky se automaticky aktualizují (viz kapitola 11.5.4).

9.2 Výběr výsledků

V navigátoru *Výsledky* může uživatel nastavit, zda se mají zobrazit deformace, vnitřní síly, napětí, přetvoření nebo reakce, dále lze zobrazit řezy nebo případně také oblasti průměrování.



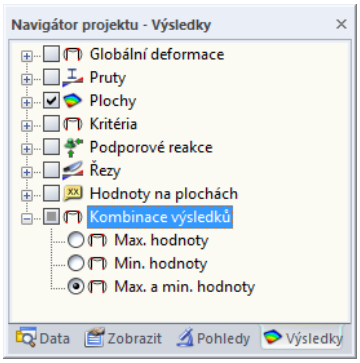
Obrázek 9.2 Navigátor *Výsledky*

Další možností je vybrat výsledky k zobrazení pomocí skupiny tlačítek *Výsledky* v panelu nástrojů.

Obrázek 9.3 Tlačítka *Výsledky* v panelu nástrojů

Tlačítko [Zobrazit výsledky] slouží k vypnutí nebo zapnutí grafického zobrazení výsledků, tlačítko napravo [Zobrazit výsledky s hodnotami] umožňuje zobrazit výsledky v grafickém okně i s číselnými hodnotami.

Při zobrazení výsledků kombinace výsledků (KV) nabízí navigátor další položku *Kombinace výsledků*.

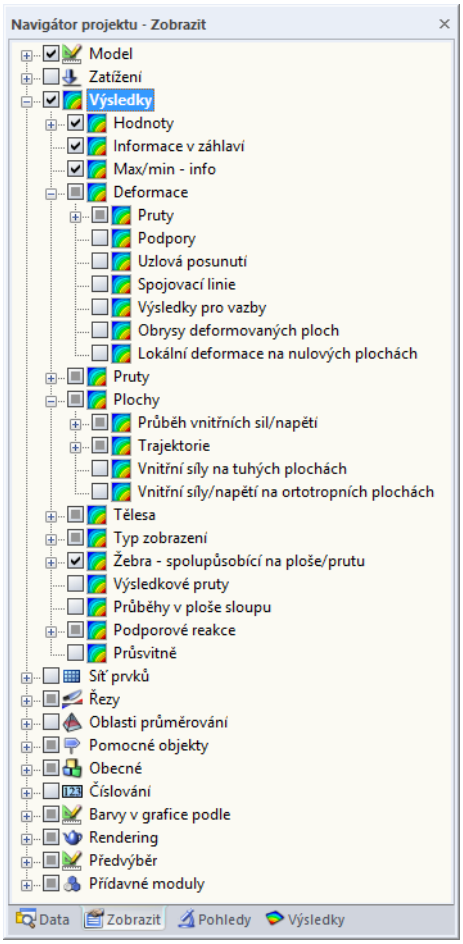


Obrázek 9.4 Navigátor *Výsledky* v případě kombinace výsledků

V případě kombinací výsledků máme tři možnosti pro zobrazení deformací, vnitřních sil a reakcí. Samostatně lze zobrazit *maximální* nebo *minimální hodnoty*. Volba *Max. a min. hodnoty* slouží k zobrazení obou obálek extrémních hodnot na modelu konstrukce zároveň.

9.3 Zobrazení výsledků

Způsob zobrazení výsledků se nastavuje v navigátoru *Zobrazit*.



Obrázek 9.5 Navigátor *Zobrazit*: Výsledky

V navigátoru *Výsledky* se stanoví, **které** výsledky se mají zobrazit. V navigátoru *Zobrazit* určíme, **jakým** způsobem se zobrazí.

9.3.1 Výsledky na prutech

Standardně se vnitřní síly na prutu zobrazí *dvoubarevně*. Kladné vnitřní síly se zobrazí jako modrozelené resp. modré linie, záporné vnitřní síly jako červené. Deformace se zobrazí standardně jako jednobarevné *linie*.

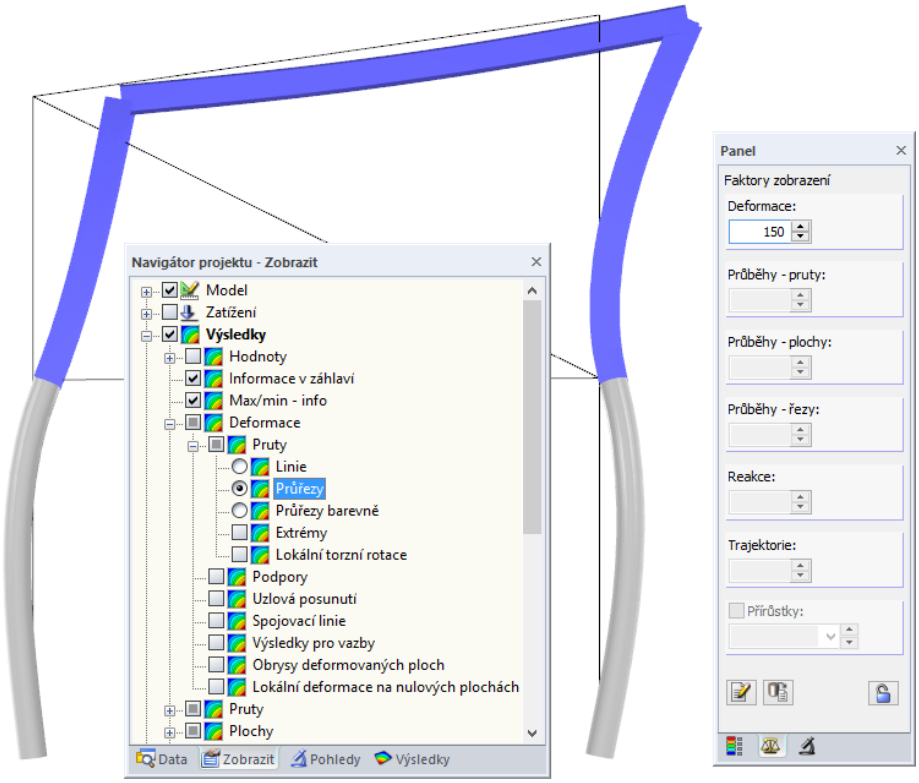
Údaj v poli *Počet dělení prutu pro průběh výsledků* v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Globální parametry výpočtu* (viz obr. 7.27) má vliv na grafické zobrazení výsledků na prutu. Pokud v tomto poli nastavíme číslo 10, vydělí se délka nejdelšího prutu v modelu konstrukce deseti. Na základě výsledné délky se pak určí v každém prutu mezilehlé body, pro které se zobrazí grafický průběh výsledků.

Pokud se mají vnitřní síly prutu zobrazit vícebarevně s *diagramem/bez diagramu*, přiřadí se výsledkům

v grafickém okně barvy podle stupnice barev v řídicím panelu. V kapitole 3.4.6 najdeme návod, jak lze tuto stupnici barev upravovat.

Vnitřní síly lze zobrazit i na *průřezech*. Otevře se fotorealistické zobrazení prutů, průběhy vnitřních sil na renderovaných prutech jsou přitom barevně rozlišeny.

Podobně lze zobrazit i deformace *průřezů* (3D renderování tvaru deformace) buď standardně anebo vícebarevně po zaškrtnutí volby *Průřezy barevně* (barevně rozlišené renderování tvaru deformace).

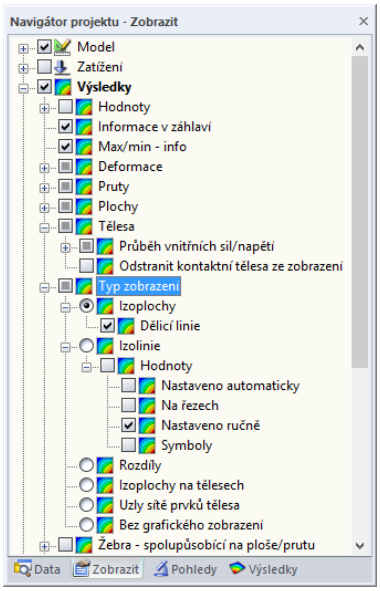


Obrázek 9.6 Nadvýšení deformací prutu při 3D renderování

9.3.2 Výsledky na plochách a tělesech

Výsledky na plochách a na tělesech se standardně zobrazí jako *izoplochy*. Barvy pro grafické rozlišení výsledků se přiřadí podle stupnice barev v řídicím panelu (viz kapitola 3.4.6).

Různé možnosti pro zobrazení výsledků na plochách a tělesech nabízí navigátor *Zobrazit* v položce **Výsledky → Typ zobrazení**.



Obrázek 9.7 Navigátor *Zobrazit*: Výsledky → Typ zobrazení

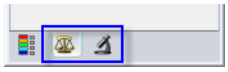
Výsledky ploch a těles lze zobrazit jako *izoplochy* nebo *izolinie*. Druhý z těchto dvou typů zobrazení může být výhodný pro černobílý tisk.

Volba *Bez grafického zobrazení* (bez grafických průběhů výsledků) slouží k pouhému zobrazení výsledných hodnot: izoplochy nebo izolinie se vypnou a uživatel si může nerušeně prohlédnout hodnoty v rastrových bodech nebo bodech sítě konečných prvků. I toto nastavení je vhodné pro tisk.

Možnost *Rozdíly* je k dispozici pouze pro zobrazení napětí. Při tomto typu zobrazení se ukážou případné napěťové rozdíly v konečných prvcích. Pokud v sousedních konečných prvcích existují značné rozdíly v napětí, je třeba zvážit, zda na daných místech nebude provedeno zahuštění sítě prvků.

Stresses in solids

Zobrazení výsledků v *uzlech sítě prvků tělesa* umožňuje vyhodnotit napětí uvnitř tělesa za předpokladu, že síť konečných prvků je dostatečně hustá. Barva uzlů sítě KP se přiřadí podle stupnice zobrazené na ovládacím panelu. Při současném zapnutí *hodnot* v bodech sítě prvků v navigátoru *Výsledky* bude možné přímo vyhodnotit napětí v tělese.

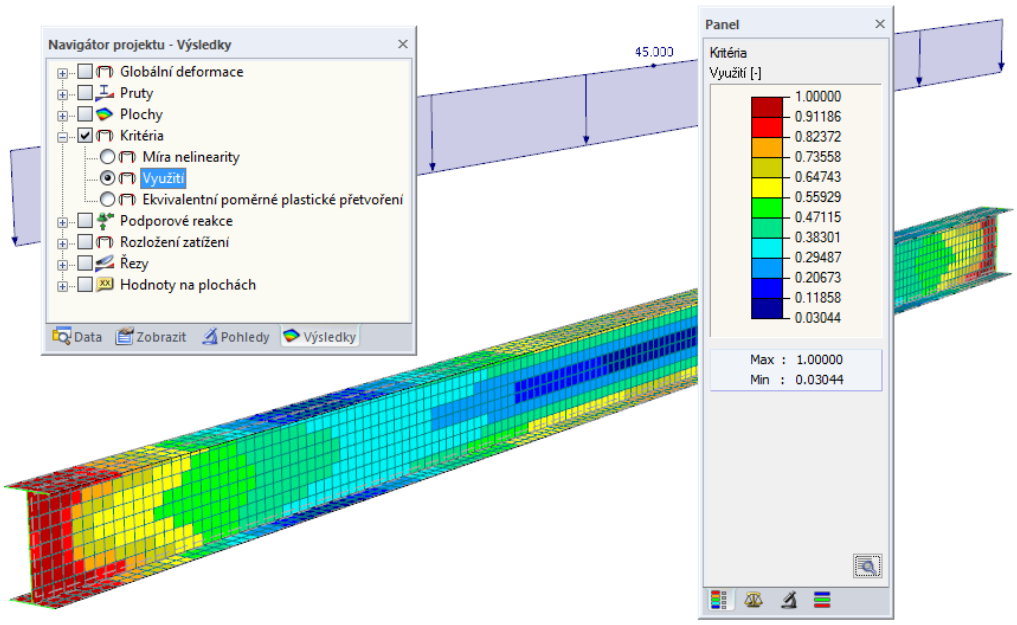


V řídicím panelu v záložce *Faktory zobrazení* (uprostřed) lze stupňovat zobrazené deformace i vnitřní síly. Záložka *Filtr* (vpravo) v tomto panelu slouží k výběru konkrétních prutů, ploch nebo těles, jejichž výsledky se mají zobrazit (viz obr. 9.51). Popis těchto funkcí najdeme v kapitole 3.4.6 .

Kritéria v případě materiálových nelinearit

Pokud jsme vybrali model materiálu s nelineárními vlastnostmi (viz kapitola 4.3), můžeme po výpočtu v grafickém okně zkontrolovat, které oblasti se např. při dosažení meze kluzu zohlední redukovanou tuhostí. Tuto možnost máme ovšem k dispozici pouze v případě, že vlastníme licenci k přídavnému modulu **RF-MAT NL**.

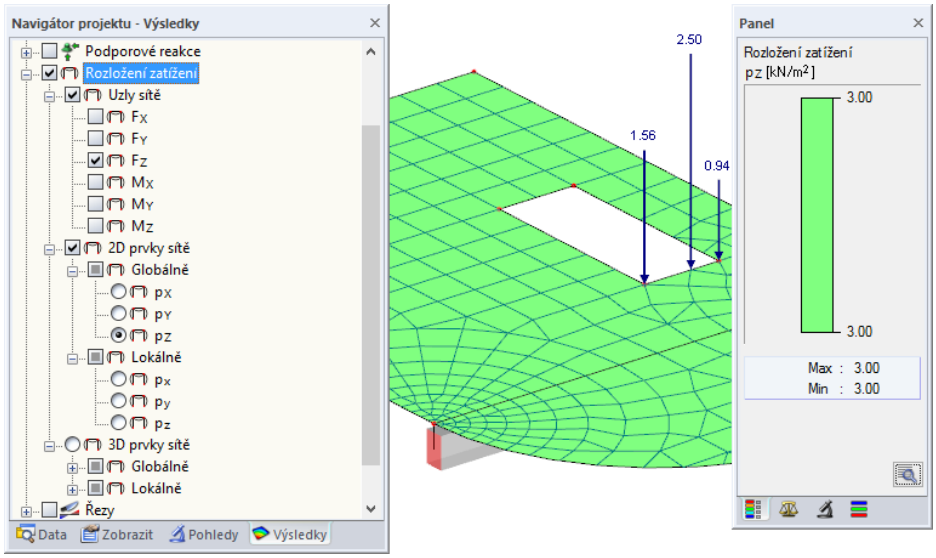
Volba *Míra nelinearity* umožňuje zobrazit podíl Gaussových bodů, které byly při analýze alespoň jednou vyšetřovány nelineárně. Plastické *využití* slouží například ke kontrole plastických kloubů u nosníku.



Obrázek 9.8 Plastické využití oboustranně vetknutého nosníku s plastickými klouby

Rozložení zatížení

Zaškrtávací políčka v položce *Rozložení zatížení* v navigátoru umožňují zobrazit síly a momenty, které připadají z definovaných zatížení na jednotlivé *uzly* nebo *prvky sítě* konečných prvků. Síly v konečných prvcích lze zobrazit ve vztahu ke globálnímu souřadnému systému XYZ nebo k lokálnímu osovému systému plochy xyz.



Obrázek 9.9 Rozložení zatížení v síti prvků v případě liniového zatížení (F_Z) a plošného zatížení (pz)

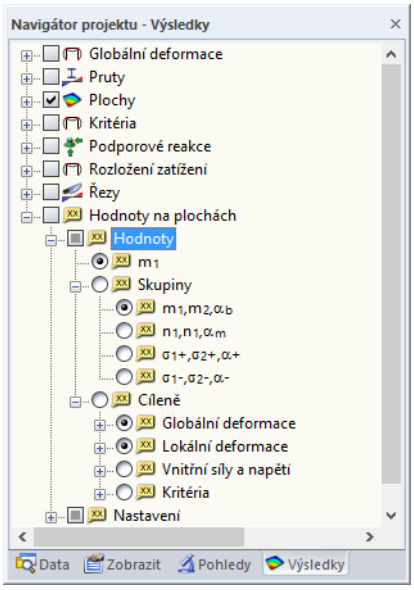
Zatížení sítě prvků umožňuje zkontrolovat zadaná zatížení. Můžeme tak například v případě volných osamělých zatížení ověřit, zda zatížení působí na všechny plochy uvedené v seznamu *Na plochách* (viz obr. 6.33).

9.4 Zobrazení hodnot

Zobrazení hodnot se nastavuje v navigátoru *Výsledky* (viz kapitola 3.4.3).

9.4.1 Výsledné hodnoty

Nastavení v kategorii *Hodnoty* má vliv na zobrazení výsledných číselných hodnot v grafickém okně.



Obrázek 9.10 Navigátor *Výsledky*: Hodnoty na plochách → Hodnoty

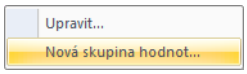
Hodnoty ve výstupní grafice

První volba v položce Hodnoty (viz obrázek výše: *m-1*) odpovídá typu výsledků, které jsou zobrazeny v pracovním okně. Pokud dané políčko označíme, zobrazí se výsledné hodnoty pro aktuálně znázorněné deformace, vnitřní síly nebo napětí.

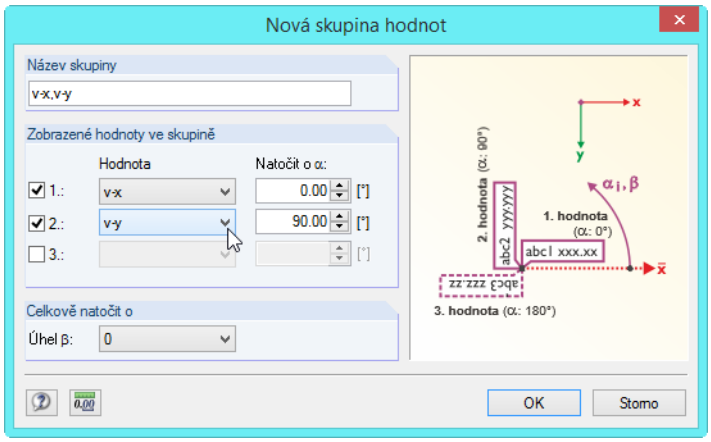
Skupiny hodnot

Pomocí volby *Skupiny* lze v případě výsledků na plochách zobrazit dvě výsledné hodnoty pro každé místo. Čtyři skupiny jsou již přednastaveny. Pokud jsme například vybrali první skupinu (viz následující obrázek), zobrazí se současně hlavní momenty m_1 a m_1. Výsledné hodnoty v rastrových bodech jsou v zobrazení natočeny o úhel α_b.

Obrázek 9.11 Skupina *Hlavní momenty* v grafickém zobrazení

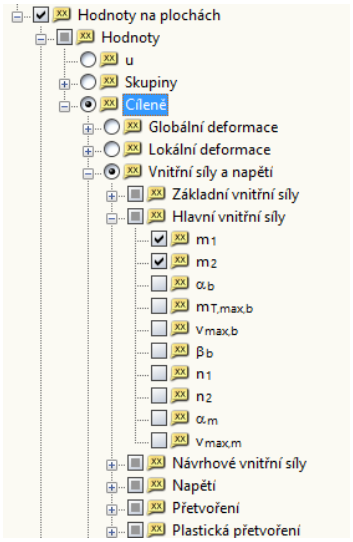


Uživatel může snadno definovat i vlastní skupiny. Pokud klikneme pravým tlačítkem myši na položku *Skupiny* v navigátoru, otevře se vlevo znázorněná místní nabídka. Jestliže vybereme příkaz *Nová skupina hodnot...*, otevře se následující dialog:



Obrázek 9.12 Dialog *Nová skupina hodnot*

Nejdříve uvedeme *název skupiny*, který se později objeví jako položka v navigátoru. V sekci *Zobrazené hodnoty ve skupině* lze ze seznamů *1. hodnota*, *2. hodnota* a *3. hodnota* vybrat typy výsledků. Natočení zobrazených hodnot se nastaví v poli *Natočit o* α.

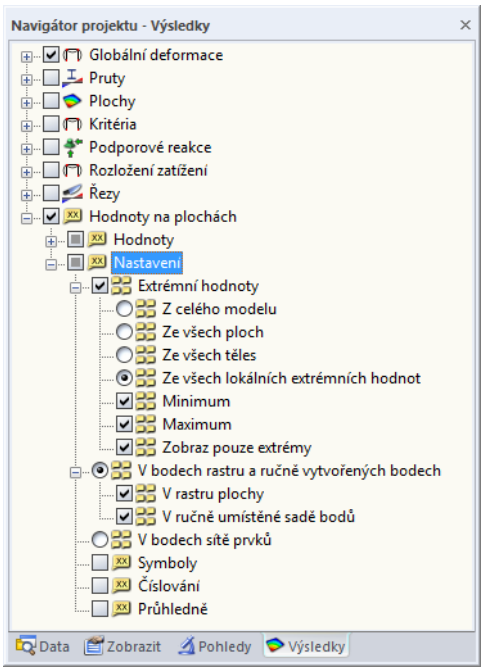


Výsledné hodnoty cíleně

Pomocí přepínače *Cíleně* lze navolit, které výsledné hodnoty (deformace, vnitřní síly, napětí, poměrná přetvoření) se mají zobrazit — nezávisle na typu výsledků aktuálně nastaveného v grafickém zobrazení. Lze tak například zobrazit graficky na pozadí deformace plochy a současně hodnoty hlavních vnitřních sil m_1 a m_2 (viz obrázek vlevo).

9.4.2 Nastavení

Pomocí voleb v položce *Nastavení* v navigátoru lze určit, pro jaká místa a jakým způsobem se zobrazí výsledné hodnoty.



Obrázek 9.13 Navigátor *Výsledky*: Hodnoty na plochách → Nastavení

Extrémní hodnoty

Pokud zaškrtneme možnost *Extrémní hodnoty*, pak se v závislosti na dalším nastavení zobrazí pouze minimální, resp. maximální hodnoty.

Body rastru / body sítě prvků

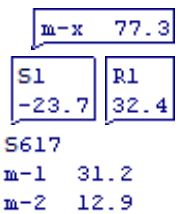
Výsledné hodnoty lze dále zobrazit buď *v bodech rastru a ručně vytvořených bodech* nebo *v bodech sítě prvků*. Zobrazení v bodech sítě prvků volíme s rozvahou: načtení všech výsledků v konečných prvcích v případě rozsáhlejších konstrukcí může být časově náročnější.

Symboly / Číslování / Průhledně

Pomocí třech posledních zaškrtávacích políček v položce *Nastavení* lze vybrat typ a rozsah popisu:

- Po zaškrtnutí volby *Symboly* se hodnoty zobrazí i se symbolem nastaveného typu výsledků (u, m_x, σ_z apod.).
- Po výběru položky *Číslování* se spolu s výsledky zobrazí i čísla **r**astrových bodů, resp. bodů **s**ítě prvků (*R1*, *S1* apod.).
- Po volbě možnosti zobrazení *Průhledně* se hodnoty zobrazí bez rámečku a pozadí.

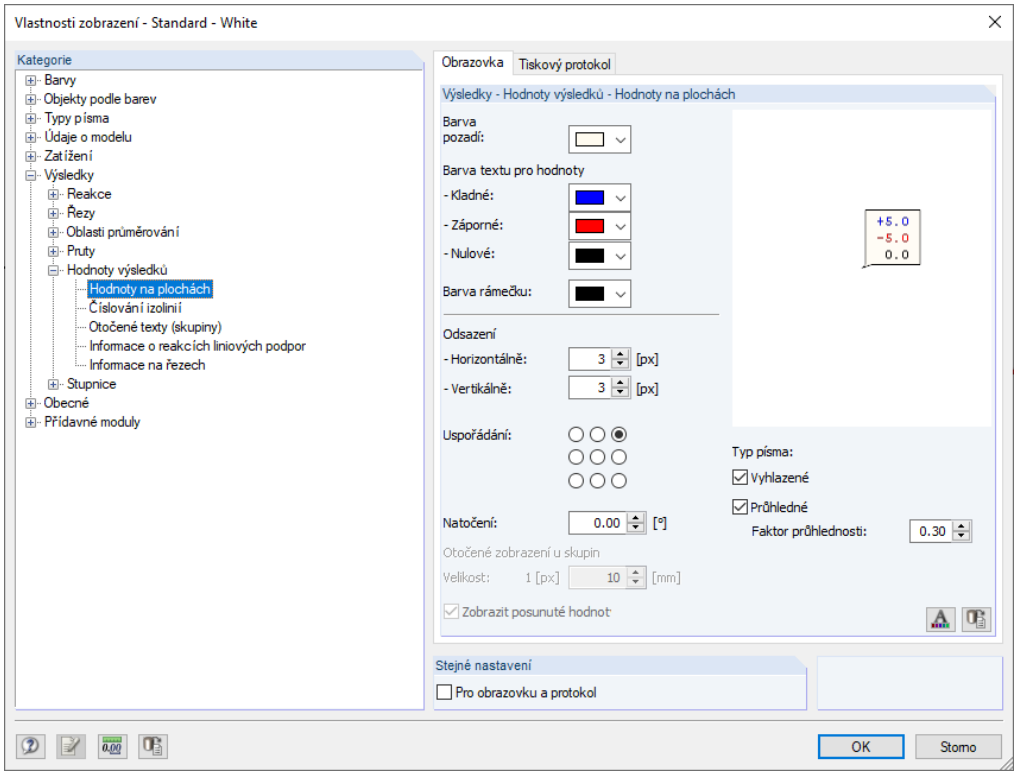
Barvy a typy písma popisků lze upravovat z hlavní nabídky



Nastavení ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Upravit...

Otevře se nám obecný dialog *Vlastnosti zobrazení*, v němž změníme nastavení v kategorii

Výsledky ⟶ Hodnoty výsledků ⟶ Hodnoty na plochách.



Obrázek 9.14 Dialog *Nastavení zobrazení*: Výsledky ⟶ Hodnoty výsledků ⟶ Hodnoty na plochách

9.4.3 Uživatelsky definované výsledné hodnoty

Hodnoty v bodech rastru

Rastrové body jsou vlastností dané plochy. Jejich počet a uspořádání lze proto nastavit v dialogu *Upravit plochu* v záložce *Rastr*. Pro jednotlivé body výsledného rastru plochy se zobrazí hodnoty v tabulkách. V grafickém okně lze zobrazit jak hodnoty v bodech rastru tak hodnoty v bodech sítě konečných prvků.

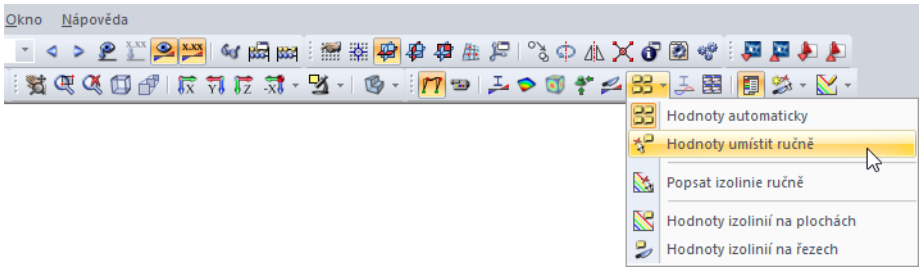
Více informací o rastrových bodech najdeme v kapitole 8.13.

Grafické hodnoty

Výsledné hodnoty můžeme v pracovním okně ustanovit na libovolných místech v modelu konstrukce. Po zobrazení výsledků je daná funkce přístupná z hlavní nabídky

Výsledky ⟶ Hodnoty umístit ručně

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

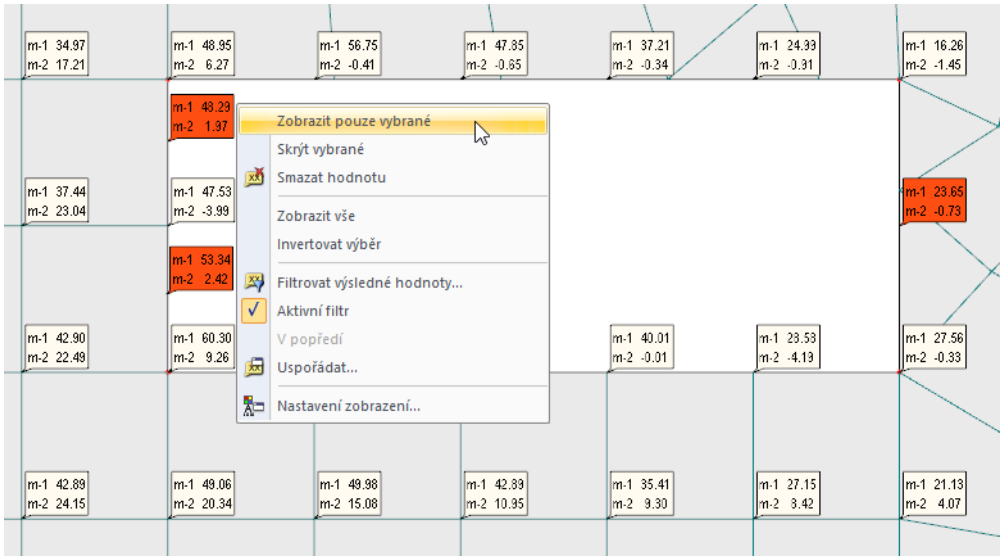


Obrázek 9.15 Funkce *Hodnoty umístit ručně* v panelu nástrojů *Výsledky*

Pokud pohybujeme myší po ploše, zobrazí se výsledné hodnoty vždy v místě, kde se aktuálně nachází kurzor myši. Kliknutím myší pak na ploše na požadovaných místech umístíme výsledné hodnoty.

Ručně umístěné výsledky lze znovu smazat tak, že kliknutím myší vybereme příslušnou hodnotu a stiskneme klávesu [Del]. Několik hodnot najednou lze vybrat jako obvykle oknem nebo pomocí stisknuté klávesy [Ctrl].

Místní nabídka výsledných hodnot nabízí speciální zobrazovací funkce. Tuto nabídku otevřeme tak, že na některou z hodnot klikneme pravým tlačítkem myši. Obsahuje specifické funkce zobrazení a filtrování pro grafické vyhodnocení.

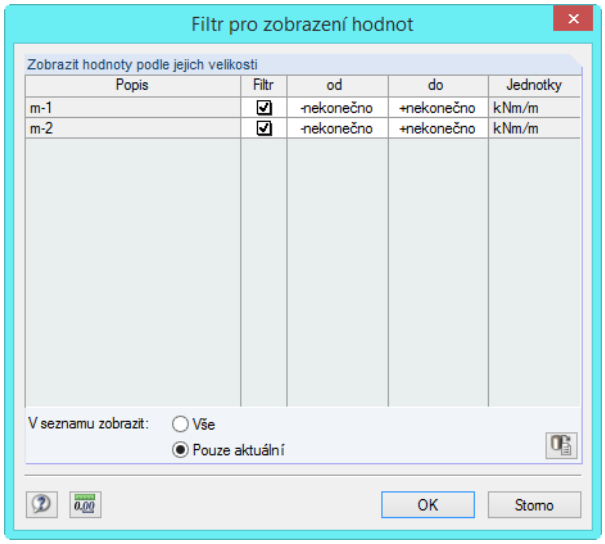


Obrázek 9.16 Místní nabídka *výsledných hodnot*

Místní nabídka obsahuje funkci *Filtrovat výsledné hodnoty...* (viz obrázek výše). Lze tak přesně nastavit, které hodnoty se mají zobrazit. Tato funkce je přístupná také z hlavní nabídky

Výsledky → Nastavení zobrazení

. Otevře se dialog, v němž se zadají kritéria filtrování.



Obrázek 9.17 Dialog *Filtr pro zobrazení hodnot*

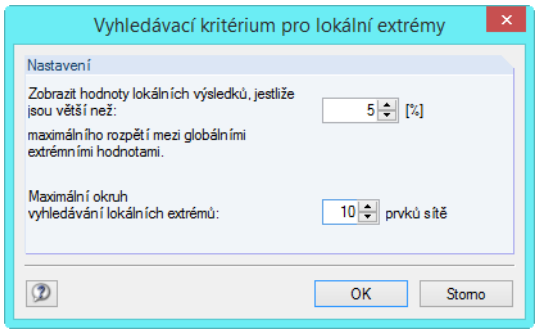
V sekci *Zobrazit hodnoty podle jejich velikosti* lze ve sloupcích *od* a *do* stanovit mezní hodnoty pro zobrazení výsledků. Hodnoty mimo stanovené rozmezí se v grafickém okně nezobrazí.

Vyhledávací kritérium pro lokální extrémy

Zobrazení extrémních hodnot na plochách lze nastavit z hlavní nabídky

Výsledky ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Vyhledávací kritérium pro lokální extrémy

nebo z místní nabídky položky *Ze všech lokálních extrémních hodnot* v navigátoru *Výsledky*.



Obrázek 9.18 Dialog *Vyhledávací kritérium pro lokální extrémy*

V prvním vstupním poli se nastavuje velikost, od níž je výsledná hodnota považována za lokální extrémní hodnotu. Zadanou procentuální hodnotou se vynásobí rozdíl mezi globální maximální a minimální hodnotou všech aktivních ploch. Čím nižší je stanovená mez, tím více lokálních extrémních hodnot se zobrazí.

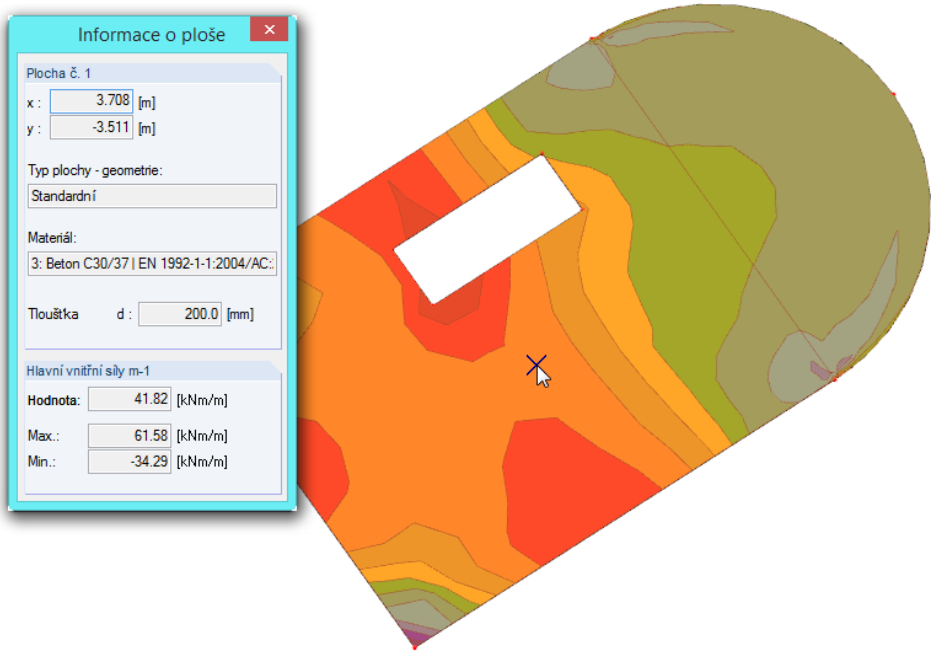
V druhém vstupním poli zadáme počet konečných prvků okolo určitého bodu, v němž se mají vyhledávat lokální extrémy. Čím vyšší je počet prvků, tím více lokálních extrémů se zobrazí.

9.4.4 Informace o objektu

Program dále nabízí speciální funkci pro výsledky na prutech a plochách. Funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

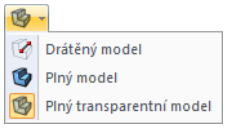
Nástroje ⟶ Informace o objektu...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 9.19 Dialog *Informace o ploše*

Zobrazí se *informační* okno. Pokud posouváme kurzor myši po určité ploše, prutu nebo tělese, zobrazí se v informačním okně kromě údajů o objektu (materiál, tloušťka, průřez apod.) také hodnoty deformací, vnitřních sil nebo napětí v bodě, kde se právě nachází kurzor myši.



Pro vyhodnocení výsledků na plochách bychom měli aktivovat typ zobrazení *Plný transparentní model*.

9.5 Průběhy výsledků

Diagram výsledků umožňuje uživateli prohlédnout si podrobně průběh výsledků u následujících objektů:

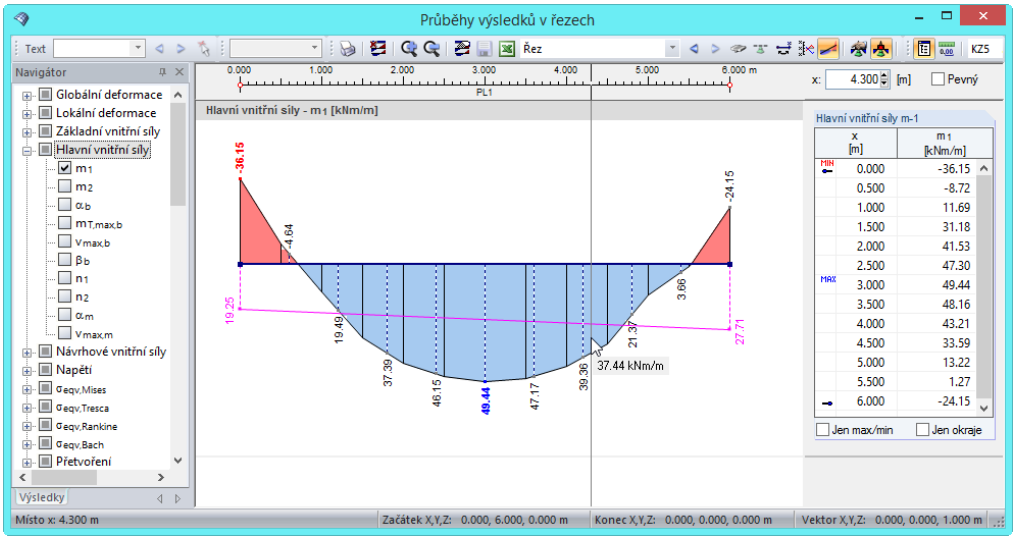
- Řez
- Prut
- Sada prutů
- Linie
- Liniová podpora

Nejdříve v grafickém okně vybereme daný objekt (popř. objekty několikanásobným výběrem se stisknutou klávesou [Ctrl]). Funkci poté vyvoláme z hlavní nabídky

Výsledky → Průběhy výsledků na vybraném řezu / vybraných prutech / sadách prutů / liniích / liniových podporách...

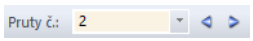
nebo z místní nabídky daného objektu. V případě prutů a sad prutů lze použít i vlevo znázorněné tlačítko v panelu nástrojů.

Otevře se nové okno, v němž jsou zobrazeny průběhy výsledků na vybraném objektu.



Obrázek 9.20 Dialog *Průběhy výsledků v řezech*

V navigátoru *Výsledky* v levé části okna určíme deformace, vnitřní síly, napětí, poměrná přetvoření nebo reakce, jejichž výsledný diagram si chceme prohlédnout. V seznamu v panelu nástrojů lze přepínat mezi jednotlivými zatěžovacími stavy, kombinacemi zatížení a kombinacemi výsledků.



V případě prutů se vlevo nahoře v tomto okně zobrazí v seznamu čísla vybraných prutů. V poli *Pruty č.* lze zadávat čísla prutů i ručně, a výběr tak lze dodatečně rozšířit, zúžit nebo zcela změnit.

Pokud v diagramu výsledků pohybujeme myší podél linie, popř. prutu, zobrazují se nám postupně výsledné hodnoty pro jednotlivá místa x na linii, resp. prutu. O jaké místo na prutu či na linii se jedná, vidíme vpravo nahoře v poli x, kde je uvedena vzdálenost místa od počátku prutu, resp. linie. V tomto poli lze zadat určité místo x i ručně. Pokud zaškrtneme políčko *Pevný*, kurzor myši znehybníme na stanoveném místě.

V pravé části okna se zobrazí číselné výsledné hodnoty. Jedná se o výsledky na okrajových uzlech, místech s extrémními hodnotami a na dělicích bodech. Poslední z nich odpovídají uzlům sítě prvků, resp. rozdělení prutu, které uživatel nastavil v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Globální parametry výpočtu* (viz obr. 7.27). V případě hraničních linií mezi dvěma plochami se zobrazí výsledky ploch na obou stranách.

Uživatelsky definovaná nastavení pro deformace nebo vnitřní síly v navigátoru je možné uložit jako výchozí. V místní nabídce navigátoru je k dispozici příslušná možnost. Ta je popsána v následujícím článku:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001140

K práci s výsledky má uživatel k dispozici skupinu tlačítek *Akce* v panelu nástrojů. Velmi užitečné jsou zvláště možnosti vyhlazení průběhu výsledků v případě reakcí, linií nebo řezů.

Obrázek 9.21 Plovoucí panel nástrojů *Akce*

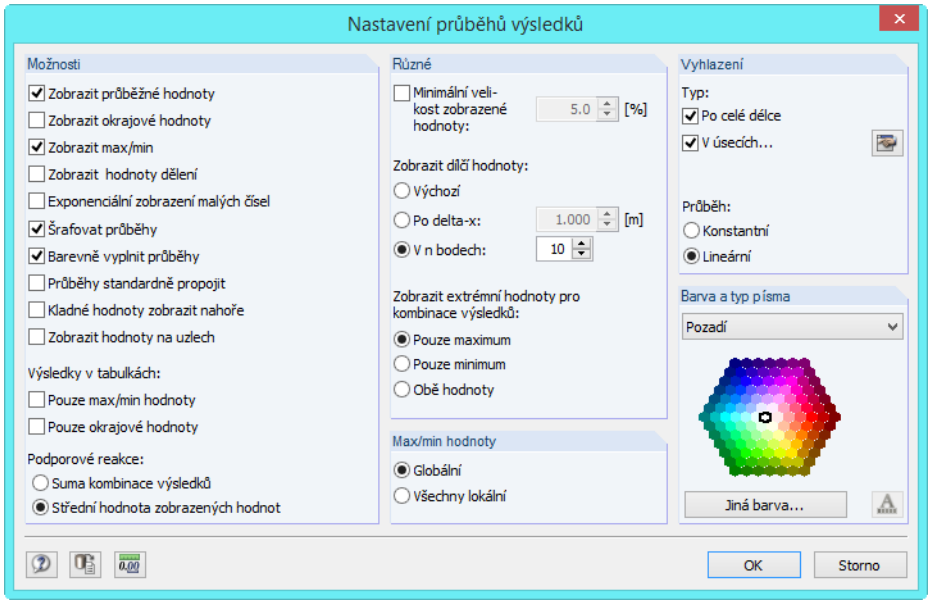
Jednotlivá tlačítka mají následující funkce:

Tlačítko	Funkce
	Průběhy výsledků se vytisknou.

	Všechny zobrazené průběhy výsledků se odstraní.
	Průběhy výsledků se zvětší.
	Průběhy výsledků se zmenší.
	Vyvolají se parametry pro nastavení průběhů výsledků (viz obr. 9.22).
	Vyhlazené průběhy výsledků se uloží.
	Otevře se dialog *Exportovat tabulk* (obr. 11.126).
	Výsledky na prutu se zobrazí s komponentami žeber.
	Zobrazí se průběh výsledků pro oblast podpor.
	Směr prutu x se obrátí.
	Zobrazí se, resp. skryjí svislé osy s maximálními hodnotami.
	Zapne se, resp. vypne zobrazení průměrných hodnot.
	Otevře se dialog pro zadání oblastí vyhlazení (obr. 9.36).
	Zapne se, resp. vypne zobrazení oblastí vyhlazení.

Tabulka 9.1 Tlačítka v panelu nástrojů *Akce*

Tlačítko [Nastavení průběhů výsledků] slouží k vyvolání dialogu, který nabízí různé možnosti pro nastavení *diagramu výsledků*.



Obrázek 9.22 Dialog *Nastavení průběhů výsledků*

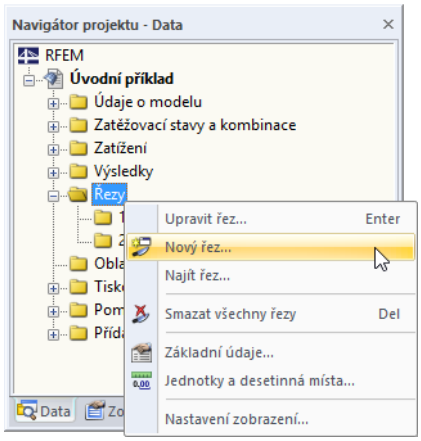
9.6 Řezy

V RFEMu může uživatel vést modelem řezy. Lze tak podrobně vyhodnotit výsledky na průsečnicích roviny řezu s plochami či tělesy. Řezy jsou v jednotlivých záložkách navigátoru projektu vedeny jako samostatné objekty.

Funkci pro vytvoření nového řezu vyvoláme z hlavní nabídky

Vložit → Řezy...

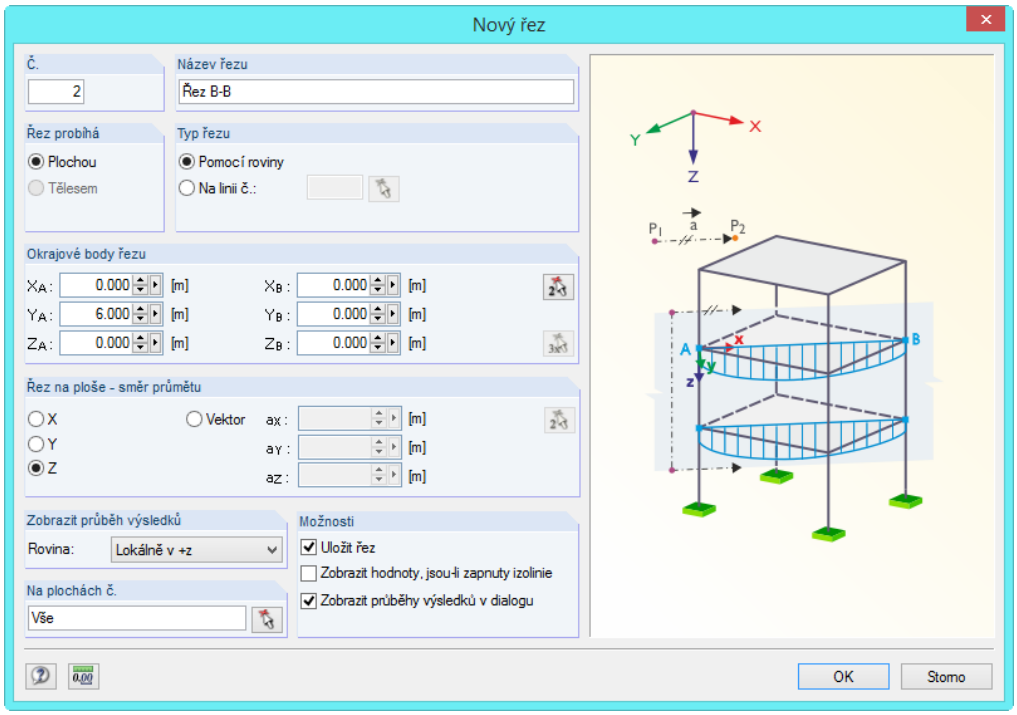
nebo z příslušné místní nabídky v navigátoru *Data*.



Obrázek 9.23 Navigátor *Data*: Místní nabídka položky *Řezy*

Otevře se dialog pro zadání parametrů nového řezu.

9.6.1 Řez plochou



Obrázek 9.24 Dialog *Nový řez plochou*

Spolu s *číslem* je třeba uvést *název* řezu, aby bylo možné řez při vyhodnocení výsledků jednoznačně přiřadit. Všechny řezy se uloží v navigátoru *Data* do složky *Řezy*, odkud je lze později otevřít a případně upravit. Uvádět číslo a název řezu je zbytečné, pokud neoznačíme políčko *Uložit řez* v sekci *Možnosti* ve spodní části dialogu.

Pokud *řez probíhá plochou*, zobrazí se v dialogu v sekcích *Typ řezu* a *Směr průmětu* parametry specifické pro plochu a v pravé části dialogu odpovídající obrázky.

Typ řezu můžeme vybrat ze dvou možností: zaprvé lze řez vytvořit *pomocí roviny* vložené do modelu konstrukce. Další možností je vést řez na libovolné, již vytvořené *linii* v modelu konstrukce. Číslo linie zadáme ručně nebo vybereme pomocí tlačítka v pracovním okně.

Okrajové body řezu zadáme tak, že uvedeme globální souřadnice XYZ obou bodů A a B. nebo body vybereme v grafickém okně pomocí . Pokud chceme vybrat libovolné body (tj. nikoli uzly) v pracovním okně, musí se případně upravit aktuální pracovní rovina.

Z bodů A a B jsou ve směru průmětu vedeny dvě přímky. Pokud tyto přímky protínají plochu uvedenou v seznamu *Na plochách č.*, zobrazí se průběh výsledků na spojnici obou průsečíků. Pokud přímky protnou několik ploch, zobrazí se průběh výsledků pro každou z těchto ploch.

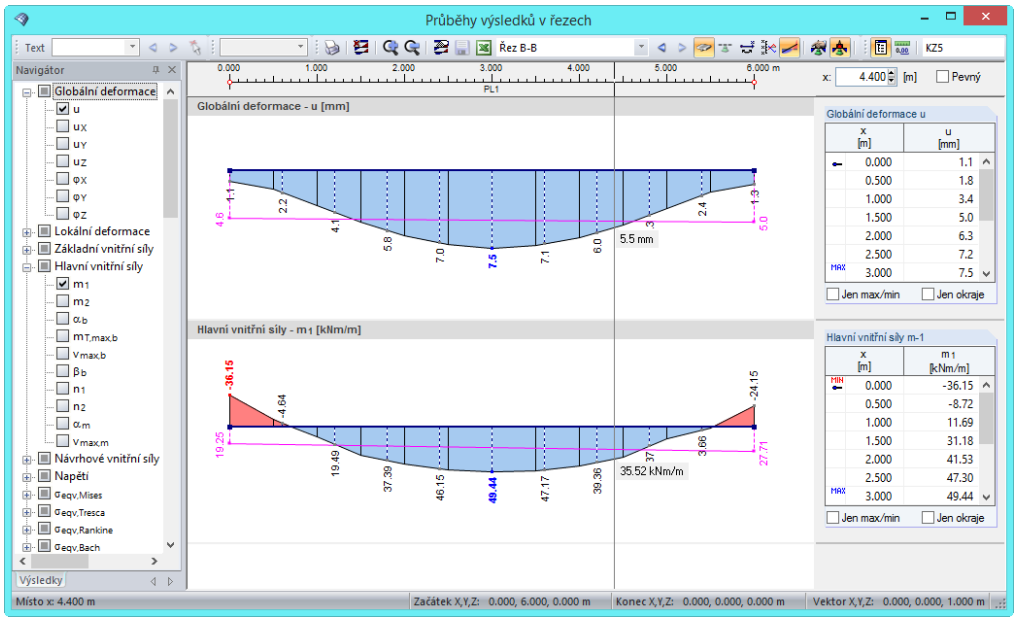
Kromě *promítání ve směru* globální osy X, Y a Z lze zadat i vektor. Pomocí funkce vybereme dva body v grafickém okně, které vektor určují.

V sekci *Zobrazit průběh výsledků* lze stanovit rovinu, v které se zobrazí průběh výsledků na řezu. Tento údaj má vliv pouze na zobrazení řezu v grafickém okně (viz obr. 9.27), nikoliv na zobrazení v dialogu *Průběhy výsledků* (obr. 9.25).

V sekci *Na plochách č.* lze uvést plochy, pro které se mají průběhy výsledků na řezu zobrazit. Tato volba je velmi užitečná, pokud řez probíhá několika plochami. Plochy lze zadat i graficky pomocí funkce .

Pomocí zaškrtávacích políček v sekci *Možnosti* určíme, zda se mají po kliknutí na tlačítko [OK] *zobrazit průběhy výsledků v dialogu* (obr. 9.25) nebo zda se má *řez uložit*. Možnost *Zobrazit hodnoty, jsou-li zapnuty izolinie* způsobí, že se izolinie v grafickém okně automaticky popíšou.

Pokud je zadání úplné a klikneme na [OK], zpravidla se zobrazí dialog *Průběhy výsledků*.



Obrázek 9.25 Dialog *Průběhy výsledků v řezech*

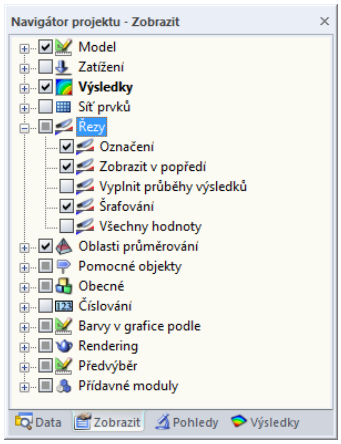
Pokud pohybujeme myší v diagramu podél řezu, zobrazují se nám postupně výsledné hodnoty pro místa x, na nichž se právě nachází kurzor myši. O jaké místo na řezu se jedná, vidíme vpravo nahoře v poli x, kde je uvedena vzdálenost místa od počátku řezu A. V tomto poli lze zadat určité místo x i ručně. Pokud zaškrtneme políčko *Pevný*, kurzor myši znehybníme na stanoveném místě.

Seznam v panelu nástrojů umožňuje přepínat mezi jednotlivými řezy.

Tlačítka z dialogu *Průběhy výsledků* popisujeme v kapitole 9.1.

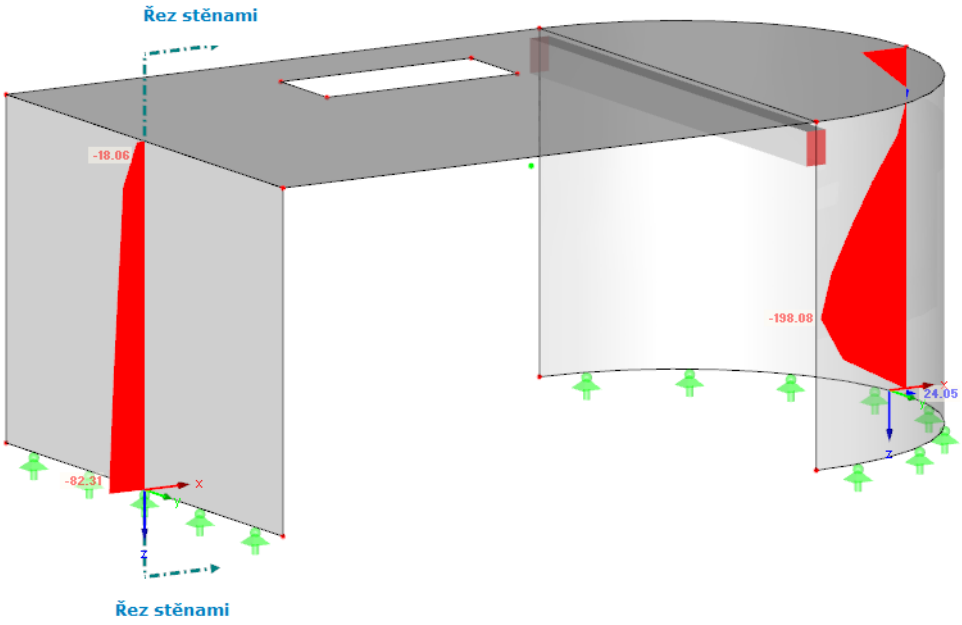
Řezy lze v pracovním okně zobrazit či skrýt pomocí vlevo znázorněného tlačítka. Můžeme také použít navigátor *Výsledky*, v kterém lze navíc vybrat konkrétní uložené řezy.

Navigátor *Zobrazit* nabízí možnost globálně nastavit zobrazení řezů.



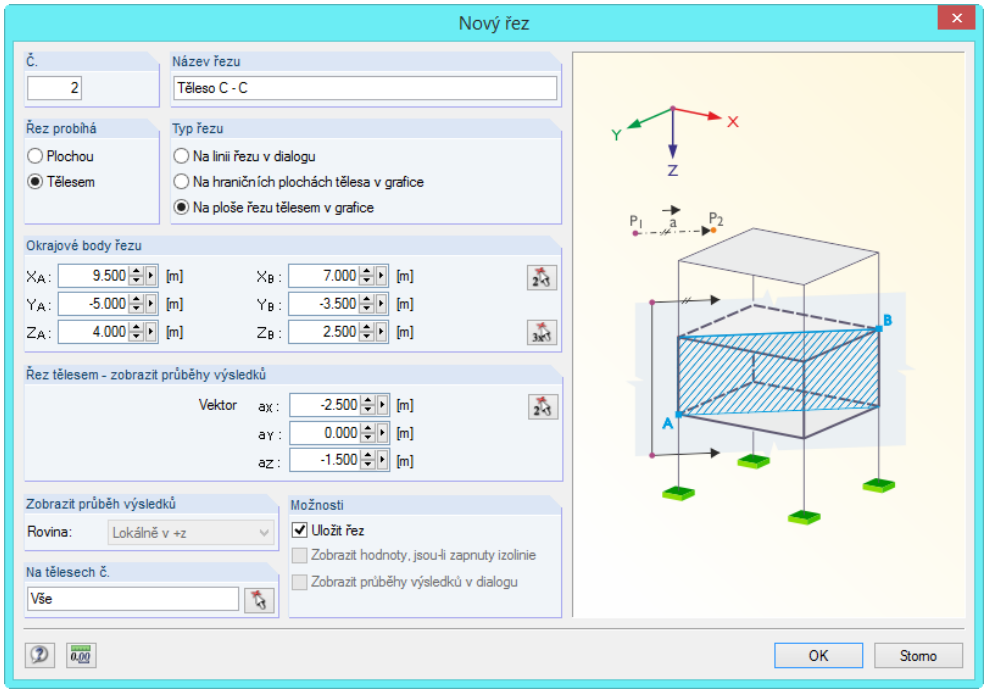
Obrázek 9.26 Navigátor *Zobrazit* s možnostmi nastavení zobrazení řezů

Na následujícím obrázku vidíme řez rovinnou i zakřivenou plochou. Pro toto zobrazení jsme v navigátoru *Zobrazit*aktivovali možnost *Vyplnit průběhy výsledků*.



Obrázek 9.27 Zobrazení normálových sil n-2 na řezu v modelu v RFEMu

9.6.2 Řez tělesem



Obrázek 9.28 Dialog *Nový řez*tělesem

Stejně jako v případě řezu plochou zadáme *číslo* a *název* řezu, pokud chceme řez *uložit* (viz sekce *Možnosti*).

Pokud *řez probíhá tělesem*, zobrazí se v dialogu v sekcích *Typ řezu* a *Zobrazit průběh výsledků* parametry specifické pro těleso a v pravé části dialogu odpovídající obrázky.

Pokud se jedná o řez tělesem, lze do tělesa vložit *linii řezu*. Výsledky se pak zobrazí stejně jako pro plochy v dialogu *Průběhy výsledků* (viz obr. 9.25). Jinou možností je vést řez po obvodu *na hraničních plochách tělesa*. Při označení možnosti *Na ploše řezu tělesem v grafice* se výsledky zobrazí

přímo v rovině řezu.

Okrajové body řezu zadáme stejně jako v případě řezu plochou ručně přímo v políčkách v dané sekci dialogu nebo graficky v pracovním okně.

Z bodů A a B jsou ve směru *vektoru* vedeny dvě přímky. Pokud tyto přímky protínají těleso uvedené v seznamu *Na tělesech č.*, zobrazí se výsledky na spojnici obou průsečíků, příp. na ploše řezu mezi přímkami. Pokud projekční rovina protíná několik těles, zobrazí se průběh výsledků pro každé z těchto těles.

Vektor udává směr promítání řezu. Pomocí funkce lze vybrat dva body v grafickém okně, které vektor určují.

9.7 Vyhlazení výsledků

Při analýze metodou konečných prvků se spočítají výsledky v každém uzlu sítě konečných prvků. V grafice požadujeme ale většinou plynulé zobrazení průběhu vnitřních sil nebo deformací. Proto je nutné výsledky vyhladit, např. pomocí interpolace.

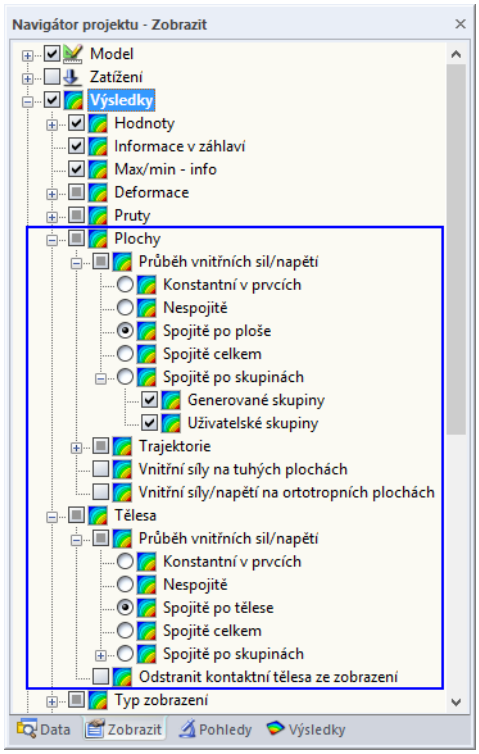
Pro vyhlazení průběhu výsledků na plochách a tělesech lze použít následující možnosti:

- Konstantní v prvcích
- Nespojitě
- Spojitě po ploše/tělese
- Spojitě celkem
- Spojitě po skupinách

Dále máme možnost stanovit oblasti vyhlazení průběhu výsledků (viz obr. 9.36).

9.7.1 Pracovní okno

Navigátor *Zobrazit* řídí vyhlazení výsledků, které se následně projeví v pracovním okně.

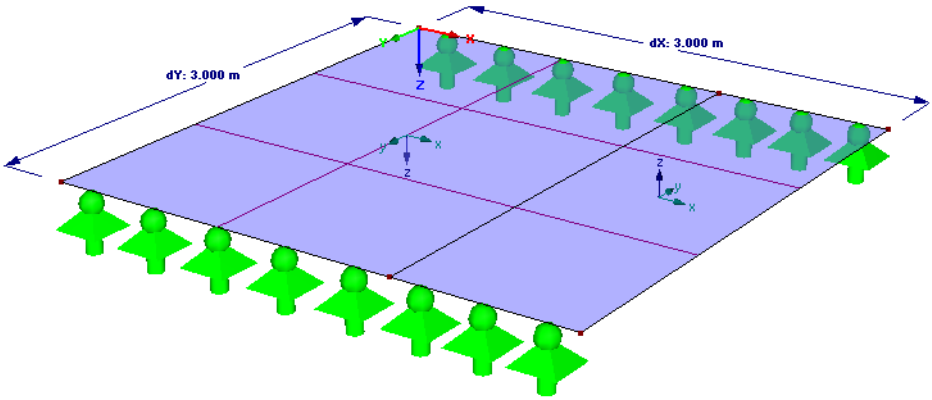


Obrázek 9.29 Navigátor *Zobrazit*: Výsledky → Plochy, resp. Tělesa → Průběh vnitřních sil/napětí

Příklad

Na následujícím příkladu ukážeme vliv jednotlivých způsobů vyhlazení na výsledky.

Máme konstrukci, která je tvořena ocelovou deskou o rozměrech 3 m · 3 m a o tloušťce 3 cm. Dvě protilehlé strany jsou kloubově uložené. Deska není definována jednou celou, nýbrž dvěma vedle sebe ležícími plochami se stejnými vlastnostmi. Lokální osa z pravé plochy je ale zadána s opačnou orientací než v levé části.

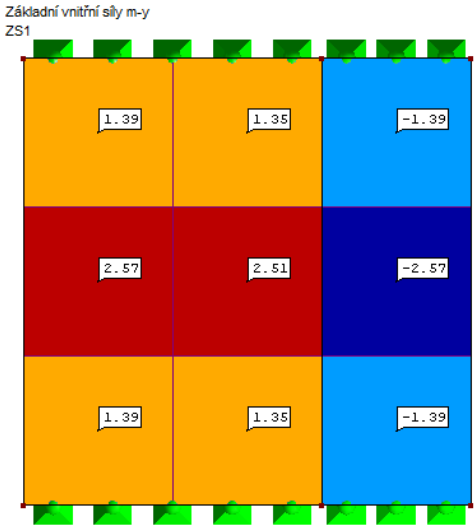


Obrázek 9.30 Ocelová deska — modelována dvěma plochami

Zvolená délka prvku je 1 m. Je jisté, že při tomto dělení nelze získat přesné výsledky. Lze tu však dobře ukázat vliv jednotlivých způsobů vyhlazení na výsledky.

Konstrukce je zatížena pouze vlastní tíhou.

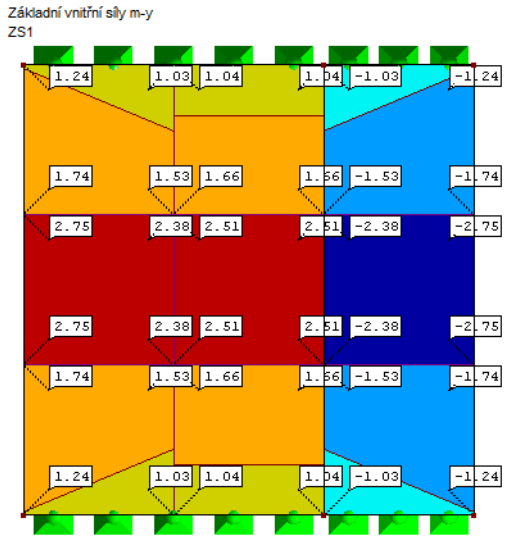
Průběh vnitřních sil *Konstantní v prvcích*



Obrázek 9.31 Průběh vnitřních sil *Konstantní v prvcích*, hodnoty *V bodech sítě prvků*

Hodnoty v uzlech sítě prvků se zprůměrují a výsledek se zobrazí vždy ve středu prvku. Průběh je v každém prvku konstantní. Tento způsob zobrazení výsledků doporučujeme v případě plastických materiálových modelů (viz kapitola 4.3).

Průběh vnitřních sil *Nespojitě*

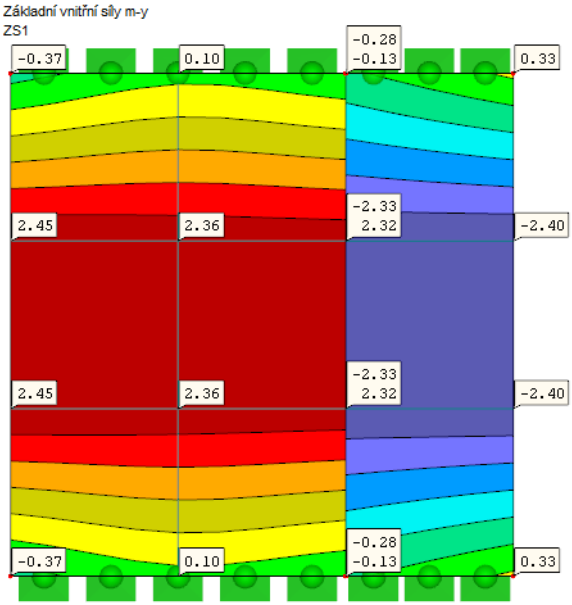


Obrázek 9.32 Průběh vnitřních sil *Nespojitě*, hodnoty *V bodech sítě prvků*

Zobrazí se hodnoty v uzlech sítě prvků, které se určí na základě posunutí a pootočení každého jednotlivého prvku. Výsledky z podprvků jsou přepočteny na rohové body KP. To vede k tomu, že v každém uzlu sítě KP máme k dispozici několik obecně rozdílných hodnot. Příslušnost uzlové hodnoty k danému prvku je vyznačena tečkovanou čarou.

Pro grafické znázornění je rohovými hodnotami na každém konečném prvku proložena plocha bez ohledu na výsledky v sousedních prvcích. Tím získáme nesouvislý průběh hodnot.

Průběh vnitřních sil *Spojitě po ploše*

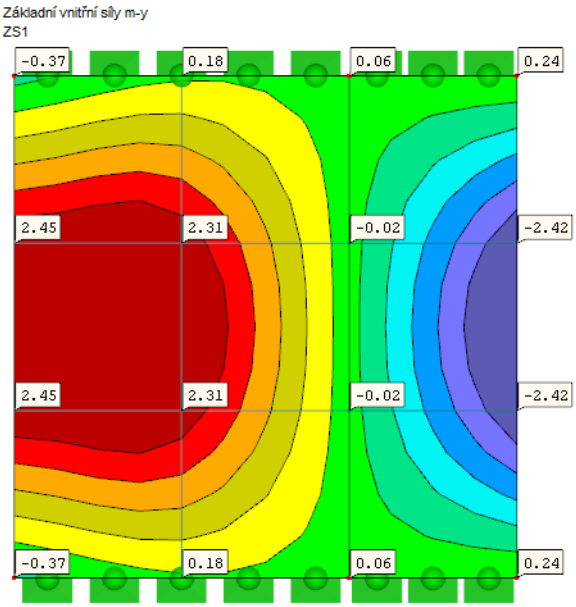


Obrázek 9.33 Průběh vnitřních sil *Spojitě po ploše*, hodnoty *V bodech sítě prvků*

Při nastavení průběhu „Nespojitě“ je tedy pro každý uzel sítě získáno více hodnot, zde čtyři. Při nastavení „Spojitě po ploše“ jsou tyto hodnoty zprůměrovány. Toto průměrování končí na hranici ploch, což může vést k nespojitostem mezi dvěma sousedními plochami. Pro tento příklad je to zcela v pořádku. Na hraniční linii se v uzlech sítě prvků zobrazí dvě hodnoty.

Tento způsob průměrování hodnot poskytuje ve většině případů nejlepší výsledky, a proto je v RFEMu přednastaven jako defaultní.

Průběh vnitřních sil *Spojitě celkem*



Obrázek 9.34 Průběh vnitřních sil *Spojitě celkem*, hodnoty *V bodech sítě prvků*

Tento způsob zobrazení průměruje hodnoty i přes hranice ploch. V našem příkladu vede k nesprávnému spojitému průběhu.

Pokud chceme zvolit možnost vyhlazení výsledků *Spojitě celkem*, musí být dodrženy následující podmínky:

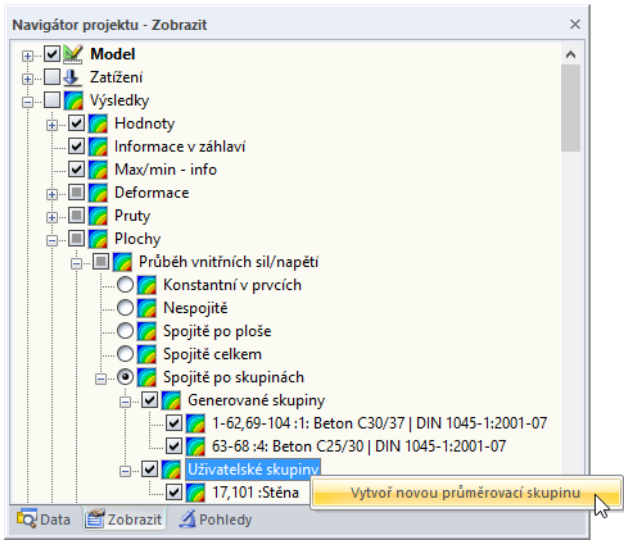
- Osové systémy ploch musí být stejně orientovány.
- Stýkat se mohou pouze dvě plochy.
- Plochy musí ležet v jedné rovině.
- Na hraniční linii nesmí být definován žádný liniový kloub.

Pokud některá z těchto podmínek není splněna, nezobrazí se výsledky při tomto způsobu průměrování správně.

Průběh vnitřních sil *Spojitě po skupinách*

Uživatel má dále možnost průměrovat výsledky po skupinách. RFEM připraví *generované skupiny* se stejnými materiálovými vlastnostmi.

Z místní nabídky v navigátoru (po kliknutí pravým tlačítkem myši na položku *Uživatelské skupiny*) může uživatel vytvářet vlastní skupiny ploch nebo těles.

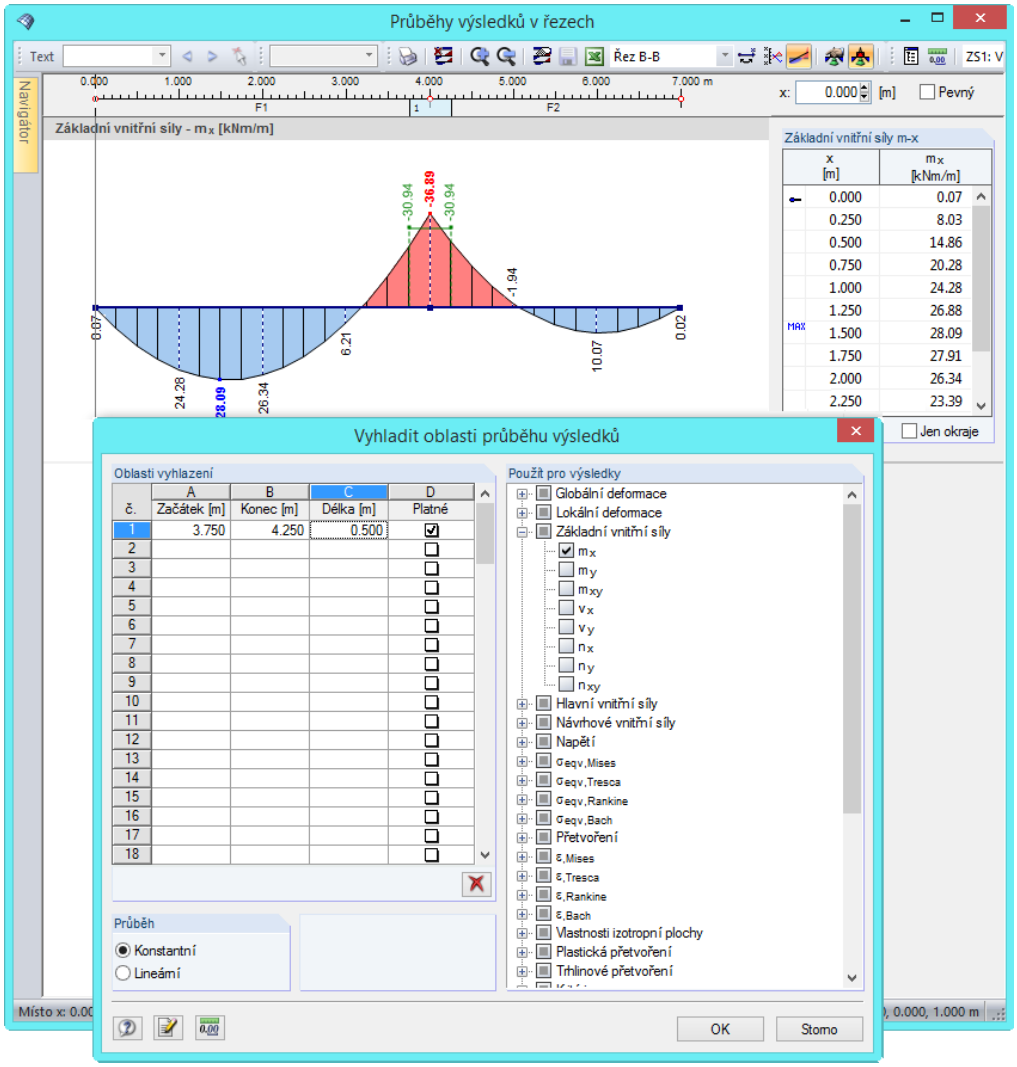


Obrázek 9.35 Příkaz *Vytvoř novou průměrovací skupinu* v místní nabídce v navigátoru

Otevře se dialog, v kterém můžeme stanovit, jaké objekty se mají uvažovat jako skupina.

9.7.2 Průběhy výsledků

V dialogu *Průběhy výsledků* (viz kapitola 9.5) může uživatel pro své účely určit oblasti vyhlazení výsledků. Tuto funkci lze vyvolat pomocí vlevo znázorněného tlačítka. Otevře se následující dialog.

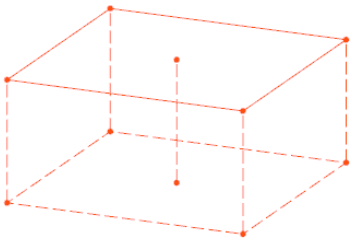


Obrázek 9.36 Dialog *Vyhladit oblasti průběhu výsledků*

Jednotlivé *oblasti vyhlazení* se zadávají v sekci vlevo v interaktivních políčkách *Začátek*, *Konec* a *Délka*. Každou oblast lze aktivovat samostatně zaškrtnutím políčka *Platné*. V sekci *Použít pro výsledky* nastavíme, které deformace, vnitřní síly, napětí nebo poměrná přetvoření se mají vyhladit.

Průběh vyhlazení všech stanovených oblastí je pak buď *konstantní* (jako na obrázku výše) nebo *lineární*.

9.7.3 Oblast průměrování

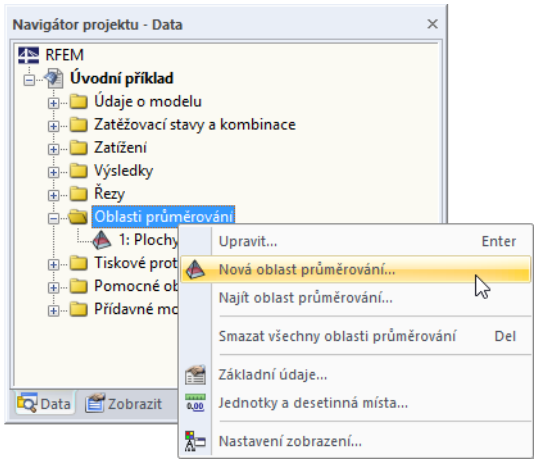


V modelu můžeme definovat oblast, v níž se výsledky nezobrazí jako skutečné průběhy, ale jako průměrné hodnoty. Oblast průměrování je další možností, jak vyhodnotit vnitřní síly a napětí na plochách. Oblasti se v záložkách navigátoru projektu spravují jako samostatné objekty.

Oblast průměrování vytvoříme z hlavní nabídky

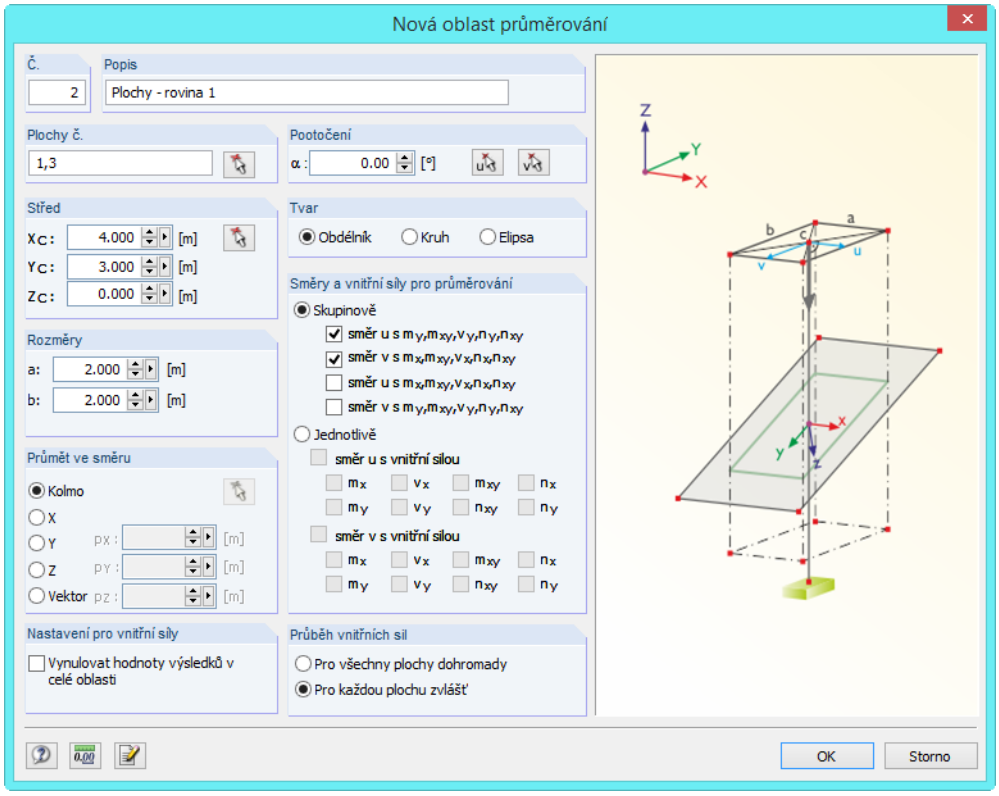
Výsledky → Nová oblast průměrování...

nebo z příslušné místní nabídky v navigátoru *Data*.



Obrázek 9.37 Navigátor *Data*: místní nabídka položky *Oblasti průměrování*

Otevře se dialog, v němž můžeme zadat parametry dané oblasti.



Obrázek 9.38 Dialog *Nová oblast průměrování*

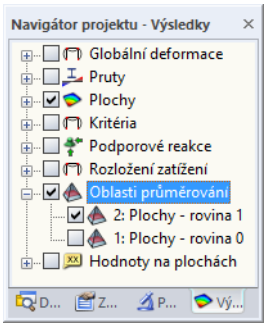
Spolu s *číslem* se uvádí *popis* oblasti, který usnadní její výběr při vyhodnocování výsledků. Oblasti se ukládají v navigátoru *Data* do složky *Oblasti průměrování*, odkud je lze později otevřít a případně upravit.

V sekci *Plochy č.* zadáme čísla ploch, jejichž výsledky si přejeme zprůměrovat. Tato volba je velmi užitečná, pokud se oblast promítá do několika ploch. Plochy je možné také vybrat graficky pomocí .

V sekci *Střed* zadáme středový bod oblasti C. Souřadnice vyplníme ručně nebo je určíme pomocí funkce v pracovním okně. Parametry uvedené v sekci *Rozměry* udávají tvar oblasti.

Sekce *Průmět ve směru* popisuje vztah definované oblasti k plochám. Zpravidla se oblast promítne kolmo k vybraným plochám. Promítání ovšem může proběhnout i v globálním směru X, Y či Z nebo

můžeme zadat libovolný vektor průmětu. Pomocí funkce pak vybereme dva body v grafickém okně, které vektor určují.



Ovládání oblastí v navigátoru *Výsledky*

V sekci *Pootočení* je možné pootočit oblast průměrování. Oblast průměrování může mít *tvar* obdélníku, kruhu nebo elipsy. V pravé části dialogu v grafickém okně se parametry znázorní.

V sekci *Směry a vnitřní síly pro průměrování* je možné zadat lokální osy, ke kterým by se měla vztahovat možnost "Skupinově" pro vnitřní síly. Alternativně může vyhlazení typu *jednotlivě* zohlednit pouze vybrané osy ploch a vnitřní síly.

Uživatel má dále možnost *vynulovat hodnoty výsledků v celé oblasti*. Lze tak ve vybrané oblasti modelu výsledné hodnoty potlačit.

Z navigátoru *Výsledky* lze oblasti průměrování zapnout či vypnout všechny najednou nebo jednotlivě.

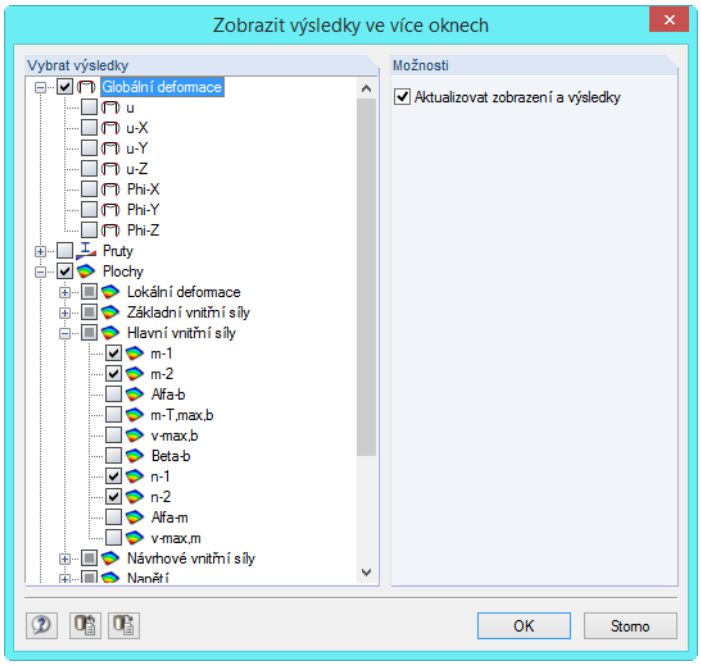
9.8 Zobrazení výsledků ve více oknech

Na obrazovce lze současně zobrazit několik oken s různými deformacemi nebo vnitřními silami. Tuto funkci lze spustit z hlavní nabídky

Výsledky → Uspořádat okno výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Otevře se dialog se stromovou strukturou. V ní můžeme zaškrtnout požadované typy výsledků, které se mají zobrazit v jednotlivých oknech.



Obrázek 9.39 Dialog *Zobrazit výsledky ve více oknech*

Zobrazení výsledků v několika oknech najednou lze použít i pro tisk (viz kapitola 10.2.1).

9.9 Filtrování výsledků

Pokud při vyhodnocování výsledků rozsáhlých konstrukcí chceme zachovat přehlednost dat, můžeme využít řadu funkcí pro filtrování údajů, které nám program nabízí. Tyto funkce jsou k dispozici i při následném zpracování dokumentace výsledků.

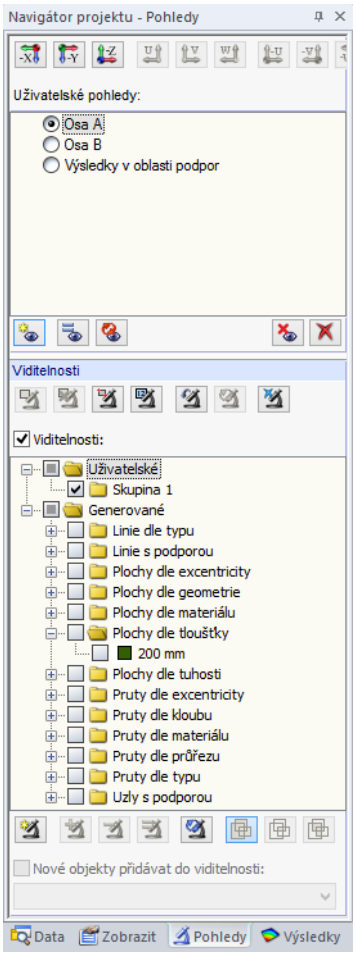
9.9.1 Pohledy

Pro snazší vyhodnocení výsledků může uživatel definovat pohledy (různé úhly náhledu, nastavení zoomu atd.). Model pak lze dále rozčlenit pomocí tzv. „viditelností “ na uživatelské či generované výřezy, které splňují určitá kritéria. Můžeme tak například samostatně zobrazit pouze plochy v určité rovině nebo pruty se stejným průřezem. Těchto možností lze samozřejmě využít nejen pro vyhodnocení výsledků, ale i při zadávání modelu nebo zatížení.

Příslušné funkce máme k dispozici v samostatném **navigátoru** (kapitola 9.9.1.1) a dále také v panelu nástrojů v **rozbalovacích tlačítkách**, resp. v hlavní nabídce (kapitola 9.9.1.2).

9.9.1.1 Navigátor Pohledy

Záložka *Pohledy* v navigátoru projektu umožňuje vytvářet uživatelské pohledy na model a používat je při zadávání dat a vyhodnocování výsledků. Z této záložky lze pracovat také s uživatelskými či automaticky vytvářenými viditelnostmi.



Obrázek 9.40 Záložka *Pohledy* v navigátoru projektu

Uživatelské pohledy

Na rozdíl od *viditelností*, zaměřených na filtrování objektů (viz níže), slouží *uživatelské pohledy* k ukládání a načítání různých pozorovacích úhlů, zvětšených náhledů nebo nastavení v navigátoru *Zobrazit*.

Aktuální pohled se uloží jako nastavení náhledu na model - nezávisle na filtrech vybraných v seznamu

viditelností: pro zobrazení objektů v *uživatelském pohledu* se vždy používá aktuální nastavení viditelností. *Uživatelský pohled* určuje pouze úhel náhledu, míru přiblížení a dále nastavení v navigátoru *Zobrazit*.

Pomocí příslušných tlačítek *Pohled* můžeme okamžitě nastavit následující standardní úhly náhledu:

	Pohled proti ose X
	Pohled proti ose Y
	Pohled proti ose Z
	Pohled ve směru resp. proti ose U pracovní roviny (viz kapitola 11.3.1)
	Pohled ve směru resp. proti ose V pracovní roviny
	Pohled ve směru resp. proti ose W pracovní roviny

Tabulka 9.2 Tlačítka pro *Pohledy*

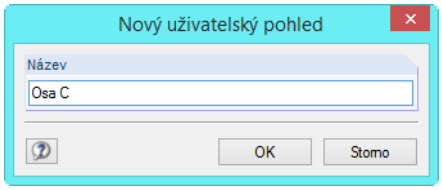
Tlačítka pod seznamem pohledů mají následující funkce:

	Z aktuálního pohledu se vytvoří nový *uživatelsky pohled* (viz obr. 9.41).
	Aktivovaný *uživatelský pohled* se nově definuje na základě aktuálního zobrazení.
	Po úpravě se *uživatelský pohled* aktualizuje.
	Vybraná položka v seznamu *uživatelských pohledů* se smaže.
	Všechny *uživatelské pohledy* se smažou.

Tabulka 9.3 Tlačítka v sekci *Uživatelské pohledy*

Vytvoření uživatelského pohledu

Aktuální náhled na model můžeme uložit pomocí tlačítka [Vytvořit nový uživatelský pohled...]. Otevře se dialog, v němž zadáme *název* nového nastavení pohledu.



Obrázek 9.41 Dialog *Nový uživatelský pohled*

Viditelnosti

Pomocí takzvaných „viditelností“ můžeme zobrazovat výřezy z modelu nebo skupiny objektů (např. plochy v jedné rovině, sloupy na stejném podlaží apod.).

Tlačítka pro viditelnosti

Tlačítka nad seznamem *viditelností* (viz obr. 9.40) slouží k zobrazení objektů podle určitých kritérií. Mají následující funkce:

	Objekty vybrané v pracovním okně se zobrazí jako výřez.
	Objekty vybrané v pracovním okně se skryjí.
	Nakreslením okna se vytvoří viditelnost (viz kapitola 9.9.1.2).
	Nová viditelnost je definována pomocí čísel objektů (viz kapitola 9.9.1.2).
	Obnoví se předchozí viditelnost.
	Vytvoří se inverzní viditelnost (nová viditelnost: skryté objekty).
	Zruší se režim viditelnosti; zobrazí se znovu všechny objekty.

Tabulka 9.4 Tlačítka nad seznamem *Viditelnosti*

Seznam *Viditelnosti* obsahuje uživatelské a dále generované viditelnosti.

Uživatelské viditelnosti

Viditelnosti lze vytvářet tak, že vybereme určité objekty buď v grafickém okně nebo zadáme jejich čísla (viz kapitola 11.2).

Tlačítkem [Vytvořit novou uživatelskou viditelnost...] (pod seznamem *viditelností*) uložíme aktuální výřez. Otevře se dialog *Nová uživatelská viditelnost*, v němž zadáme název a *skupinu* viditelností (viz obr. 9.45).

Tlačítka pod seznamem *Viditelnosti* mají následující funkce:

	Otevře se dialog *Nová uživatelská viditelnost* (viz obr. 9.45).
	Objekty vybrané v pracovním okně se přidají do skupiny vybrané v seznamu výše.
	Objekty vybrané v pracovním okně se odstraní ze skupiny označené ve výše uvedeném seznamu.
	Vybrané objekty se nově přiřadí viditelnosti, kterou jsme označili v seznamu nahoře.
	Vytvoří se inverzní viditelnost (nová viditelnost: skryté objekty).
	Zobrazí se všechny objekty, které jsou aktivovány v seznamu *Viditelnosti*.

	Zobrazí se pouze objekty, které jsou k dispozici v každé aktivní položce *Viditelnosti*.
	Zobrazí se objekty, které spadají současně do všech aktivovaných *skupin*.

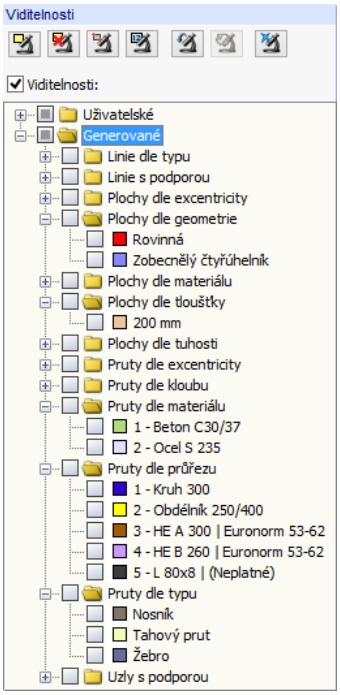
Tabulka 9.5 Tlačítka nad seznamem *Viditelnosti*

Zaškrtávací políčko *Nové objekty přidávat do viditelnosti* určuje, kam se mají zařadit nové uzly, pruty, linie atd., pokud právě pracujeme v určité uživatelské viditelnosti. Pokud tuto možnost zvolíme, můžeme požadovanou skupinu vybrat ze seznamu níže.

Každé uživatelské viditelnosti se automaticky přiřadí barevný symbol. Dané barvy lze použít také v navigátoru *Zobrazit* pro znázornění objektů (viz kapitola 11.1.9). Můžeme tak v modelu vlastní viditelnosti rychle rozpoznat. Skupiny ovládáme přes navigátor *Pohledy*.

Generované viditelnosti

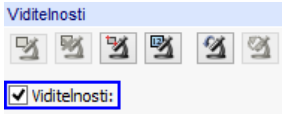
RFEM vytváří automaticky viditelnosti pro plochy, linie, pruty atd. podle určitých kritérií.



Obrázek 9.42 Generované viditelnosti v navigátoru *Pohledy*

Generované typy viditelností pomáhají rychle se orientovat v modelu, neboť objekty lze cíleně filtrovat pomocí seznamu. Lze tak snáze zkontrolovat nejen vstupní údaje, ale také výsledky.

V seznamu lze nastavit standardně nejen vícenásobný výběr generovaných výřezů, ale i jejich průniky. Příslušné funkce zajišťují vlevo znázorněná tlačítka, která se nacházejí pod seznamem. Funkce jsou popsané v tabulce 9.5 .



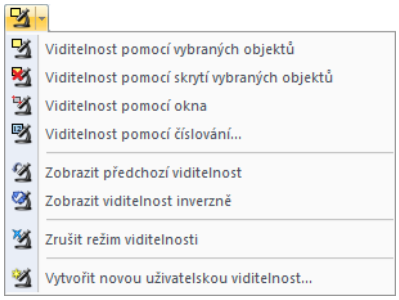
Kontrolní políčko *Viditelnosti* nad seznamem určuje, zda se filtrovací funkce projeví v pracovním okně: pokud zrušíme jeho označení, zobrazí se opět všechny objekty.

9.9.1.2 Viditelnosti - tlačítka a nabídka

Jednotlivé funkce pro výřezy lze vyvolat z hlavní nabídky

Zobrazit → Viditelnost

nebo pomocí příslušného rozbalovacího tlačítka v panelu nástrojů.



Obrázek 9.43 Rozbalovací tlačítko pro *viditelnosti*

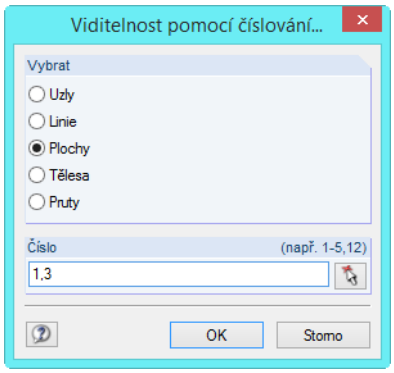
Viditelnost pomocí okna

Výřez můžeme vytvořit graficky oknem pomocí myši.

Pokud vytváříme výřez oknem zleva doprava, bude výřez obsahovat pouze objekty, které se zcela v tomto okně nacházejí. Pokud ho vytváříme zprava doleva, budou do viditelnosti zahrnuty i objekty, které leží v okně pouze částečně.

Viditelnost pomocí číslování

Otevře se dialog, v němž zadáme čísla *uzlů*, *linií*, *ploch*, *těles* nebo *prutů*, které mají být ve výřezu obsaženy.



Obrázek 9.44 Dialog *Viditelnost pomocí číslování...*

Zrušit režim viditelnosti

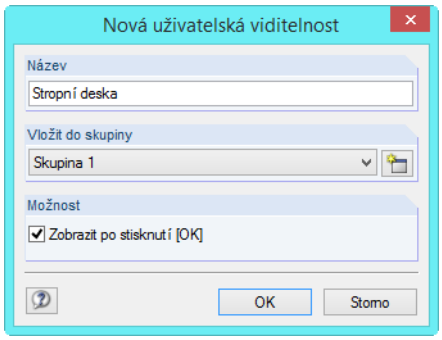
Pokud vybereme tento příkaz, zobrazí se znovu všechny objekty.

Vytvoření nové uživatelské viditelnosti

Objekty, které se mají uložit jako *viditelnost*, musíme před vyvoláním funkce vybrat v pracovním okně (viz kapitola 11.2.1 a kapitola 11.2.2). Pro výběr objektů je velmi užitečné použít funkci v hlavní nabídce **Úpravy → Vybrat → Podrobně...**

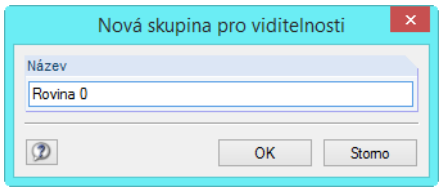
Do *viditelnosti* se zařadí pouze objekty vybrané v pracovním okně. Pokud použijeme funkci [Viditelnost pomocí skrytí vybraných objektů], musí se zobrazené objekty ještě jednou vybrat oknem.

Po kliknutí na tlačítko [Vytvořit novou uživatelskou viditelnost...] se otevře následující dialog.



Obrázek 9.45 Dialog *Nová uživatelská viditelnost*

V něm uvedeme *název* a *skupinu*. Pokud chceme používat více skupin viditelností, můžeme pomocí tlačítka [Vytvořit novou skupinu pro viditelnosti...] založit další skupinu.



Obrázek 9.46 Dialog *Nová skupina pro viditelnosti*

Tlačítkem [OK] uložíme dané seskupení objektů jako novou viditelnost.

Uživatelské viditelnosti ovládáme z navigátoru *Pohledy*. Můžeme je jednotlivě zobrazit nebo skrýt (viz obr. 9.40).

Záměna objektů ve viditelnostech

Objekty můžeme dodatečně vkládat do již existujících viditelností: nejdříve zrušíme režim viditelnosti pomocí vlevo znázorněného tlačítka nebo příkazem z hlavní nabídky **Zobrazit → Viditelnost → Zrušit režim viditelnosti**. Nyní vybereme objekty, které chceme přidat.

Poté klikneme v navigátoru *Pohledy* v seznamu *uživatelských* viditelností na požadovanou položku. Zpřístupní se tak tlačítko , pomocí něhož můžeme vybrané objekty přidat do uživatelské viditelnosti.

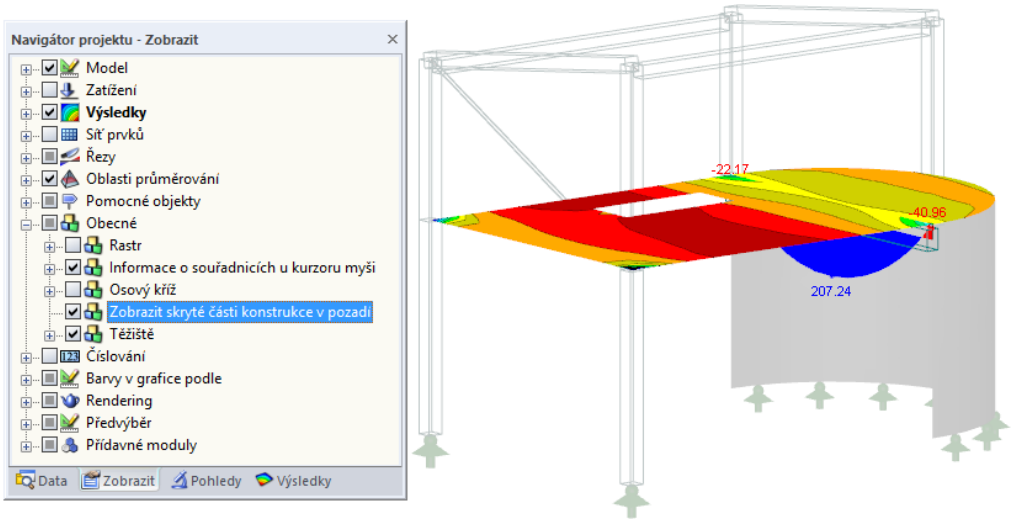
Obdobně můžeme pomocí tlačítka vybrané objekty z uživatelské viditelnosti opět odstranit.

Tlačítko umožňuje objekty z viditelnosti označené v navigátoru *Pohledy* přepsat výběrem v pracovním okně. Můžeme tak znovu definovat již existující viditelnost; název zůstane stejný.

Transparentní zobrazení skrytých objektů

U viditelností lze znázornit skryté objekty slaběji na pozadí. Intenzitu průhlednosti neaktivních objektů lze nastavit samostatně v dialogu *Možnosti programu* v záložce *Grafika* (viz obr. 9.52).

Zobrazení objektů na pozadí se zapíná a vypíná v navigátoru *Zobrazit*.



Obrázek 9.47 Navigátor *Zobrazit*: volba *Obecné* → *Zobrazit skryté části konstrukce v pozadí*

9.9.2 Ořezávací rovina

Tato funkce umožňuje vést modelem libovolnou rovinu řezu. Oblast před, případně za rovinou bude pak v pohledu skrytá. Můžeme si tak například prohlédnout výsledky v určitém průniku nebo tělese.

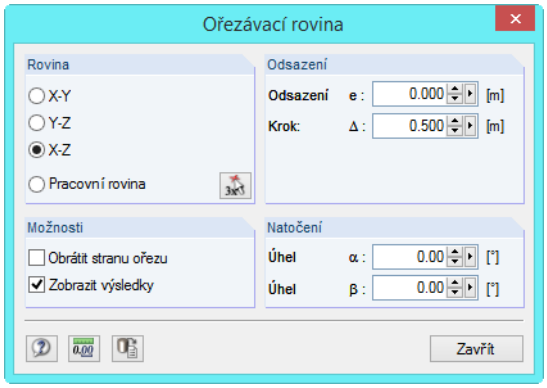
RFEM vede ořezávací rovinu středem podle celkových geometrických rozměrů. Tato rovina se tedy vztahuje ke geometrii modelu. Ořezávací rovina se vytvoří v pracovním okně pomocí rámečku.

Ořezávací rovinu nelze uložit.

Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Vložit → Ořezávací rovina.

Otevře se následující dialog:



Obrázek 9.48 Dialog *Ořezávací rovina*

Rovina může být zadána rovnoběžně s rovinami, které jsou vymezeny osami globálního souřadného systému XYZ. Kromě toho lze ořezávací rovinu vložit do aktuální pracovní roviny. Pomocí tlačítka můžeme vybrat tři body, které rovinu definují.

Hodnota v zadávacím políčku *Odsazení* udává posunutí rovnoběžné roviny v kladném nebo záporném směru kolmém na vybranou rovinu. Oba tyto směru jsou v pracovním okně vyznačeny šedými šipkami. Velikost odsazení můžeme přímo vyplnit nebo nastavit pomocí číselníků . V

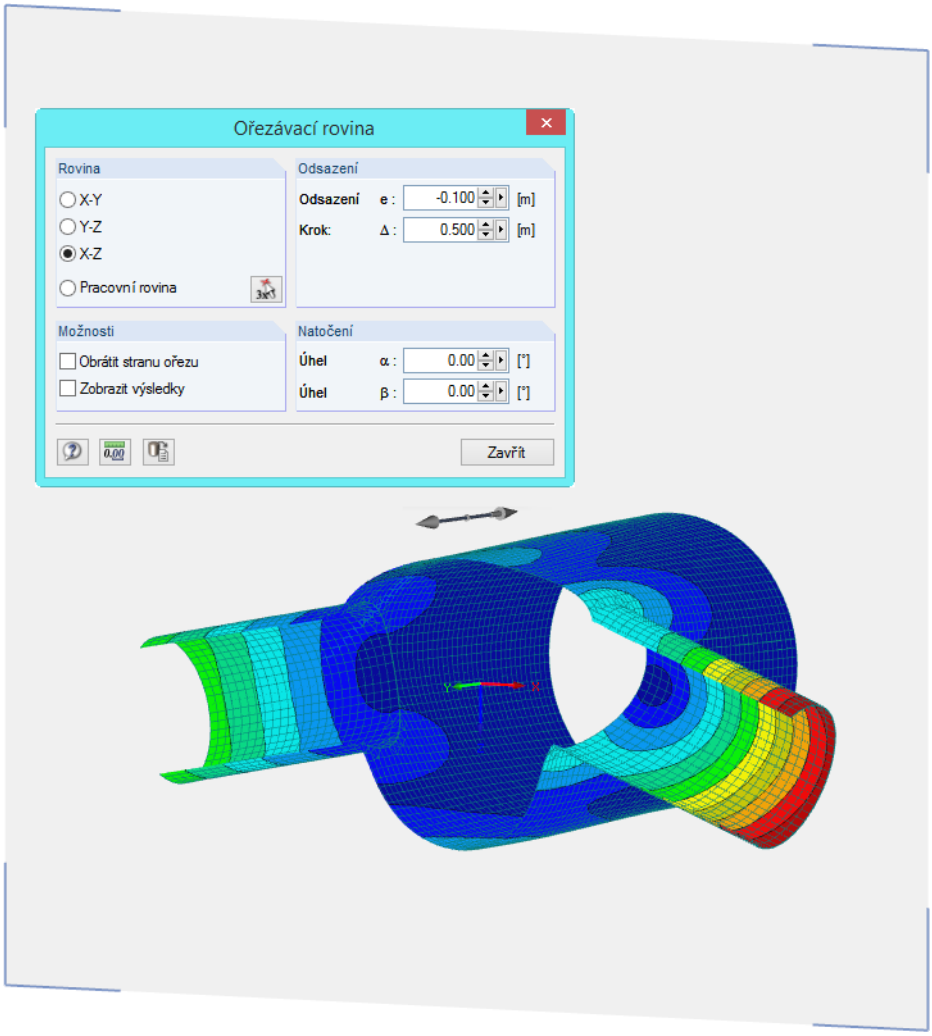
zadávacím políčku *Krok* se uvádí vzdálenost, o kterou se při každém kliknutí na číselník rovina posune.

V sekci *Možnosti* lze měnit aktivní stranu ořezávací roviny. Dále můžeme zobrazit nebo skrýt průběhy výsledků na okrajích řezu.

Ořezávací rovinu můžeme *natočit* o úhel α (okolo poslední uvedené osy roviny) a β (okolo první uvedené osy). Obrázek okamžitě reaguje na zadání.

V pracovním okně lze i s otevřeným dialogem *Ořezávací rovina* pracovat se všemi editačními a zobrazovacími funkcemi. Tisk ovšem není možný. Tlačítkem [Zavřít] se funkce ukončí.

Následující příklad představuje použití ořezávací roviny pro trubkový spoj.

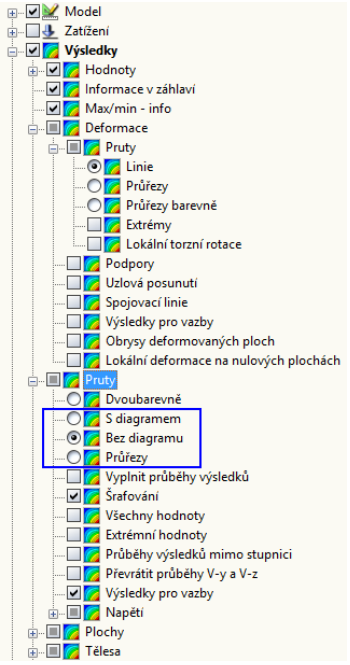


Obrázek 9.49 Ořezávací rovina vedená trubkovým spojem

9.9.3 Funkce pro filtrování

Možnosti filtrování popsané v kapitole 9.9.1 se týkají objektů modelu konstrukce. Další možností je stanovit jako výběrové kritérium vnitřní síly, deformace nebo napětí.

Filtrování výsledků



Pokud chceme filtrovat vnitřní síly, deformace nebo napětí v určité konstrukci, je třeba zobrazit takzvaný řídicí panel. Pokud není aktivovaný, můžeme ho zapnout z hlavní nabídky

Zobrazit → Řídicí panel

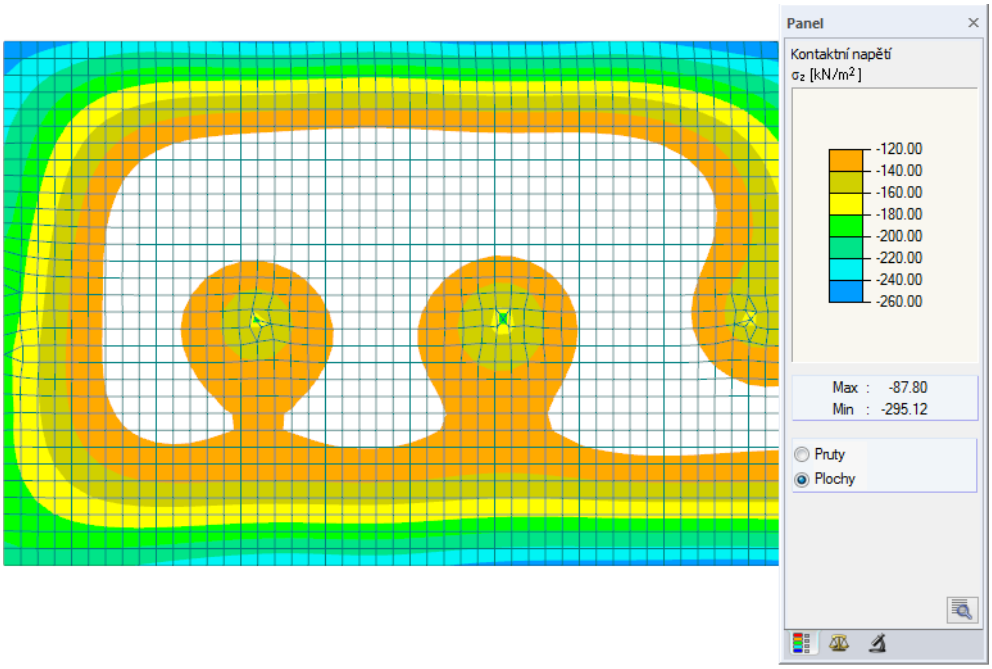
nebo můžeme kliknout na příslušné tlačítko v panelu nástrojů *Výsledky*.

Tento panel podrobně popisujeme v kapitole 3.4.6.

Kritéria pro filtrování výsledků se nastavují v záložce *Stupnice barev*, která je u ploch a těles k dispozici v případě zobrazení výsledků v podobě izoploch a izolinií (viz obr. 3.16). Vzhledem k tomu, že tato záložka není k dispozici v případě dvoubarevného zobrazení vnitřních sil na prutech, je třeba v navigátoru *Zobrazit* přepnout na volbu *S diagramem/Bez diagramu* nebo *Průřezy* (viz obrázek vlevo).

V případě vícebarevného zobrazení výsledků lze v panelu například nastavit jemně odstupňované znázornění momentů na prutech až od určité hodnoty nebo základních vnitřních sil na plochách v rozmezí ± 30 kNm (viz obr. 3.18).

Následující příklad představuje základovou desku. V jejím modelu se zobrazí pouze kontaktní napětí v rozmezí od -120 kN/m^2 do -260 kN/m^2.



Obrázek 9.50 Filtrování kontaktních napětí s upravenou stupnicí barev

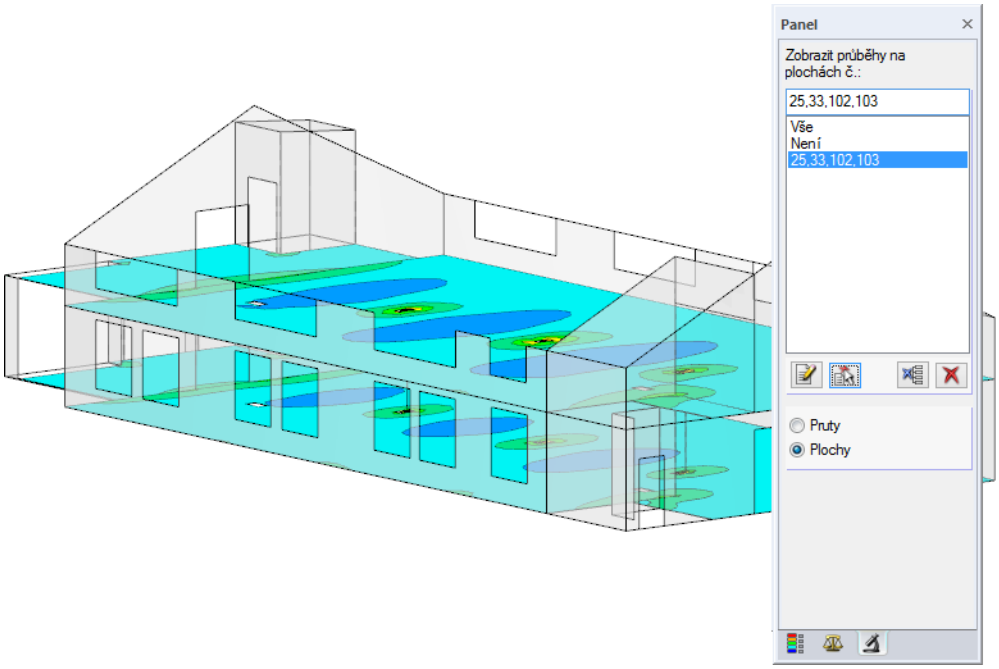
Vzhledem k tomu, že v daném modelu jsou k dispozici i barevné výsledky na prutech, vybereme v řídicím panelu přepínač *Plochy*. Stupnice barev je přitom nastavena tak, že jedna barevná oblast pokrývá vždy-20 kN/m^2. Při tomto nastavení se nezobrazí žádné výsledky na pružně uložených plochách, které nesplňují zadané podmínky.

Filtrování objektů

V záložce *Filtr* řídicího panelu lze zadat čísla prutů, ploch nebo těles, jejichž průběhy výsledků si přejeme zobrazit v grafickém okně. Tuto funkci popisujeme v kapitole 3.4.6.

Na rozdíl od funkce výřezu se zobrazí kompletní model konstrukce.

Na následujícím obrázku jsou znázorněny ohybové momenty ve stropních deskách dané konstrukce. Stěny se v modelu také zobrazí, ovšem bez vnitřních sil.



Obrázek 9.51 Filtrování ploch: ohybové momenty ve stropních deskách

Nastavení filtrů v panelu má vliv také na objekty ve výstupních tabulkách: pokud například v panelu omezíme zobrazení výsledků na dva pruty, bude také tabulka 4.6 *Pruty - vnitřní síly* obsahovat pouze výsledky těchto dvou prutů.

9.10 Animace deformací

Program obvykle zobrazí jen konečný stav deformace objektů.

Uživatel má ovšem možnost nechat si znázornit celý průběh deformace v pohybu. Tuto funkci lze spustit z hlavní nabídky

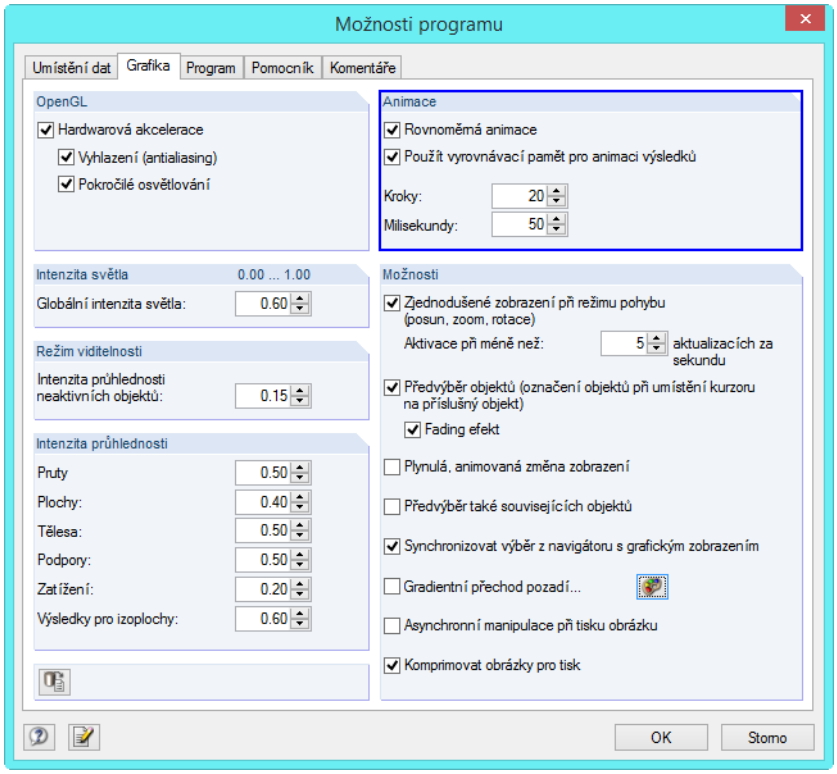
Výsledky → Animace

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů. Tímto tlačítkem lze animované zobrazení také ukončit, popř. lze k ukončení použít i tlačítko [Esc].

Detailně lze průběh animace nastavit po zvolení funkce v hlavní nabídce

Nastavení → Možnosti programu...

v záložce *Grafika* příslušného dialogu.

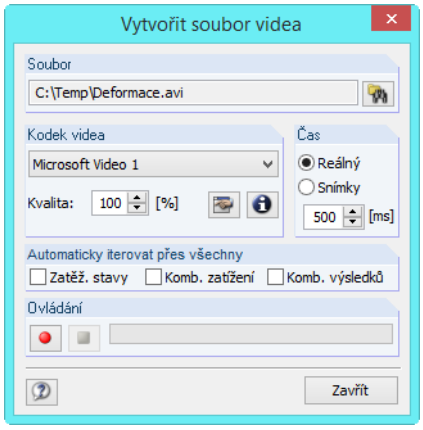


Obrázek 9.52 Dialog *Možnosti programu*, záložka *Grafika*

Animaci deformace můžeme uložit ve zvláštním souboru jako video. Uspořádáme podle svých představ animaci grafického zobrazení na obrazovce a následně vybereme v hlavní nabídce funkci

Nástroje → Vytvořit soubor videa...

Poté, co se případně zobrazí pokyn pro nastavení OpenGL, se otevře dialog, v němž lze zadat potřebné údaje pro vytvoření videosouboru.



Obrázek 9.53 Dialog *Vytvořit soubor videa*

Název a místo uložení videosouboru lze zadat v samostatném dialogu po kliknutí na tlačítko [Procházet].

Následně můžeme spustit nahrávání kliknutím na červené tlačítko [Nahrávat]. Modrým tlačítkem [Zastavit] nahrávání souboru ukončíme.

10 Výstup

10.1 Výstupní protokol

Vstupní a výstupní údaje se v RFEMu obvykle nezasílají přímo na tiskárnu. Nejdříve se vytvoří takzvaný výstupní protokol (náhled pro tisk), do něhož může uživatel vkládat grafická zobrazení, vlastní vysvětlivky, naskenované obrázky apod. Ve výstupním protokolu lze také vybrat, které údaje se nakonec vytisknou.

Pro každý model lze vytvořit několik výstupních protokolů. Zvláště v případě rozsáhlých konstrukcí doporučujeme místo jednoho objemného protokolu vytvořit několik menších protokolů. Lze tak například vytvořit samostatný protokol pro vstupní data, další protokol pro reakce, jiný pro výsledky na plochách atd. Pokud data rozdělíme, zkrátí se i doba zpracování protokolů.

V zásadě je pro jeden model v RFEMu také možné vytvořit několik rozdílných protokolů. Stačí zvolit potřebná data a sestavit například protokol pro úřady a jiný, podrobnější pro projektanty.

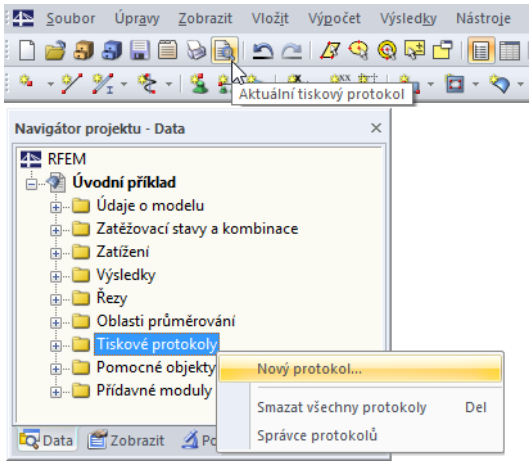
Výstupní protokol lze otevřít jen tehdy, pokud je v našem operačním systému připojena standardní tiskárna. Ovladač tiskárny se používá pro zobrazení náhledu výstupního protokolu.

10.1.1 Vytvoření nebo otevření výstupního protokolu

Nový výstupní protokol vytvoříme z hlavní nabídky

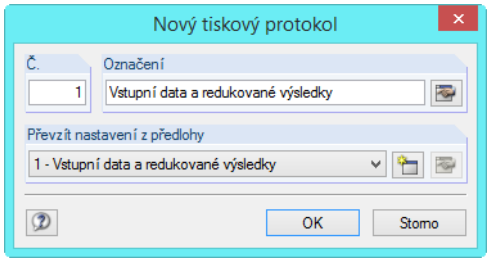
Soubor → Otevřít protokol...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů, popř. z místní nabídky příslušné položky v navigátoru *Data*.



Obrázek 10.1 Tlačítko v panelu nástrojů a příkaz *Nový protokol...* v místní nabídce

Otevře se dialog znázorněný na obr. 10.2.



Obrázek 10.2 Dialog *Nový protokol*

Číslo nového protokolu se vyplní automaticky, uživatel ho však může změnit. V poli *Označení* lze zadat název protokolu. Podle názvu bude pak možné protokol v seznamech snáze najít. Toto označení se neobjeví ve vytištěném dokumentu.

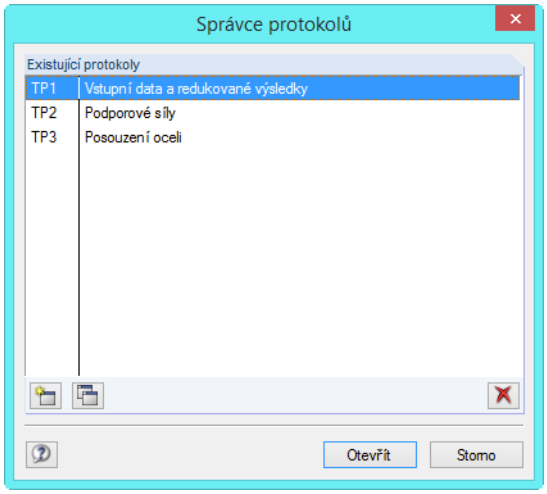
V seznamu *Převzít nastavení z předlohy* lze vybrat určitý vzorový protokol jako předlohu (viz kapitola 10.1.7).

Tlačítka, která tu vidíme, mají následující funkce:

	Vytvoří nový vzorový protokol.
	Výběr protokolu je možné změnit (viz kapitola 10.1.3).

Tabulka 10.1 Tlačítka v dialogu *Nový tiskový protokol*

Pokud již tiskový protokol existuje, zobrazí se po aktivaci nabídky **Soubor → Otevřít protokol** *Správce protokolů*.



Obrázek 10.3 Dialog *Správce protokolů*

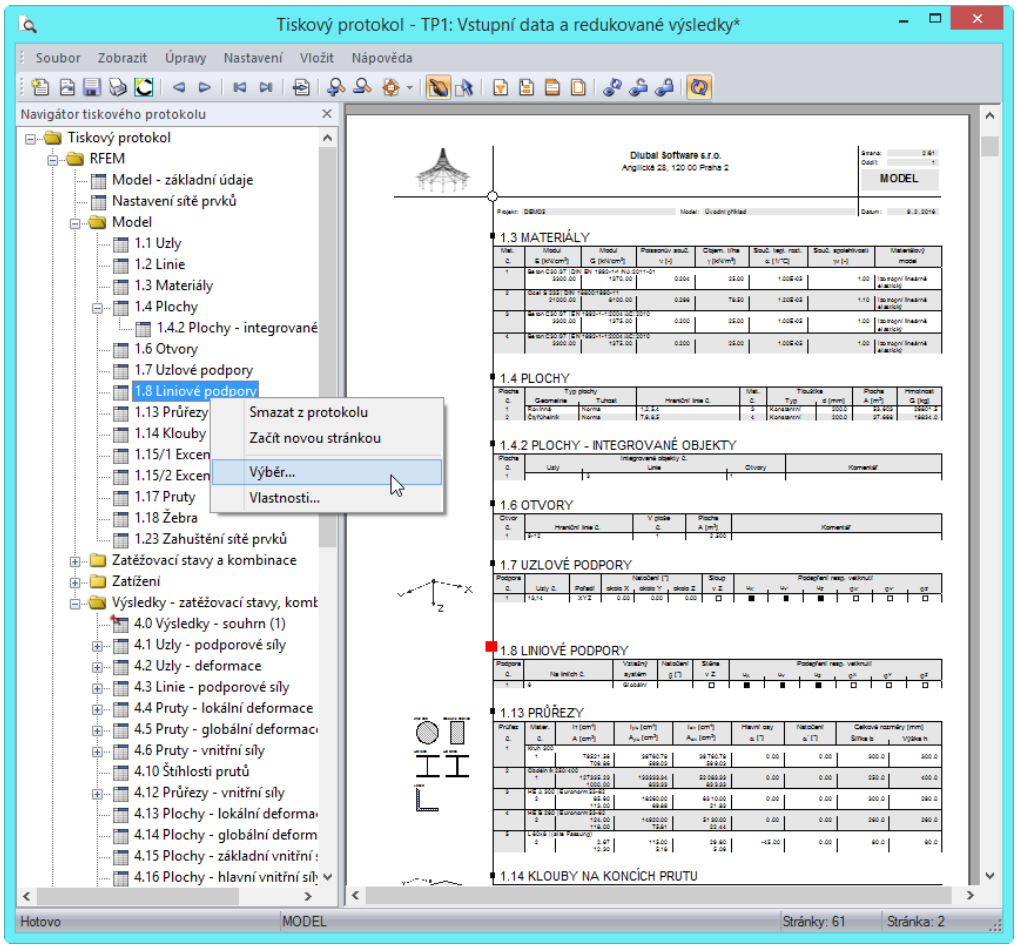
V seznamu v tomto dialogu vybereme požadovaný protokol.

Tlačítka, která tu vidíme, mají následující funkce:

	Vytvoří nový výstupní protokol.
	Smaže vybraný výstupní protokol.

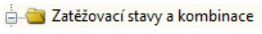
Tabulka 10.2 Tlačítka v dialogu *Správce protokolů*

10.1.2 Práce s výstupním protokolem



Obrázek 10.4 Výstupní protokol s místní nabídkou

Po vytvoření protokolu se v levé části okna zobrazí navigátor protokolu, vpravo náhled stránek protokolu tak, jak by měly vypadat v tištěném dokumentu.



Symbol a název

Jednotlivé kapitoly protokolu lze libovolně přesouvat v navigátoru protokolu pomocí funkce Drag & Drop. Je třeba upozornit na následující. Pokud určitou kapitolu přesuneme myší na **symbol** (symbol složky na obrázku vlevo), objeví se tam bod a kapitola se doplní jako podkapitola. Jestliže ji ovšem myší posuneme na **název** („text“), objeví se pod kapitolou čára. Objekt se poté za kapitolu vloží na stejné úrovni.

Pokud měníme pořadí několika kapitol, doporučujeme vypnout [okamžitou aktualizaci].

Místní nabídka navigátoru

Místní nabídka (viz obr. 10.4) nabízí další funkce pro úpravu protokolu. Jak je ve Windows běžné, lze provést vícenásobný výběr pomocí tlačítek [Ctrl] a [⇧].

Smazat z protokolu

Označená kapitola se z protokolu odstraní. Pokud ji budeme chtít do protokolu opět zařadit, upravíme výběr z hlavní nabídky **Úpravy → Výběr...**

Začít novou stránkou

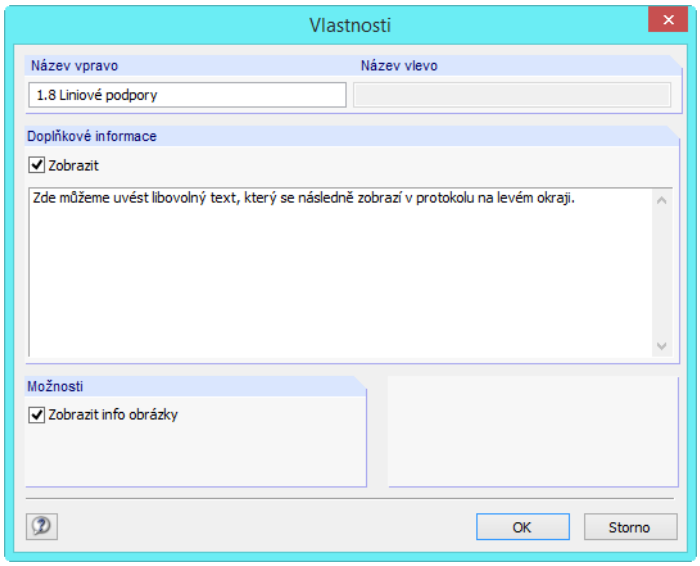
Označená kapitola se zobrazí na nové stránce. Kapitola je v navigátoru označena červenou šipkou (např. kapitola *Výsledky - shrnutí* na obr. 10.4).

Výběr

Otevře se dialog pro celkový výběr dat v protokolu, který podrobně popisujeme na následujících stránkách. Vybraná kapitola je tu již přednastavena k úpravám.

Vlastnosti

Otevře se dialog pro úpravu obecných vlastností kapitoly.



Obrázek 10.5 Dialog *Vlastnosti*

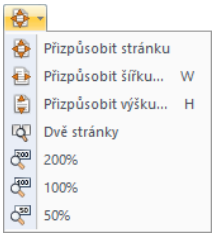
V tomto dialogu můžeme změnit *název* kapitoly a vložit *doplňkové informace*, které se v protokolu zobrazí na levém okraji stránky. Tyto informace lze stejně jako případné *info obrázky* (např. nákres průřezu, znázornění směrů zatížení atd.) zařazené do určité kapitoly aktivovat nebo deaktivovat.

Hledání ve výstupním protokolu

Nejjednodušším způsobem, jak nalistovat určitou stránku ve výstupním protokolu, je kliknout na příslušnou kapitolu v navigátoru.

V hlavní nabídce **Úpravy** pak máme k dispozici další funkce, které lze vyvolat i kliknutím na příslušná tlačítka v panelu nástrojů protokolu.

	V náhledu zobrazí předchozí stránku.
	V náhledu zobrazí následující stránku.
	V náhledu zobrazí první stránku.
	V náhledu zobrazí poslední stránku.
	Otevře dialog, v němž se zadá číslo stránky, která se má v náhledu zobrazit.



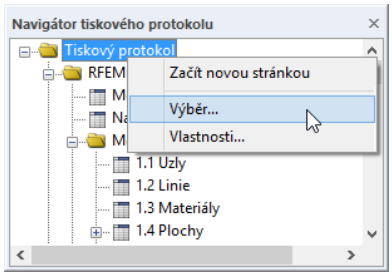
	Zvětší zobrazení náhledu.
	Zmenší zobrazení náhledu.
	Rozbalovací tlačítko s několika funkcemi zoomu slouží k úpravě velikosti zobrazení.
	Režim pohybu: Pomocí myši se lze pohybovat v tiskovém protokolu.
	Režim výběru: Kapitoly lze vybírat a editovat kliknutím myší.
	Okamžitá aktualizace: Změny v navigátoru se zobrazí v náhledu (viz vysvětlení v databázi znalostí).

Tabulka 10.3 Tlačítka pro vyhledávání v panelu nástrojů tiskového protokolu

10.1.3 Zadání obsahu protokolu

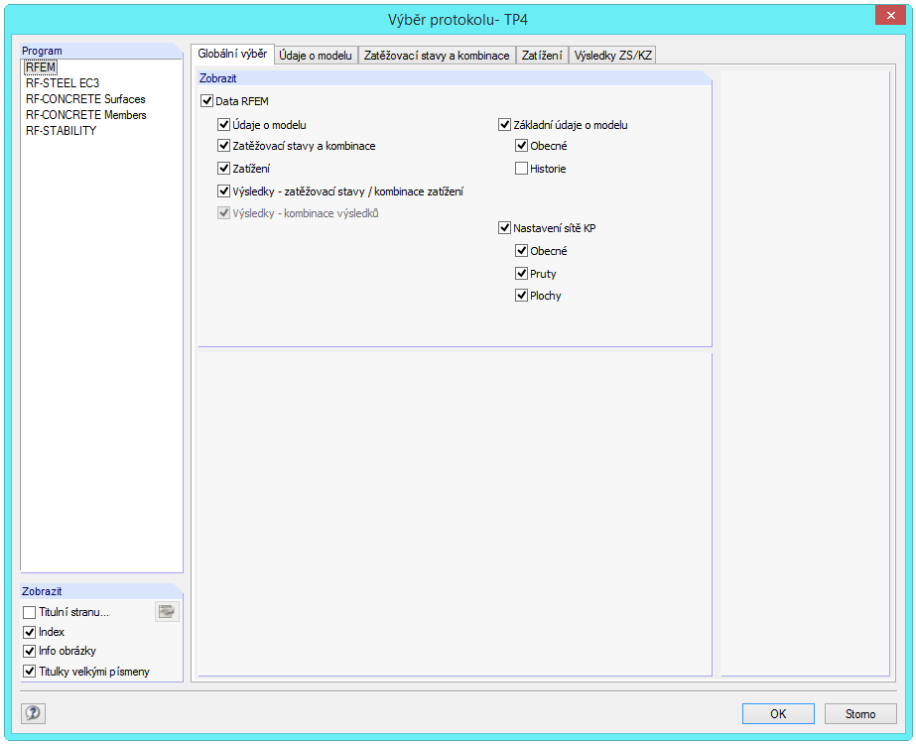
V celkovém výběru lze určit, které kapitoly budou zařazeny do výstupního protokolu. Tato funkce je přístupná z nabídky **Upravit → Výběr**,

kliknutím na tlačítko v panelu nástrojů, které vidíme na levém okraji, nebo z místní nabídky položky *Tiskový protokol* v navigátoru.



Obrázek 10.6 Otevření dialogu pro výběr celkového obsahu *tiskového protokolu*příkazem z místní nabídky

Otevře se následující dialog:



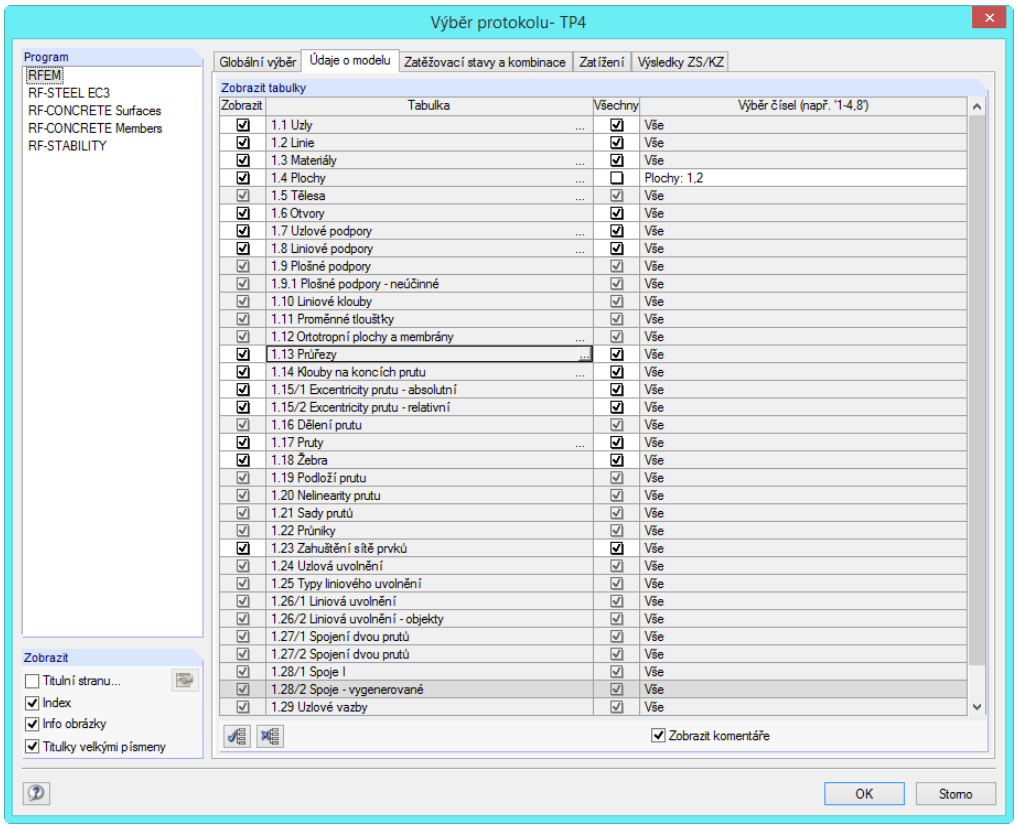
Obrázek 10.7 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Globální výběr*

V sekci *Program* je uveden seznam všech modulů, v nichž byly zadány vstupní údaje. Pokud v něm vybereme určitý program, můžeme v pravé části dialogu v jednotlivých záložkách zaškrtnout kapitoly, které si přejeme vytisknout.

V záložce *Globální výběr* jsou uvedeny hlavní kapitoly protokolu. Pokud některou z nich deaktivujeme, zmizí i příslušná záložka s detailním výběrem jejích podkapitol.

V sekci *Zobrazit* v levém dolním rohu vidíme čtyři zaškrtávací políčka. Pomocí nich můžeme stanovit, zda se mají v protokolu zobrazit *titulní strana*, *obsah* či malé *info* obrázky na okraji protokolu nebo zda se mají titulky psát velkými písmeny.

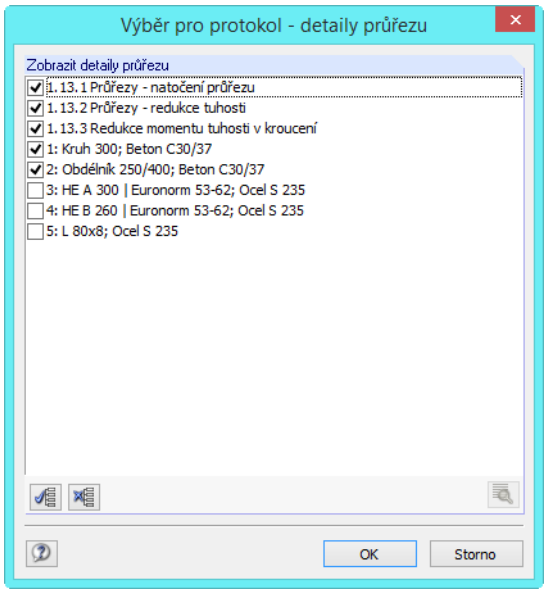
10.1.3.1 Výběr údajů o modelu



Obrázek 10.8 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Údaje o modelu*

V prvním sloupci *Zobrazit* lze určit, které kapitoly se v protokolu objeví.

Některé tabulky mají podkapitoly. Pokud se tak např. kurzor myši nachází v poli *1.13 Průřezy* a klikneme na tlačítko ..., otevře se další dialog. V něm můžeme stanovit průřezy, jejichž detaily se ve výstupním protokolu zobrazí. Pokud pak v tomto dialogu klikneme na tlačítko , zobrazí se dialog, v němž lze podrobně nastavit příslušné údaje pro tisk.

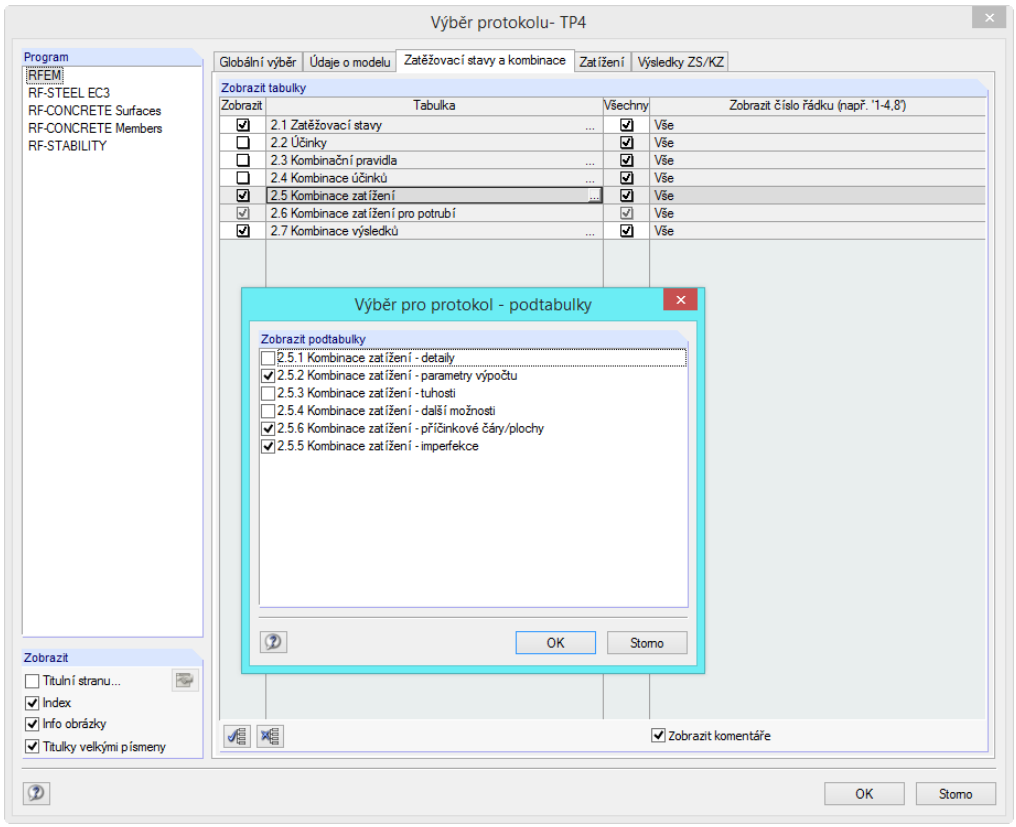


Obrázek 10.9 Dialog *Výběr pro protokol - detaily průřezu*

Výstupní protokol vychází z tabulek se vstupními údaji, které jsou popsány v kapitole 4. Pokud ve třetím sloupci *Všechny* v dialogu pro výběr obsahu protokolu zaškrtneme políčko na některém řádku, převezmou se do výstupního protokolu všechny řádky tabulky dané položky. Jestliže toto políčko odškrtneme, můžeme v posledním sloupci *Výběr čísel* vyplnit čísla řádků tabulky, které se mají vytisknout.

Pro zadání čísel v posledním sloupci doporučujeme použít opět tlačítko ... na konci vstupního pole: uzly, linie, plochy, pruty, sady prutů, otvory a tělesa pak můžeme vybrat v grafickém okně v RFEMu. U ostatních objektů se po kliknutí na toto tlačítko zobrazí seznam všech řádků tabulky.

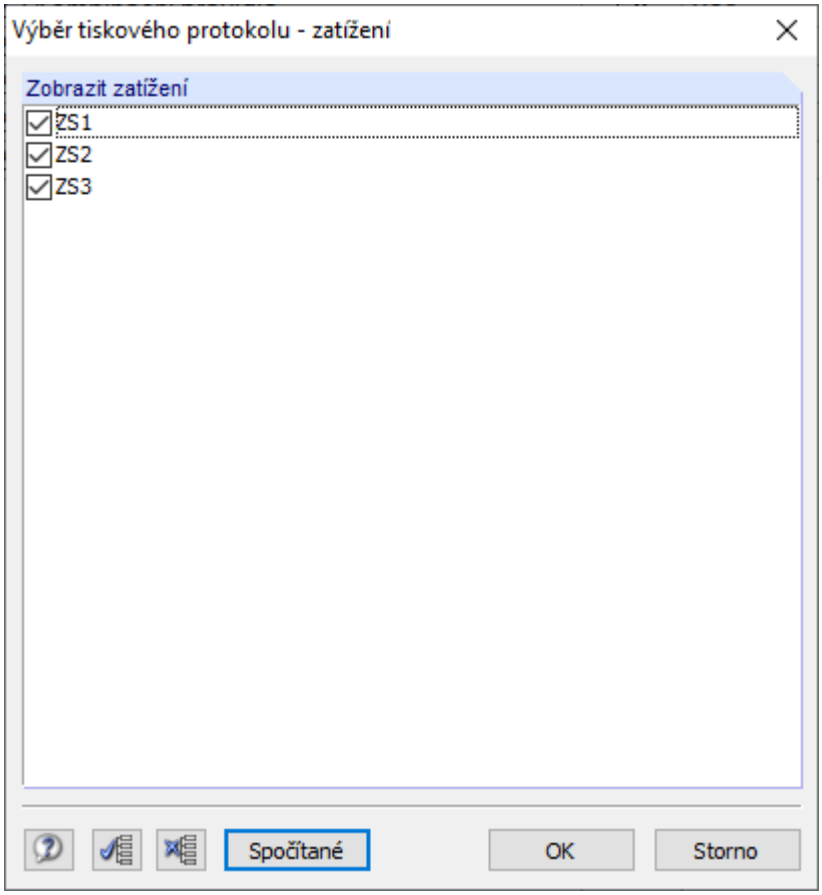
10.1.3.2 Výběr zatěžovacích stavů a kombinací



Obrázek 10.10 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Zatěžovací stavy a kombinace* s podtabulkami

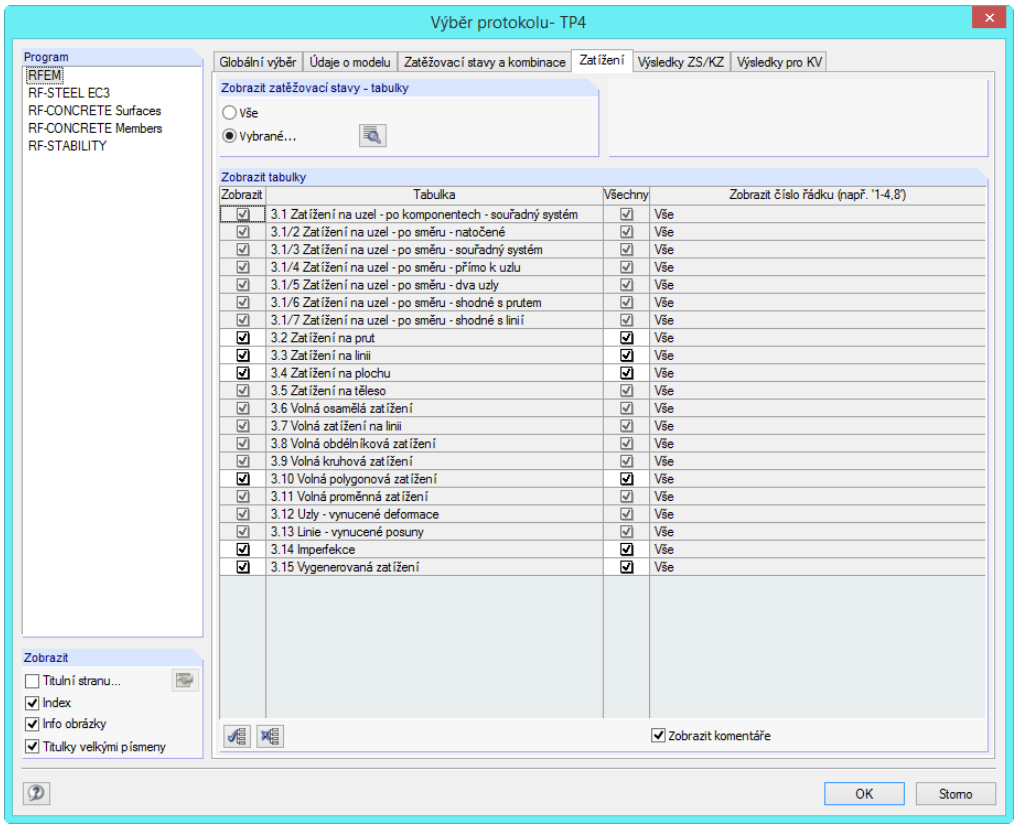
V dané záložce stanovíme, které základní údaje o zatěžovacích stavech a kombinacích se objeví ve výstupním protokolu. Po kliknutí na tlačítko ... na konci vstupního políčka se otevře dialog, v němž můžeme vybrat konkrétní *podtabulky*.

Ve sloupci *Zobrazit číslo řádku* lze po kliknutí na tlačítko ... vybrat konkrétní položky z tabulky (zatěžovací stavy, účinky, kombinační pravidla atd.) do dokumentace (viz předchozí kapitola 10.1.3.1).



Obrázek 10.11 Výběr kombinací účinků

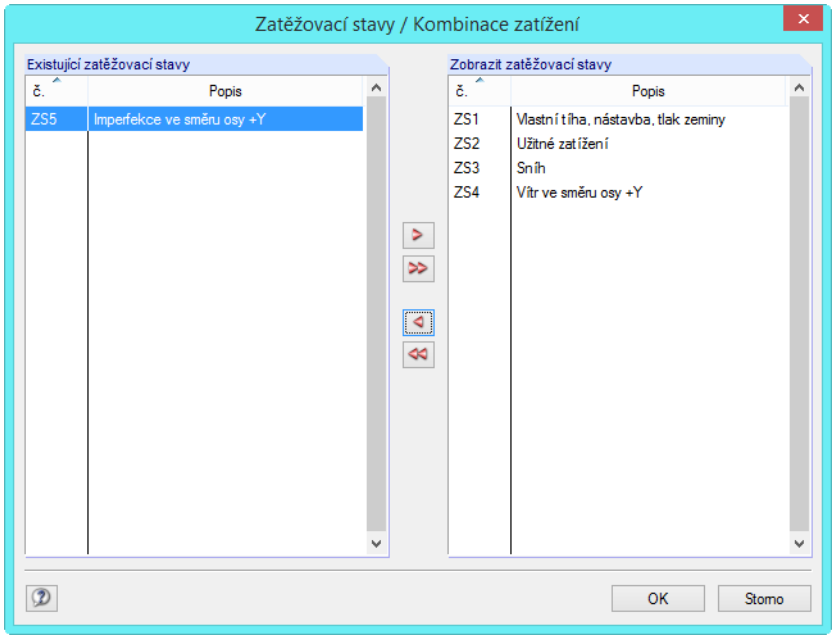
10.1.3.3 Výběr údajů o zatížení



Obrázek 10.12 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Zatížení*

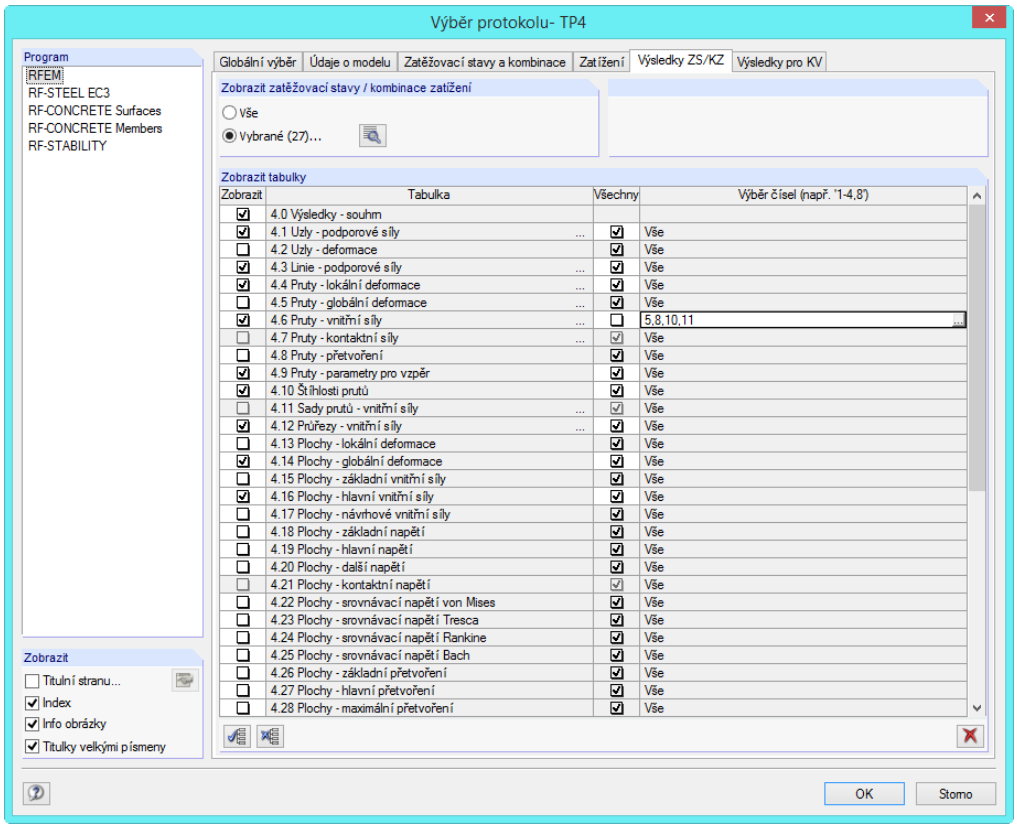
Výběr údajů o zatížení z tabulek probíhá podobně jako výběr údajů o konstrukci, který jsme popsali v kapitole 10.1.3.1.

V této záložce se nám pak nabízejí specifické možnosti pro výběr dat. V sekci *Zobrazit zatěžovací stavy - tabulky* můžeme určit, zda se vytisknou vstupní údaje všech nebo pouze některých zatěžovacích stavů. Pokud zaškrtneme volbu *Vybrané...*, aktivuje se nám tlačítko . Po kliknutí na něj se otevře dialog, v němž vybereme požadované zatěžovací stavy.



Obrázek 10.13 Výběr zatěžovacích stavů

10.1.3.4 Výběr výsledků



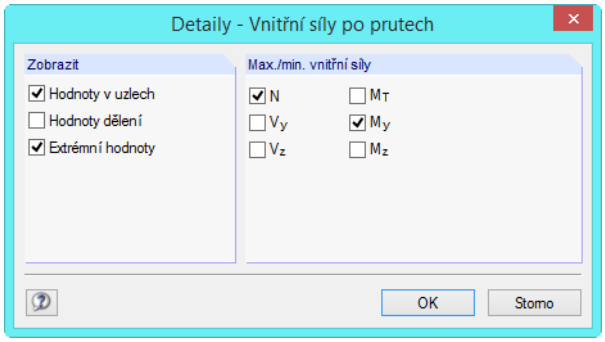
Obrázek 10.14 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Výsledky ZS/KZ*

Výběr obvykle objemných výsledných dat do protokolu se provádí ve dvou záložkách. V záložce *Výsledky ZS/KZ* můžeme vybrat výsledky zatěžovacích stavů a kombinací zatížení. V záložce *Výsledky pro KV* určíme, které výsledky se zařadí do protokolu pro kombinace výsledků.

Výsledky se vybírají do protokolu podobně jako údaje o zatížení (viz kapitola 10.1.3.3): pokud chceme vytisknout výsledky pouze některých zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení, označíme volbu *Vybrané…* v horní sekci dialogu.

V sekci *Zobrazit tabulky* se vybírají tabulky nebo jednotlivé řádky tabulek tak, jak je popsáno v kapitole 10.1.3.1. Ve sloupci *Výběr čísel* můžeme uvést čísla určitých objektů nebo je můžeme vybrat i v grafickém okně po kliknutí na tlačítko na konci řádku.

Na konci některých políček ve sloupci *Tabulka* vidíme tři tečky, které odkazují na tlačítko . Po kliknutí na příslušný řádek se tlačítko zpřístupní. Slouží k otevření dialogu pro detailní nastavení výběrových kritérií jako např. pro vnitřní síly na prutech.



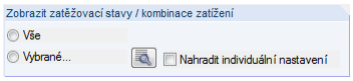
Obrázek 10.15 Dialog *Detaily — Vnitřní síly po prutech*

Výsledky lze u každého prutu načíst pro:

- počáteční a koncový uzel
- vnitřní uzly podle zadaného dělení prutu (viz kapitola 4.16)
- extrémní hodnoty (*Max/Min*) výsledků (viz kapitola 8.6)

Výběr je propojen s nastavením filtru tabulek (viz obr. 11.122).

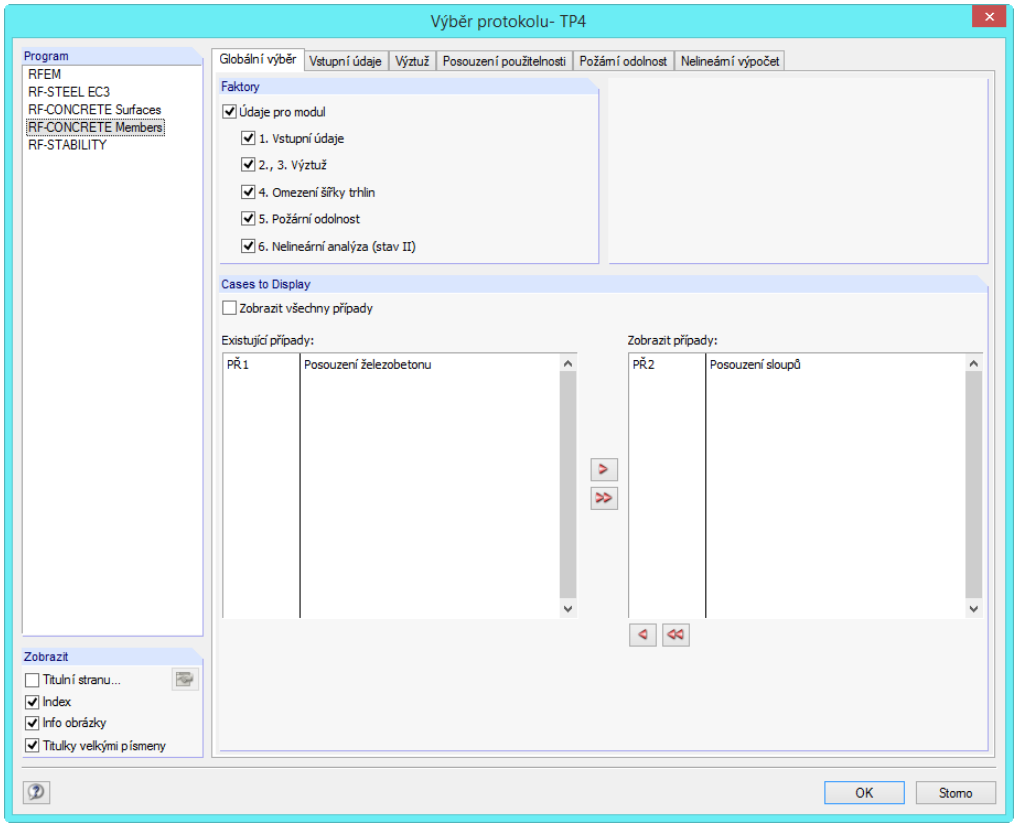
Rozsah tiskového výstupu můžeme výrazně omezit, pokud vybereme do dokumentace opravdu jen nezbytné výsledky.



Pokud si přejeme zařadit do výstupního protokolu různé výstupní údaje několika zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení (např. vnitřní síly KZ1, podporové síly KZ2), je třeba nejdříve zadat globální výběr. Jakmile je protokol sestaven, můžeme odstranit méně důležité výsledky tak, že smažeme příslušné položky v navigátoru. Abychom výběr opět nepřepsali globálním nastavením, zobrazí se navíc při dalším otevření dialogu *Výběr protokolu* zaškrtávací políčko *Nahradit individuální nastavení* (viz příklad v databázi znalostí).

10.1.3.5 Výběr dat z přídavných modulů

Do výstupního protokolu pro tisk lze zařadit kromě dat z RFEMu i údaje ze všech přídavných modulů. Lze je zpracovat v jednom výstupním protokolu společně s daty z RFEMu nebo v samostatných protokolech. V případě rozsáhlých konstrukcí s mnoha návrhovými stavy přispívá rozdělení dat do několika výstupních protokolů k větší přehlednosti.



Obrázek 10.16 Dialog *Výběr protokolu*, záložka *Globální výběr* modulu **RF-CONCRETE Members**

V seznamu v sekci *Program* jsou obsaženy kromě RFEMu všechny moduly, v nichž byla zadána data. Pokud v tomto seznamu označíme určitý modul, lze v pravé části dialogu v jednotlivých záložkách vybrat kapitoly pro tisk.

V záložce *Globální výběr* vidíme seznam hlavních kapitol, do nichž jsou rozděleny údaje v daném přídavném modulu. Pokud odškrtneme určitou položku, zmizí současně příslušná záložka pro detailní nastavení kapitoly.

V sekci *Zobrazit případy* je přednastavena volba *Zobrazit všechny případy*. Pokud chceme do výstupního protokolu zařadit pouze některé návrhové stavy, je třeba zrušit zaškrtnutí tohoto kontrolního políčka. Pak můžeme případy, které se v protokolu nemají objevit, přesunout ze seznamu *Zobrazit případy* do seznamu *Existující případy*.

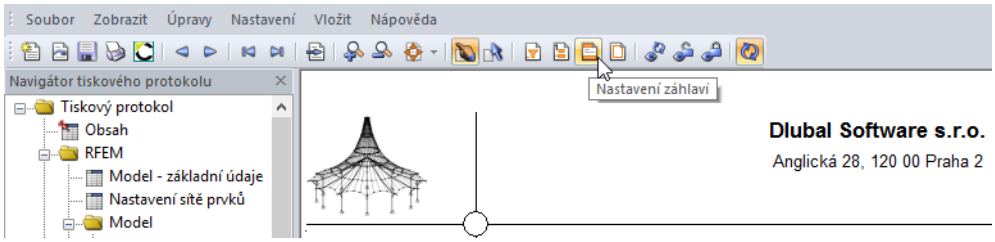
Výběr dat v záložkách pro podrobné nastavení vstupních a výstupních dat probíhá tak, jak jsme popsali v kapitolách 10.1.3.1 a 10.1.3.4.

10.1.4 Úprava záhlaví a zápatí protokolu

Již při instalaci se přednastaví tisková hlavička z dat zákazníka. Tyto údaje lze ve výstupním protokolu upravit z hlavní nabídky

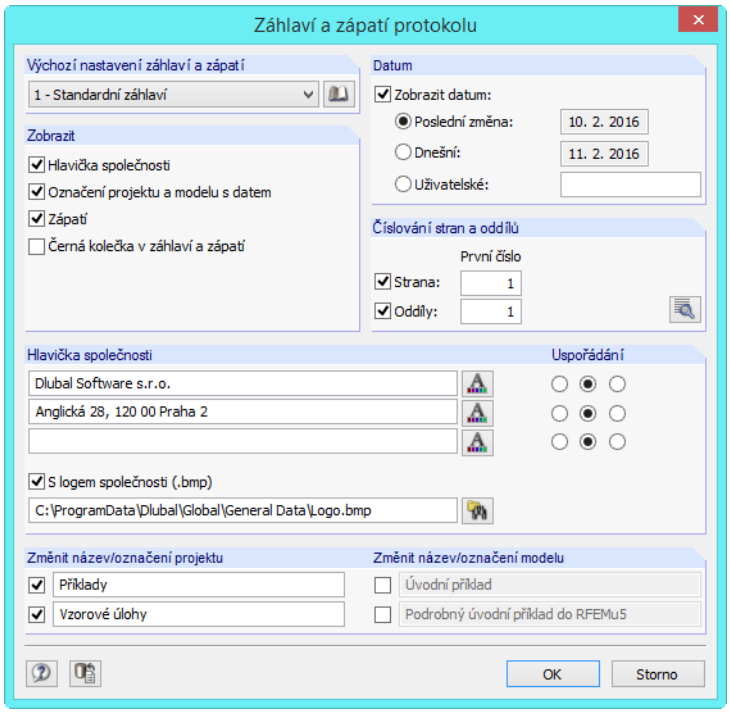
Nastavení → Záhlaví...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů ve výstupním protokolu.



Obrázek 10.17 Tlačítko *Nastavení záhlaví*

Otevře se následující dialog:

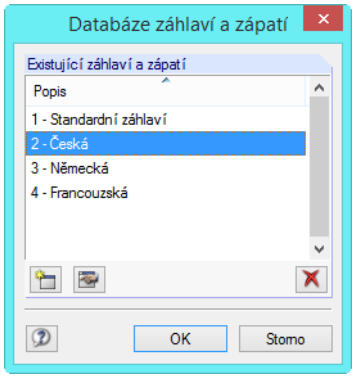


Obrázek 10.18 Dialog *Záhlaví a zápatí protokolu*

Výchozí nastavení záhlaví a zápatí

Pokud máme k dispozici několik hlaviček, můžeme hodící se hlavičku vybrat ze seznamu.

Přístup k různým hlavičkám zajišťuje také tlačítko . V dialogu, který se otevře, můžeme hlavičky vytvářet, upravovat nebo mazat.



Obrázek 10.19 Dialog *Databáze záhlaví a zápatí*

Tlačítka v *Databázi záhlaví a zápatí* mají následující funkce:

	Slouží k vytvoření nového záhlaví a zápatí. Otevře se dialog, v němž lze hlavičku nastavit. Dialog má stejnou strukturu jako dialog *Záhlaví a zápatí protokolu* (viz obr. 10.18).
	Umožňuje upravovat vlastnosti vybrané hlavičky.
	Slouží ke smazání hlavičky vybrané v seznamu.

Tabulka 10.4 Tlačítka v dialogu *Databáze záhlaví a zápatí*

Hlavičky se obvykle ukládají do souboru **DlubalProtocolConfigNew.cfg** v kmenovém adresáři *C:\ProgramData\Dlubal\Global\General Data*. Ačkoli by tento soubor neměl být při instalaci updatu přepsán, doporučujeme pro všechny případy před instalací vytvořit záložní soubor.

Zobrazit

V této sekci určíme, jaké prvky se objeví v hlavičce, resp. v rozvržení stránky ve výstupním protokolu.

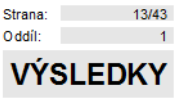
Volba *Info řádek pod hlavičkou společnosti* se týká údajů o projektu, modelu a kalendářním datu (viz níže). Název projektu se nastavuje ve správci projektů v základních údajích projektu (viz kapitola 12.1.1). Název modelu se převezme ze základních údajů modelu (viz kapitola 12.2). Tyto údaje můžeme pro výstupní protokol upravit v sekcích *Změnit název/označení projektu* a *Změnit název/označení modelu* (viz níže).

Uživatel může také rozhodnout, zda se na stránce objeví *zápatí* a *černá kolečka* na průsečíku okrajové linie a linie v záhlaví a zápatí.

Datum

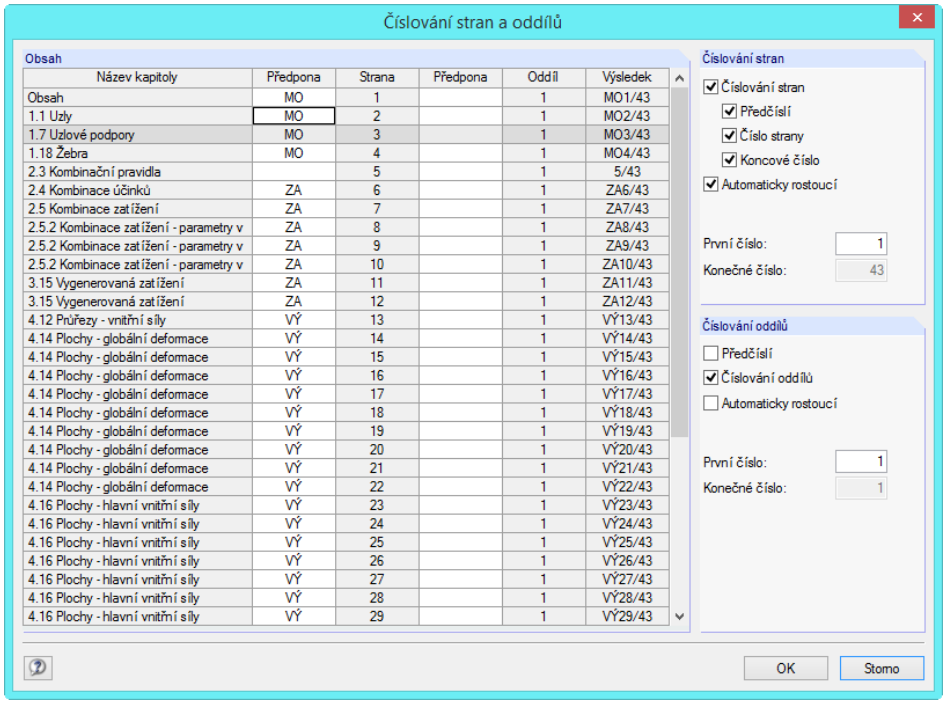
Datum v hlavičce lze nastavit buď automaticky nebo ho může uvést

Číslování stran a oddílů



Pokud pro *stranu* i *oddíl* zadáme standardní čísla a zaškrtneme kontrolní políčka, budou jednotlivé strany průběžně očíslovány v rámci jednoho oddílu (viz obrázek vlevo).

Po kliknutí na tlačítko můžeme číslování podrobně nastavit.



Obrázek 10.20 Dialog *Číslování stran a oddílů*

Uživatel v tomto dialogu například může nastavit číslování stran s *předčíslím*. Může se jednat o zkratku, která se objeví před číslem všech stran v kapitole (např. zkratka „MO“ pro všechny strany s údaji o modelu). Tento dialog také určuje, zda se má zobrazit také *koncové číslo*, např. „strana: MO3/25“.

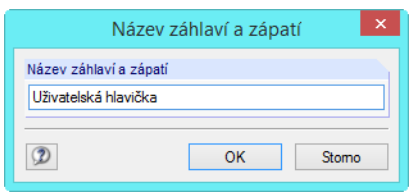
Pokud zaškrtneme políčka *Automaticky rostoucí*, bude číslování stran, resp. oddílů průběžné. U číslování stran i oddílů lze dále zadat *první číslo*. Výsledek zadání číslování se dynamicky zobrazí ve sloupci *Výsledek* v tabulce.

Hlavička společnosti

V této sekci dialogu *Záhlaví a zápatí protokolu* vidíme údaje načtené z dat zákazníka, které tu lze případně upravit. K dispozici máme tři vstupní pole, která odpovídají jednotlivým řádkům hlavičky. Pomocí tlačítka lze pro každý řádek nastavit typ a řez písma. V sekci *Uspořádání* lze samostatně u každého řádku nastavit i jeho zarovnání.

K hlavičce lze připojit logo společnosti . Objeví se v její levé části. Logo může být ve formátu *.jpg, *.png, *.gif nebo *.bmp. Načteme ho pomocí tlačítka .

Pokud chceme uložit upravenou tiskovou hlavičku a nastavit ji jako standard, klikneme ve spodní části dialogu na tlačítko . Otevře se dialog *Název záhlaví a zápatí*, v němž vyplníme název hlavičky. Tato hlavička se pak v seznamu objeví jako *výchozí*.



Obrázek 10.21 Dialog *Název záhlaví a zápatí*

Změnit název/označení projektu, resp. modelu

V obou daných sekcích se automaticky vyplní názvy a popisy projektu a modelu, které v základních údajích uvedl uživatel. Pokud chceme tato data upravit, musíme příslušná políčka zaškrtnout. Políčka se tím zpřístupní.

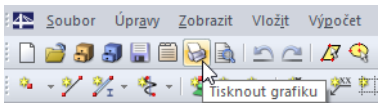
10.1.5 Vložení obrázku z RFEMu

Každý obrázek v grafickém okně v RFEMu lze začlenit do výstupního protokolu. Do protokolu lze převzít i průběhy výsledků na řezech, prutech a liniových podporách a také detaily průřezů kliknutím na tlačítko v daném okně.

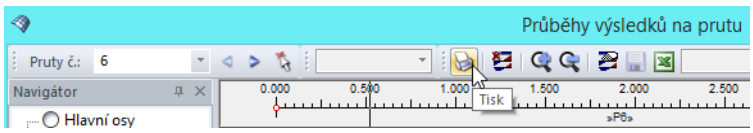
Aktuální grafické zobrazení v RFEMu lze vytisknout příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Tisk grafiky...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

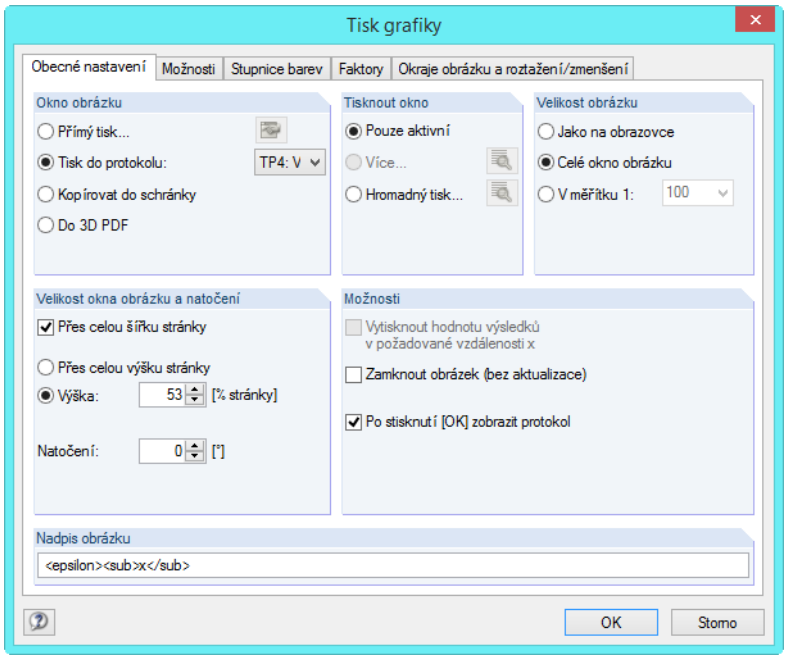


Obrázek 10.22 Tlačítko *Tisknout grafiku* v panelu nástrojů v hlavním okně



Obrázek 10.23 Tlačítko *Tisk* v panelu nástrojů v okně s *průběhy výsledků*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 10.24 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Obecné nastavení*

Okno obrázku

V dané sekci je třeba označit volbu *Tisk do protokolu*. Pokud je k dispozici několik výstupních protokolů, vybereme v seznamu vedle přepínače číslo požadovaného protokolu.

Možnosti

Zamknout obrázek (bez aktualizace)

Obvykle se vytvoří dynamické grafiky. To znamená, že pokud se změní model konstrukce nebo výsledky, automaticky se upraví i grafická zobrazení ve výstupním protokolu. Pokud se však chceme vyhnout případným problémům, které by mohly při zpracování vzniknout v případě vysokého počtu obrázků ve výstupním protokolu, můžeme zaškrtnout políčko *Zamknout obrázek (bez aktualizace)*, a tím zabránit dynamické aktualizaci.

Obrázek lze později ve výstupním protokolu opět odemknout, pokud klikneme v navigátoru protokolu na název příslušného obrázku pravým tlačítkem myši a otevřeme jeho místní nabídku (viz obr. 10.4). V ní vybereme položku *Vlastnosti...*, a otevřeme tak znovu dialog *Tisk grafiky*. Další možností je vybrat obrázek v navigátoru protokolu a zvolit funkci v hlavní nabídce **Úpravy → Vlastnosti...**

Vytvářet statické, resp. dynamické obrázky lze také pomocí speciální skupiny tlačítek ve výstupním protokolu (viz obr. 10.4). Jednotlivá tlačítka mají následující funkce:

	Slouží k aktualizaci všech obrázků.
	Slouží k odemknutí všech obrázků; obrázky mohou být pak následně dynamicky aktualizovány.
	Slouží k uzamknutí všech obrázků; obrázky v protokolu jsou pak statické.

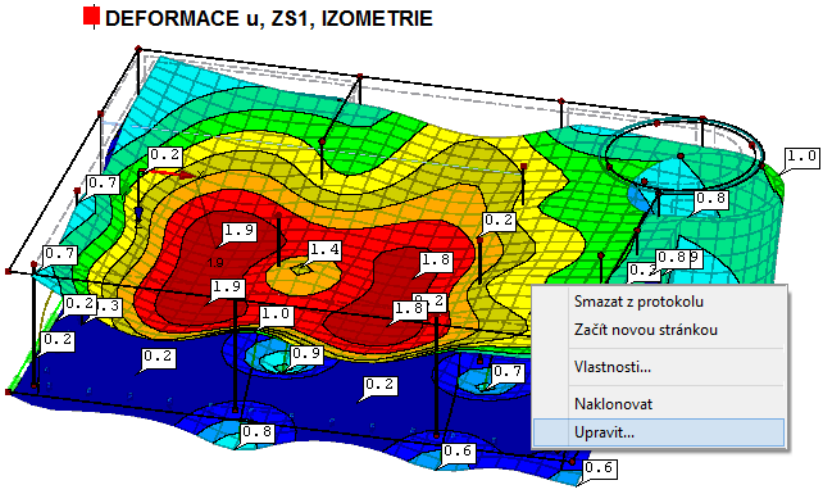
Tabulka 10.5 Tlačítka grafiky v protokolu

Po stisknutí [OK] zobrazit protokol

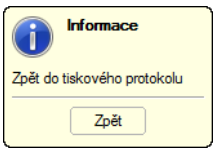
Pokud zavřeme dialog kliknutím na tlačítko [OK], zobrazí se obvykle výstupní protokol pro kontrolu dat k tisku. To však může být v některých případech na závadu, zvláště pokud například chceme do protokolu včlenit několik obrázků po sobě. Vyvolání protokolu zabráníme tak, že zrušíme označení příslušného políčka.

Ostatní funkce a záložky dialogu popisujeme v kapitole 10.2.

Úprava obrázku ve výstupním protokolu



Obrázek 10.25 Místní nabídka obrázku ve výstupním protokolu



Z místní nabídky ve výstupním protokolu lze obrázek dodatečně upravovat.

Funkce *Vlastnosti...* umožňuje upravit například velikost, orámování a barvu obrázku. Příkaz *Upravit...* pak slouží ke změně náhledu (úhlu pohledu, zobrazení objektů, hodnot atd.) v pracovním okně RFEMu.

10.1.6 Vložení jiných zobrazení a textů

Do výstupního protokolu programu RFEM lze zařadit i jiná libovolná zobrazení a texty. Uživatel má k dispozici několik funkcí.

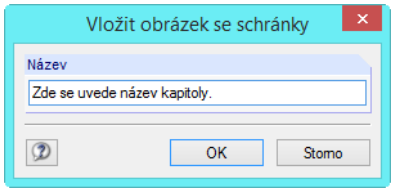
Vložení zobrazení

Pokud do protokolu chceme zařadit obrázek, který nebyl vytvořen jako grafika v programu RFEM, je třeba nejdříve otevřít daný soubor s obrázkem v některém grafickém programu (např. MS Paint). Grafika se v tomto programu zkopíruje pomocí kláves [Ctrl]+[C] do schránky.

Zobrazení lze pak následně vložit do výstupního protokolu příkazem z hlavní nabídky

Vložit → Obrázek ze schránky...

Otevře se dialog, v němž vyplníme nadpis obrázku.



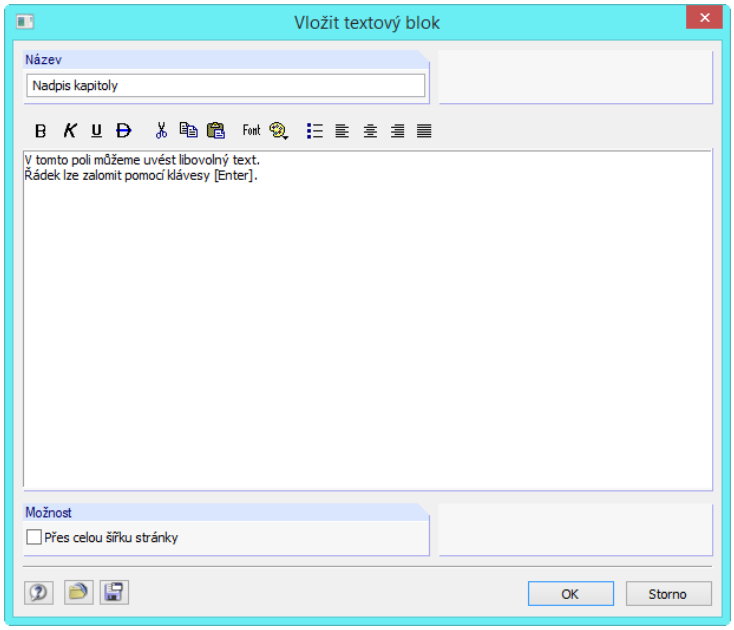
Obrázek 10.26 dialog *Vložit obrázek ze schránky*

Grafika bude následně zařazena do výstupního protokolu jako samostatná kapitola.

Vložení textu

Uživatel může do výstupního protokolu doplnit i vlastní krátké poznámky. Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky protokolu

Vložit → Textový blok...



Obrázek 10.27 Dialog *Vložit text*

Otevře se dialog, v němž vyplníme *název* a *text*. Po kliknutí na tlačítko [OK] se text zařadí jako nová kapitola na konec protokolu. Pomocí funkce Drag & Drop ji pak můžeme přesunout na požadované místo.

V režimu výběru (viz tabulka 10.3) lze text dodatečně upravovat, pokud na něj v okně dvakrát klikneme myší. Další možností je kliknout v navigátoru na nadpis kapitoly pravým tlačítkem myši a v místní nabídce pak vybrat položku *Vlastnosti...*

Textové soubory a soubory RTF

Uživatel má dále možnost zařadit do protokolu libovolné textové soubory ve formátu ASCII a také formátované soubory RTF včetně do nich vložených obrázků. Opakující se texty lze uložit do souboru a pomocí této funkce snadno vkládat do protokolu.

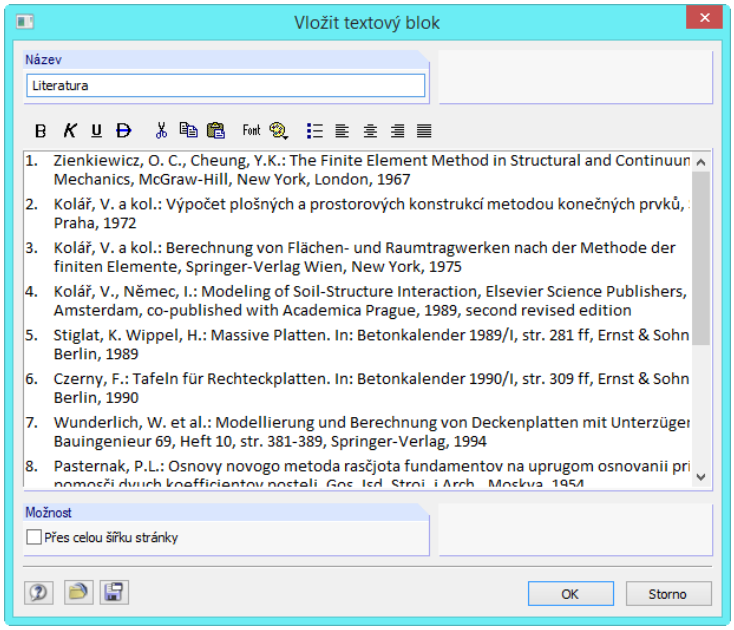
Tato funkce umožňuje včlenit do výstupního protokolu i posouzení z jiných programů, pokud máme příslušné výstupy k dispozici v souboru ASCII nebo RTF.

Textové soubory a soubory RTF lze do protokolu vložit z hlavní nabídky protokolu

Vložit → Textový soubor...

Zobrazí se standardní dialog Windows *Otevřít*, v němž vyhledáme příslušný soubor. Po kliknutí na tlačítko [Otevřít] se text zařadí jako nová kapitola na konec protokolu. Pomocí funkce Drag & Drop ji pak můžeme přesunout na požadované místo.

V režimu výběru (viz tabulka 10.3) lze text dodatečně upravovat, pokud na něj v okně dvakrát klikneme myší. Otevře se dialog *Vložit text*, v němž uživatel může provést změny.



Obrázek 10.28 Dialog *Vložit text*

10.1.7 Předloha protokolu

Výběr obsahu protokolu tak, jak ho popisujeme v kapitole 10.1.3, je poměrně zdlouhavý. Vybraný obsah je ovšem možné uložit včetně obrázků jako předlohu a později ho znovu použít i pro jiné modely. Předlohy umožňují podstatně zracionalizovat tvorbu výstupních protokolů.

Také již dříve vytvořený protokol lze později uložit jako předlohu.

Vytvoření nové předlohy

Nové předlohy se vytvářejí z hlavní nabídky protokolu:

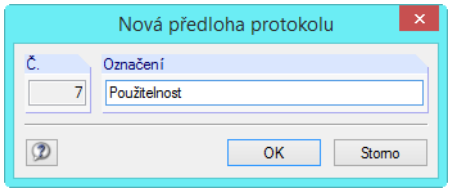
Nastavení → Předloha protokolu... → Nová...

Nastavení → Předloha protokolu... → Nová z aktuálního protokolu...

Nová

Nejdříve se otevře dialog pro výběr obsahu protokolu, který je popsán v kapitole 10.1.3.

V jednotlivých záložkách vybereme kapitoly, které chceme vytisknout. Po ukončení dialogu kliknutím na [OK] se otevře dialog, v němž vyplníme *označení* nové předlohy.



Obrázek 10.29 Dialog *Nová předloha protokolu*

Nová z aktuálního protokolu

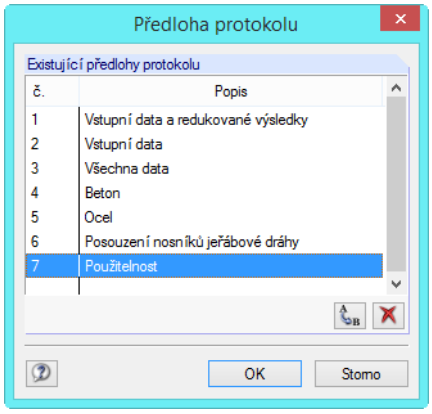
Nová předloha se vytvoří na základě aktuálně sestaveného protokolu. Je třeba pouze zadat označení nové předlohy v dialogu (viz obr. 10.29), který se po vyvolání příslušného příkazu z hlavní nabídky otevře.

Použití předlohy

V právě otevřeném protokolu lze převzít zadání z určité předlohy. V hlavní nabídce v okně protokolu vybereme

Nastavení → Předloha protokolu... → Vybrat...

Otevře se dialog se seznamem *Existující předlohy protokolu*, z něhož vybereme určitou předlohu.

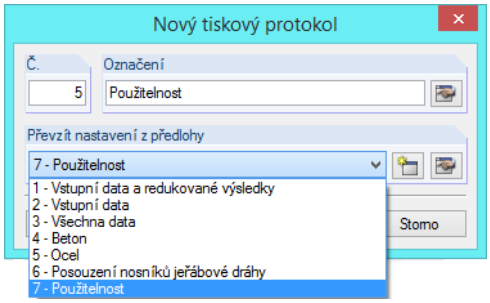


Obrázek 10.30 Dialog *Předloha protokolu*

Funkce tlačítek z tohoto dialogu uvádíme v tabulce 10.6.

Po potvrzení kontrolního dotazu se osnova v aktuálním protokolu přepíše osnovou z předlohy.

Pokud vytváříme nový protokol, lze v seznamu *Převzít nastavení z předlohy* vybrat předlohu, podle které bude sestaven obsah nového protokolu.



Obrázek 10.31 Dialog *Nový tiskový protokol* se seznamem předloh

Správa předloh

Předlohy se spravují v dialogu *Předloha protokolu*. Tento dialog vyvoláme příkazem z hlavní nabídky v okně protokolu

Nastavení → Předloha protokolu... → Vybrat...

Zobrazí se dialog, který vidíme na obr. 10.30. Funkce tlačítek v tomto dialogu uvádíme v následující tabulce. Lze je však použít pouze u předloh, které definoval sám uživatel.

	Slouží k přejmenování vybrané předlohy.

	Smaže vybranou předlohu.

Tabulka 10.6 Tlačítka v dialogu *Předloha protokolu*

Vzorové protokoly se ukládají do souboru **RfemProtocolConfig.cfg**, který se nachází v kmenovém adresáři RFEMu 5 C:*ProgramData**Dlubal**RFEM 5.xx**General Data*. Ačkoli by tento soubor neměl být při instalaci updatu přepsán, doporučujeme pro všechny případy před instalací vytvořit záložní soubor. Pokud zkopírujeme daný soubor, můžeme vzorové protokoly převést do jiného počítače.

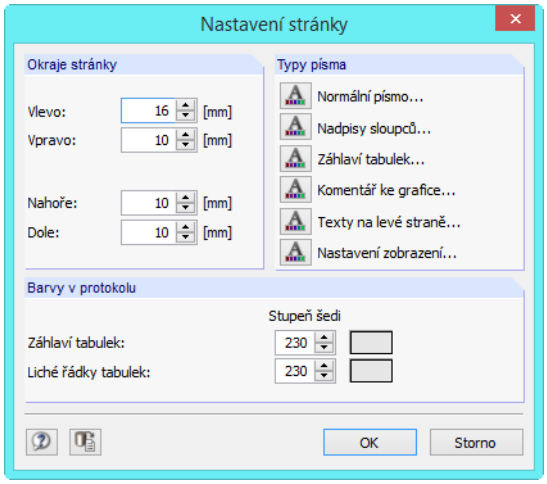
10.1.8 Úpravy uspořádání protokolu

Ve výstupním protokolu lze upravovat druh a barvu písma, nastavení okrajů stránky i vzhled tabulek.

Příslušný dialog vyvoláme příkazem z hlavní nabídky protokolu

Nastavení → Stránka...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů ve výstupním protokolu.



Obrázek 10.32 Dialog *Nastavení stránky*

Pro nadpisy v textu a ve sloupcích je nastavena poměrně malá velikost písma. Pokud chceme velikost přednastaveného písma **Arial** změnit, měli bychom postupovat opatrně. Mohlo by se totiž stát, že po zvolení většího písma se položky do příslušných sloupců nevejdou a nezobrazí se celé.

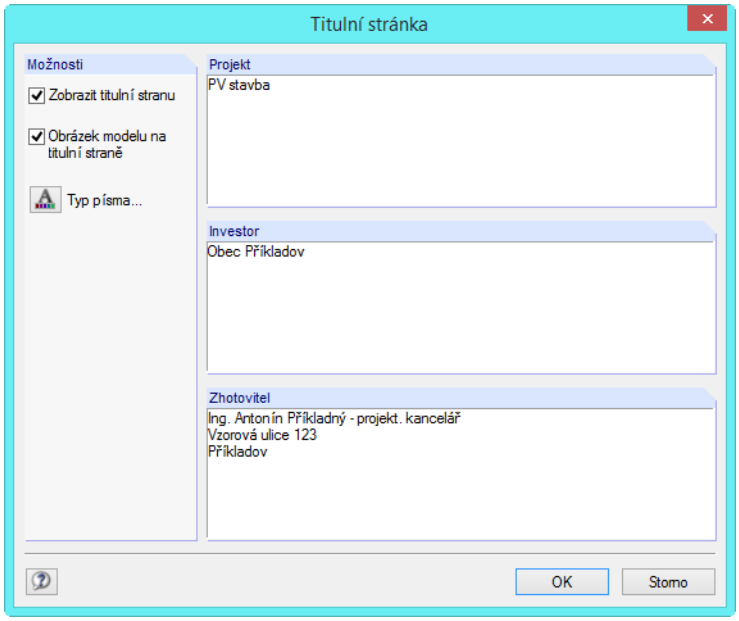
Nastavení uspořádání stránky platí i pro výstupní protokoly z přídavných modulů programu RFEM.

10.1.9 Vytvoření titulní stránky

K výstupnímu protokolu lze připojit titulní stránku. Dialog pro zadání titulní stránky otevřeme z hlavní nabídky v okně protokolu

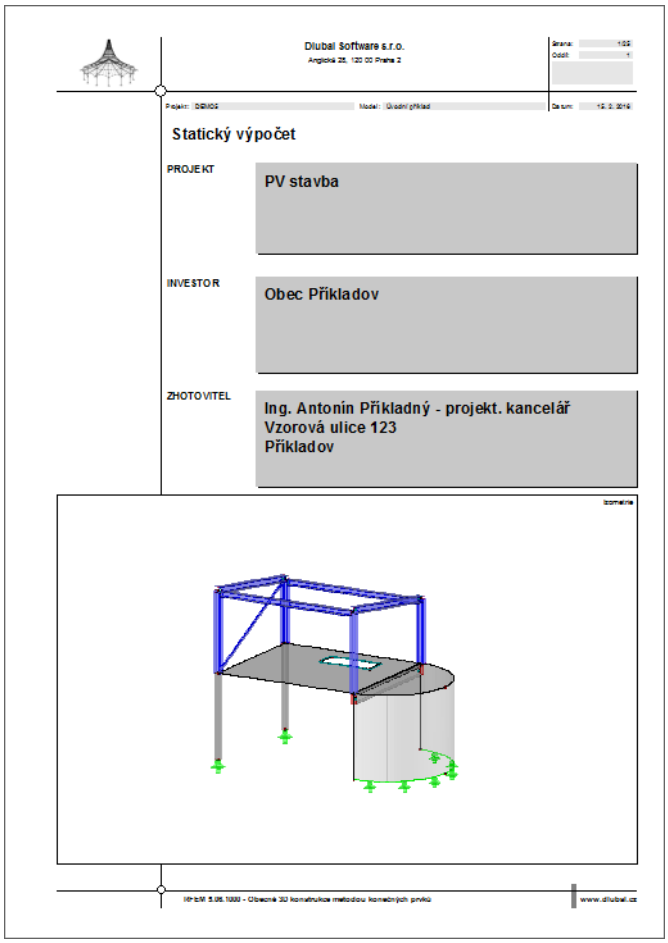
Nastavení → Titulní stránka...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů ve výstupním protokolu.



Obrázek 10.33 Dialog *Titulní stránka*

V tomto dialogu zadáme všechny potřebné údaje, klikneme na [OK] a titulní strana protokolu se vytvoří.



Obrázek 10.34 Titulní stránka ve výstupním protokolu

Obsah titulní stránky lze později upravovat v režimu výběru (viz tabulka 10.3), pokud na ni dvakrát

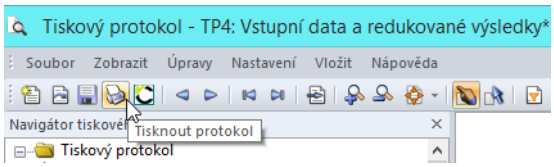
klikneme v okně. Další možností je kliknout v navigátoru na položku Tit. stránka pravým tlačítkem myši a v místní nabídce pak vybrat položku *Vlastnosti...*

10.1.10 Tisk protokolu

Vlastní proces tisku spustíme příkazem z hlavní nabídky

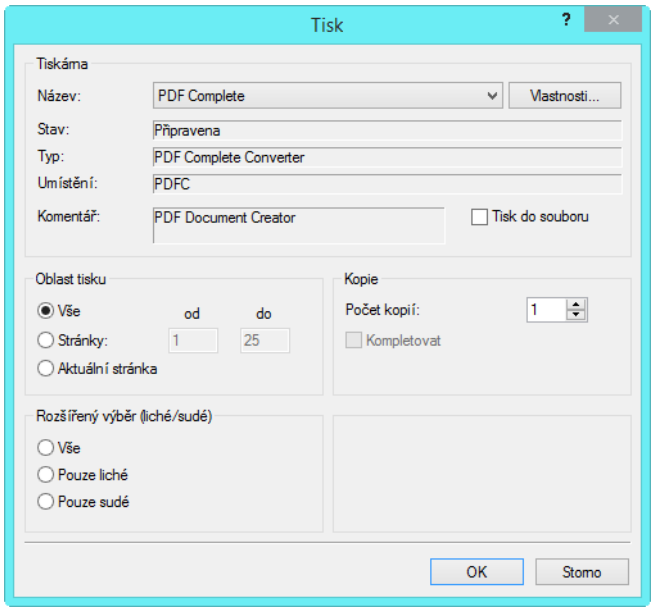
Soubor → Tisk...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů protokolu.



Obrázek 10.35 Tlačítko *Tisknout protokol*

Otevře se standardní dialog systému Windows pro tisk. V něm vybereme tiskárnu, na kterou se protokol odešle, a zadáme stránky, které si přejeme vytisknout.



Obrázek 10.36 Dialog *Tisk*

Pokud v tomto dialogu nevybereme standardní tiskárnu, použitou v základním nastavení, může se stát, že stránky budou jinak zalomeny, a počet vytištěných stránek tak bude jiný než v náhledu v RFEMu.

Pokud zaškrtneme volbu *Tisk do souboru*, vytvoří se tiskový soubor ve formátu PRN. Příkazem **kopírovat** ho pak můžeme odeslat na tiskárnu.

10.1.11 Export protokolu

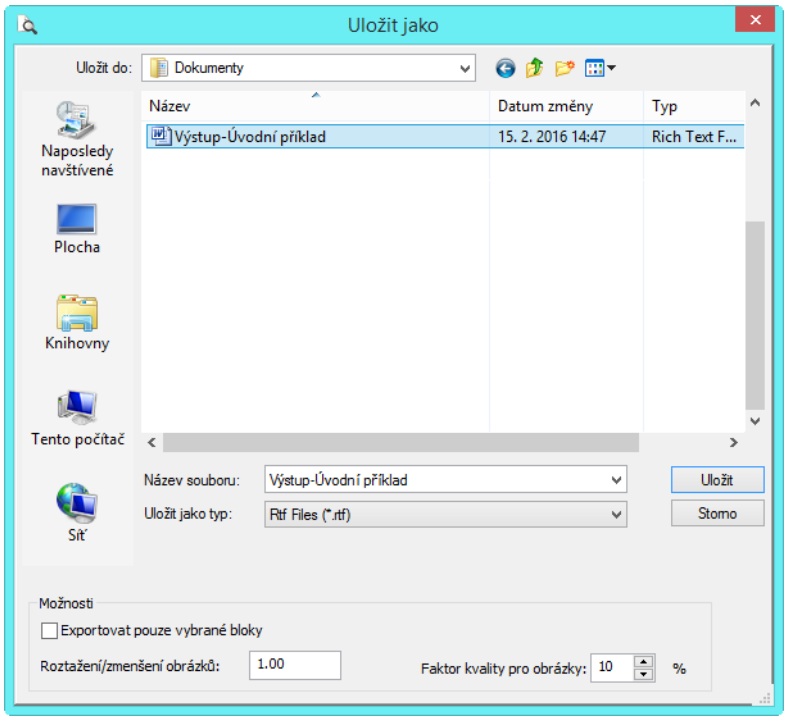
RFEM nabízí možnost exportovat protokol do různých formátů nebo přímo do programu *VCmaster*.

Export do souboru RTF

Všechny běžné textové procesory podporují RTF formát. Export protokolu včetně obrázků do souboru RTF spustíme příkazem z hlavní nabídky v okně protokolu

Soubor → Export do RTF...

Otevře se dialog systému Windows *Uložit jako*.



Obrázek 10.37 Dialog *Uložit jako*

V tomto dialogu zadáme cestu k souboru a jeho název. Pokud aktivujeme políčko *Exportovat pouze vybrané bloky*, pak nebude exportován celý protokol, ale pouze kapitoly, které jsme vybrali v navigátoru.

Export do souboru PDF

Integrovaná tiskárna pro tisk do formátu PDF umožňuje uložit protokol jako PDF soubor. V hlavní nabídce v okně protokolu vybereme

Soubor → Export do PDF...

Otevře se dialog systému Windows *Uložit jako* (viz obr. 10.37), v němž zadáme cestu k souboru a jeho název. V sekci *Popis*, která se v tomto dialogu navíc zobrazí, můžeme uvést k vytvářenému PDF souboru i poznámky.

V PDF souboru se vytvoří také záložky, pomocí nichž se lze snáze orientovat v digitálním dokumentu.

Export do programu VCmaster

VCmaster (dříve BauText) je textový procesor se zvláštním rozšířením pro statické výpočty od firmy Veit Christoph.

Přímý export do programu *VCmaster* spustíme příkazem [Export do VCmaster] v panelu nástrojů v okně protokolu.

Má-li být export úspěšný, měl by program *VCmaster* již běžet na pozadí.

10.1.12 Nastavení jazyka

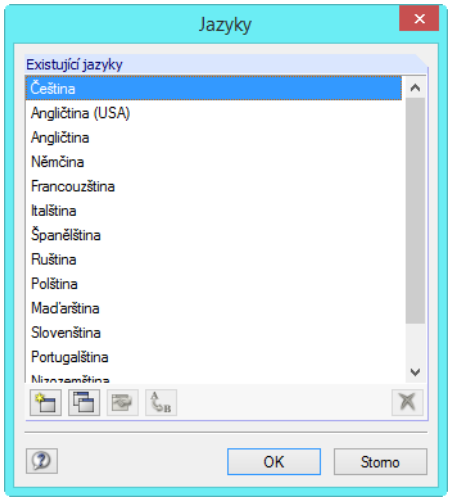
Nastavení jazyka v protokolu není závislé na jazyku nastaveném v uživatelském prostředí RFEMu. Lze tak například v německé verzi programu RFEM vytisknout protokol v angličtině nebo v italštině.

Změna nastavení jazyka pro tisk

Jazyk protokolu lze změnit příkazem z hlavní nabídky v okně protokolu

Nastavení ⟶ Jazyk...

Otevře se dialog, v kterém můžeme ze seznamu vybrat požadovaný jazyk.



Obrázek 10.38 Dialog *Jazyky*

Rozšíření nabídky jazyků

Pojmy z protokolu jsou uloženy ve stringách (znakových řetězcích). Proto je relativně snadné doplnit do protokolu další jazyky.

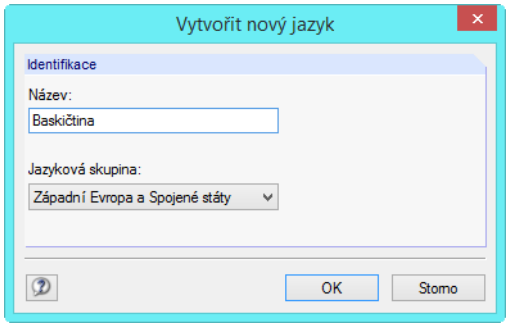
Nejdříve vyvoláme dialog *Jazyky* příkazem z hlavní nabídky

Nastavení ⟶ Jazyk...

Ve spodní části dialogu se uživateli nabízí několik tlačítek pro práci s jazyky.

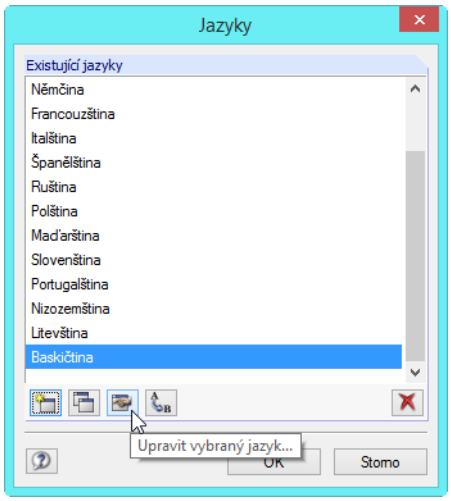
Vytvoření nového jazyka

Po kliknutí na příslušné tlačítko se otevře dialog, v kterém je třeba zadat *název* nového jazyka. Dále je třeba vybrat ze seznamu *jazykovou skupinu*, aby byla správně interpretována znaková sada.



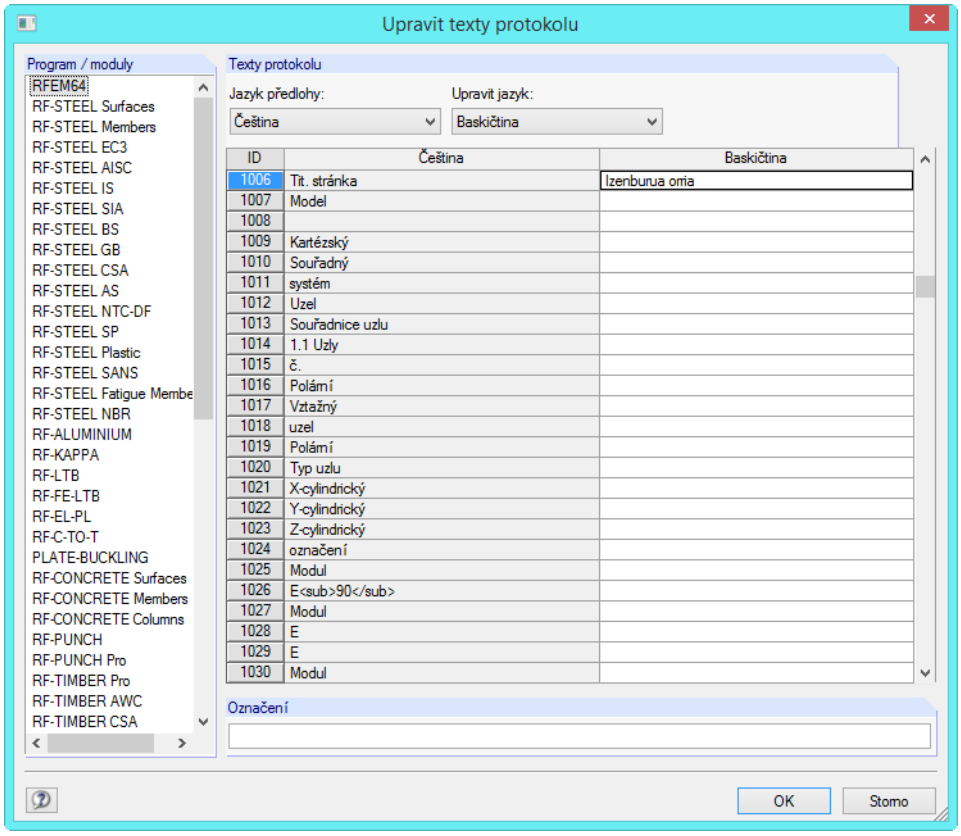
Obrázek 10.39 Dialog *Vytvořit nový jazyk*

Po kliknutí na [OK] se v seznamu nabízených objeví i nový jazyk.



Obrázek 10.40 Dialog *Jazyky*, tlačítko *Upravit vybraný jazyk...*

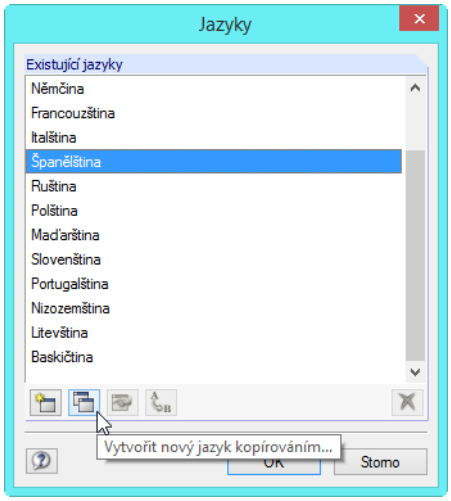
Tlačítkem otevřeme dialog, v němž lze definovat stringy pro nový jazyk.



Obrázek 10.41 Dialog *Upravit texty protokolu*

Upravovat lze pouze jazyky, které zadal sám uživatel.

Kopírování jazyka



Obrázek 10.42 Dialog *Jazyky*, tlačítko *Vytvořit nový jazyk kopírováním...*

Tato funkce je podobná předchozí funkci pro vytvoření nového jazyka. Jediným rozdílem je, že pole pro nový jazyk nejsou „prázdná“ (viz obr. 10.41, sloupec *Baskičtina*), ale vyplní se do nich textové řetězce vybraného jazyka.

Přejmenování nebo smazání jazyka

Poslední dvě tlačítka v dialogu *Jazyky* slouží k přejmenovávání nebo mazání jazyků. Tyto funkce jsou ovšem přístupné pouze pro jazyky, které uživatel sám zadal, čili nikoli pro standardní jazyky již definované v programu.

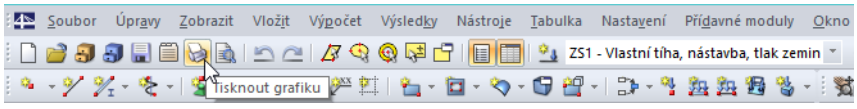
10.2 Přímý výtisk grafiky

Každý obrázek, který se zobrazí v grafickém okně RFEMu, je možné okamžitě vytisknout, obrázek tak není třeba převádět do protokolu (viz kapitola 10.1.5). Totéž platí pro průběhy výsledků na řezech, prutech, na sadách prutů, na liniích a liniových podporách a pro detaily průřezů. Pomocí tlačítka [Tisk] v daném okně je lze přímo odeslat na tiskárnu.

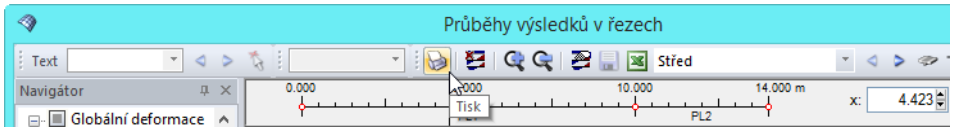
Aktuální zobrazení lze vytisknout příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Tisk grafiky...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



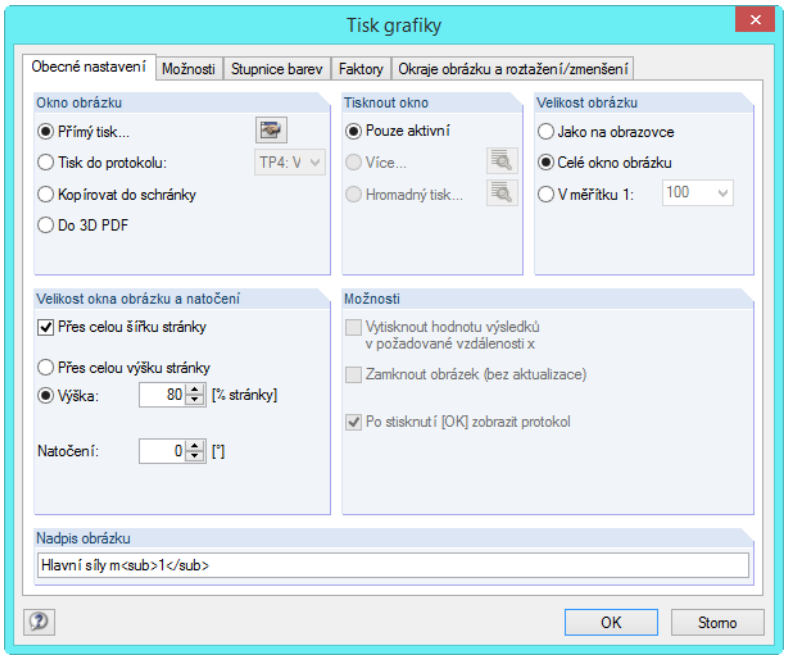
Obrázek 10.43 Tlačítko *Tisknout grafiku* v panelu nástrojů v hlavním okně



Obrázek 10.44 Tlačítko *Tisk* v panelu nástrojů v okně s průběhy výsledků

Otevře se dialog, který je rozdělen do několika záložek. Jednotlivé záložky popisujeme v následujících kapitolách.

10.2.1 Obecné nastavení



Obrázek 10.45 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Obecné nastavení*

Okno obrázku

Uživatel může vybrat jeden ze čtyř možných grafických výstupů:

- Přímý tisk
- Tisk do protokolu (viz kapitola 10.1.5)
- Kopírovat do schránky
- Do 3D PDF

Chceme-li obrázek přímo vytisknout, označíme volbu *Přímý tisk...* V tomto případě se zpřístupní tlačítko , které slouží k otevření dialogu *Záhlaví a zápatí protokolu*. V tomto dialogu můžeme upravit hlavičku dokumentu (viz kapitola 10.1.4).

Při tisku do *protokolu* se obrázek vloží do tiskového protokolu *TP*, který je možné vybrat v seznamu. Pokud dosud žádný protokol neexistuje, zobrazí se po potvrzení dialogu dialog *Nový protokol*, ve kterém lze zadat název a obsah protokolu (viz obr. 10.2).

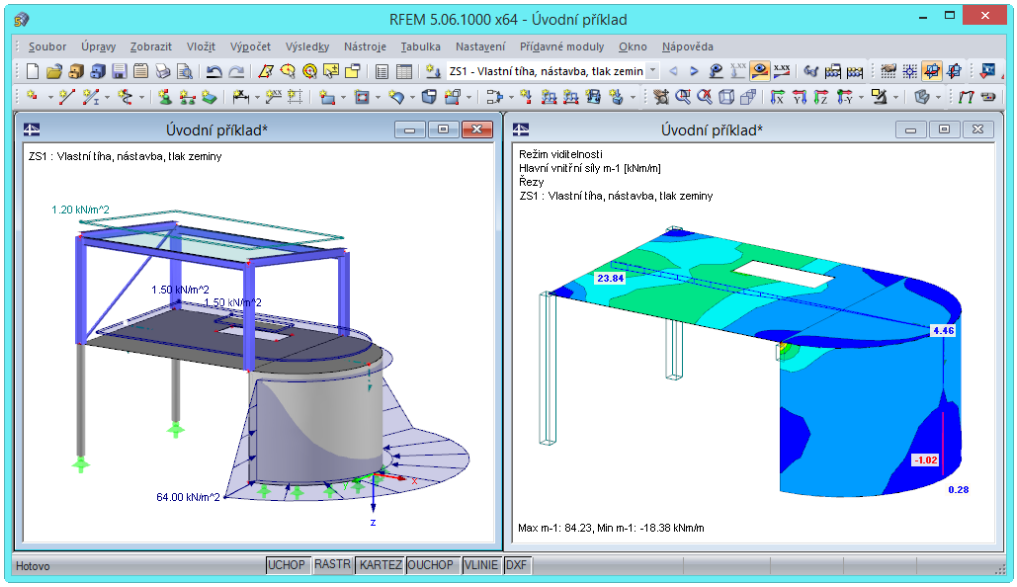
Po zkopírování obrázku do *schránky* bude obrázek k dispozici i v jiných programech. Zobrazení pak lze v těchto programech použít zpravidla pomocí příkazu z hlavní nabídky **Úpravy → Vložit**.

Pokud chcete obrázek uložit jako *3D PDF*, je možné pomocí tlačítka upravit záhlaví protokolu. Tlačítko otevře dialog *3D PDF - Vzhled tištěné stránky*, kde je možné zadat údaje pro formát tisku. Další informace o 3D PDF najdete na stránce podpory Adobe (anglicky).

Tisknout okno

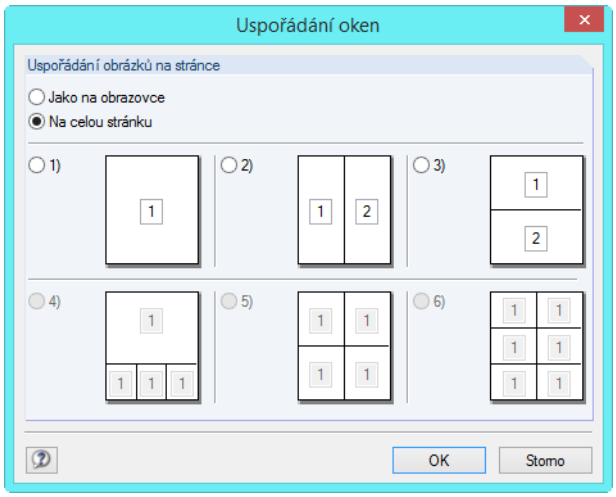
V této sekci lze nastavit tisk v případě zobrazení ve více oknech. Pokud označíme volbu *Pouze aktivní*, vytiskne se pouze obrázek ve zvýrazněném okně (například na obr. 10.46 je to okno vpravo).

V programu RFEM lze otevřít několik grafických oken najednou (viz kapitola 9.8). Při tisku zobrazení několika oken současně je třeba upozornit na to, že lze tisknout pouze zobrazení z téhož modelu. Tisk obrázků z několika modelů najednou není možný.



Obrázek 10.46 Zobrazení dvou podoken v modelu

Při označení volby *Více...* se aktivuje tlačítko , pomocí něhož lze detailně nastavit uspořádání oken v tištěném dokumentu. Po kliknutí na tlačítko se otevře následující dialog:



Obrázek 10.47 Dialog *Uspořádání oken*

Při vybrání možnosti *Jako na obrazovce* budou okna uspořádána tak, jak je vidíme na monitoru. Zpravidla je pak celý obrázek na vytištěné stránce stejně jako na obrazovce širší než vyšší. Chceme-li využít celou velikost stránky pro tisk oken, označíme volbu *Na celou stránku*.

Volba *Hromadný tisk* umožňuje převést do výstupního protokolu několik standardních zobrazení najednou. Pokud označíme dané políčko a klikneme na tlačítko , zobrazí se nový dialog, v němž můžeme stanovit příslušné parametry (viz kapitola 10.2.6).

Velikost obrázku

V pravé horní sekci dialogu *Tisk grafiky* (obr. 10.45) lze nastavit měřítko zobrazení grafiky na papíře.

Pokud má být měřítko zobrazení stejné jako na monitoru, vybereme možnost *Jako na obrazovce*. Lze tak například vytisknout zvětšené oblasti konstrukce nebo zvláštní náhledy.

Při výběru možnosti *Celé okno obrázku* se na papír vytiskne celá grafika. Konstrukce se vytiskne v

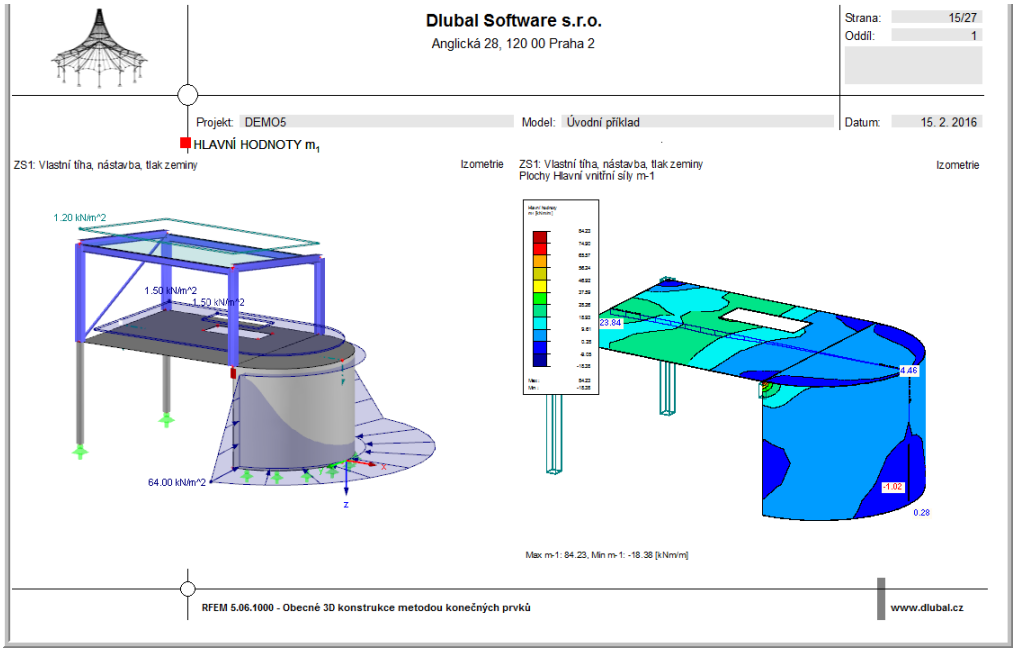
nastaveném úhlu pohledu. Zohledňuje se přitom zadaná velikost okna obrázku (viz následující sekce).

Třetí volba *V měřítku* umožňuje vytisknout zobrazení v libovolném měřítku. Měřítko zadáme ručně nebo ho vybereme ze seznamu. Konstrukce na obrázku se vytiskne v nastaveném úhlu pohledu. Tento typ tisku není vhodný v případě zapnutí prostorové perspektivy.

Velikost okna obrázku a natočení

V této sekci se nastavuje velikost obrázku na papíru.

Pokud aktivujeme políčko *Přes celou šířku stránky*, vytiskne se obrázek na celé šířce stránky včetně jindy volného pruhu na levém okraji (viz následující obrázek).



Obrázek 10.48 Tisk grafiky podélně: výsledek po zaškrtnutí voleb *Více...* a *Přes celou šířku stránky*

Pokud si nepřejeme vytisknout obrázek *přes celou výšku stránky*, můžeme nastavit procentuální poměr výšky zobrazení k výšce stránky.

V poli *Natočení* může uživatel zadat úhel natočení grafického zobrazení pro tisk.

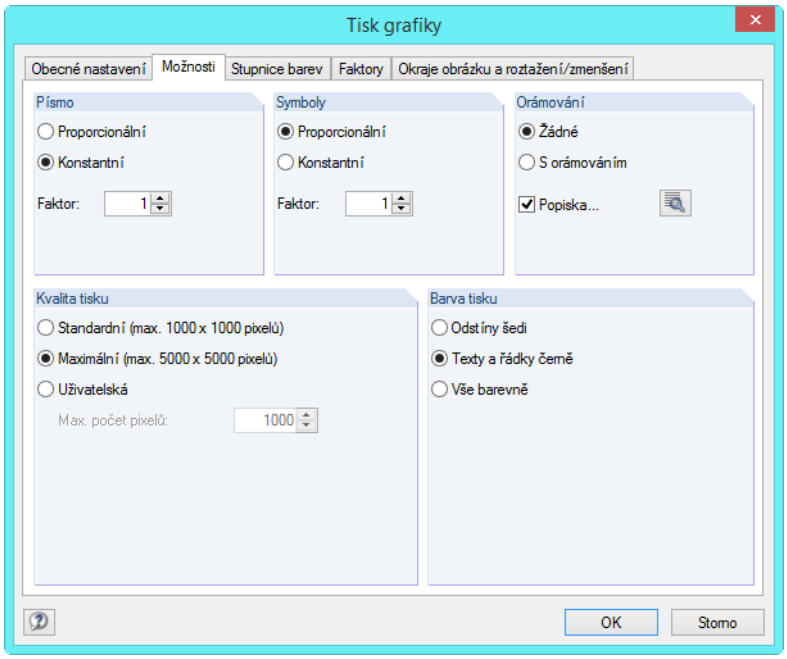
Možnosti

Tuto sekci dialogu popisujeme v kapitole 10.1.5. Pokud tiskneme průběhy hodnot, zpřístupní se v této sekci políčko *Vytisknout hodnotu výsledků v požadované vzdálenosti*. Lze tak nastavit tisk výsledných hodnot v místě, kudy vede svislá linie (viz obr. 9.20).

Nadpis obrázku

Po otevření dialogu *Tisk grafiky* je v tomto poli již navržen nadpis pro grafické zobrazení. Uživatel ho však může změnit.

10.2.2 Možnosti



Obrázek 10.49 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Možnosti*

Písmo / Symboly

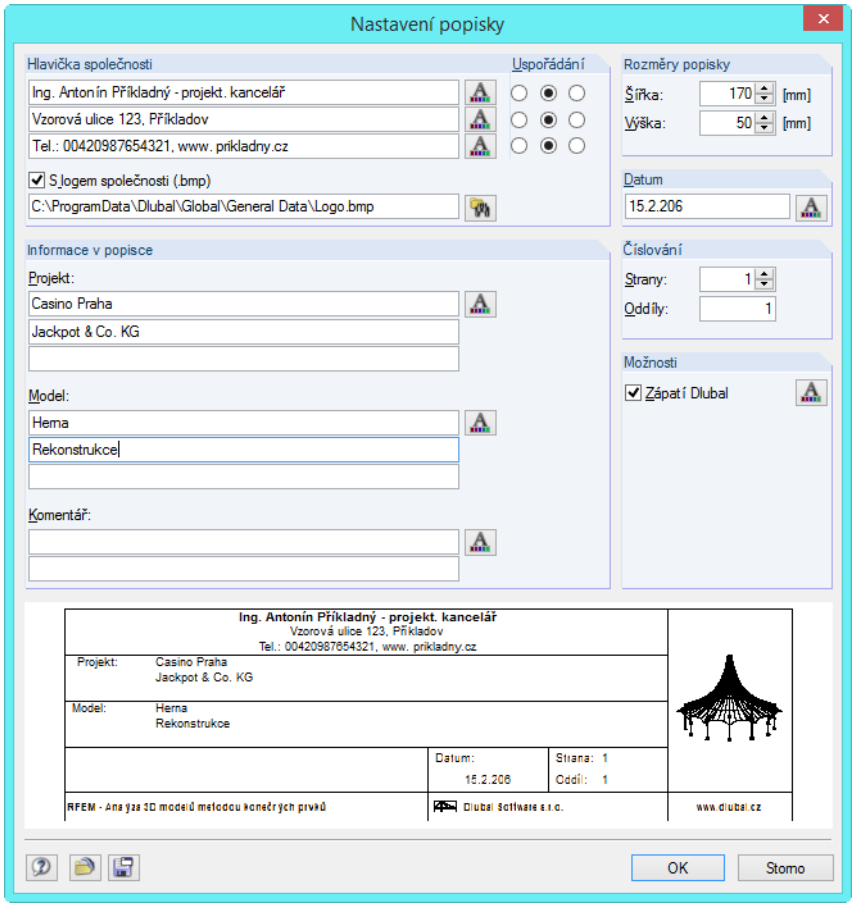
Měnit přednastavení v těchto dvou sekcích je nutné jen v ojedinělých případech. Pro velkoformátová zařízení je však nutné upravit faktory (viz kapitola 10.2.7).

Velikost písma a grafických symbolů (pro uzly, podpory, linie atd.) je závislá na ovladači tiskárny. Pokud nejsme s výtiskem spokojeni, můžeme tu nastavit zvlášť měřítka pro zobrazení *písma* a *symbolů*.

Orámování

Grafické zobrazení lze vytisknout s orámováním či bez něj.

Dále lze grafický výstup opatřit popiskou. Po zaškrtnutí této volby a kliknutí na tlačítko se zobrazí dialog, v němž můžeme určit vzhled a obsah popisky. Ve spodní části dialogu se zobrazí aktuální náhled na popisku.



Obrázek 10.50 Dialog *Nastavení popisky*

Kvalita tisku

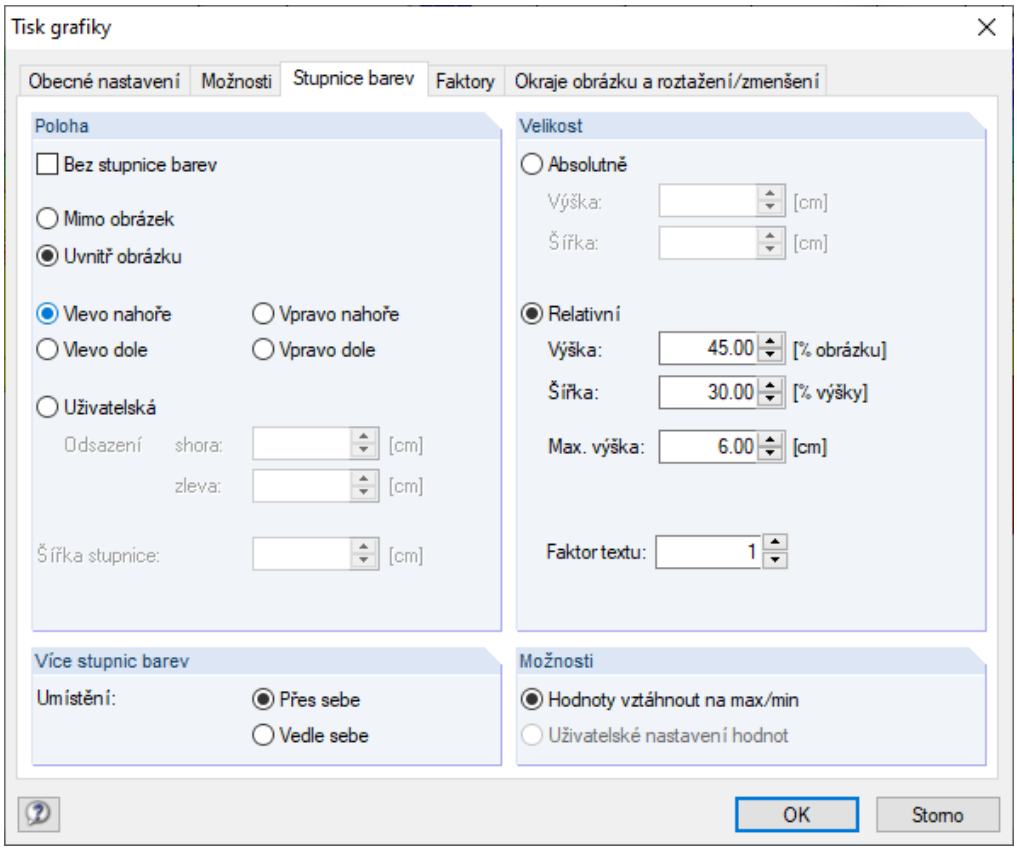
I v této sekci (obr. 10.49) je třeba měnit nastavení pouze ve výjimečných případech. Obrázek se *standardně* tiskne jako bitmapa o velikosti 1000 x 1000 pixelů. V případě *maximální* velikosti 5000 x 5000 pixelů a barevné hloubky 32 bitů je velikost přenášených dat přibližně 100 MB. Některým ovladačům tiskáren to může působit potíže, a proto bychom měly vysoké rozlišení volit obezřetně.

Barva tisku

Pokud tiskneme na černobílé tiskárně, lze pro lepší čitelnost označit volbu *Texty a řádky černě*, jinak bude spektrum barev zobrazení převedeno do různých odstínů šedi. Je třeba si přitom uvědomit, že například na izoplochy nebo na symboly pro podpory nemá toto nastavení vliv, a proto se ve výtisku zobrazí barevně.

Barevné zobrazení průběhů hodnot se převádí do stupnice šedi v ovladači tiskárny, v RFEMu tento převod nastavit nelze.

10.2.3 Stupnice barev



Obrázek 10.51 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Stupnice barev*

Tato záložka se zobrazí pouze v případě, že jsme nastavili vícebarevné zobrazení výsledků (viz kapitola 9.3).

Poloha

Stupnice barev z řídicího panelu se běžně vytiskne spolu se zobrazením. Pokud stupnici barev nechceme vytisknout, musíme zaškrtnout políčko *Bez stupnice barev*.

Pokud označíme volbu *Uvnitř obrázku*, bude stupnice barev překrývat část obrázku. Polohu stupnice lze přesně určit. Můžeme ji umístit do některého rohu obrázku nebo její polohu může definovat sám

Jestliže zvolíme možnost *Mimo obrázek*, vyčlení se v grafickém okně pruh pro stupnici barev. Ve spodní části této sekce lze zadat *šířku* tohoto pruhu.

Velikost

Velikost stupnice barev lze v této sekci zadat v absolutních hodnotách nebo v poměru k velikosti obrázku.

Více stupnic barev

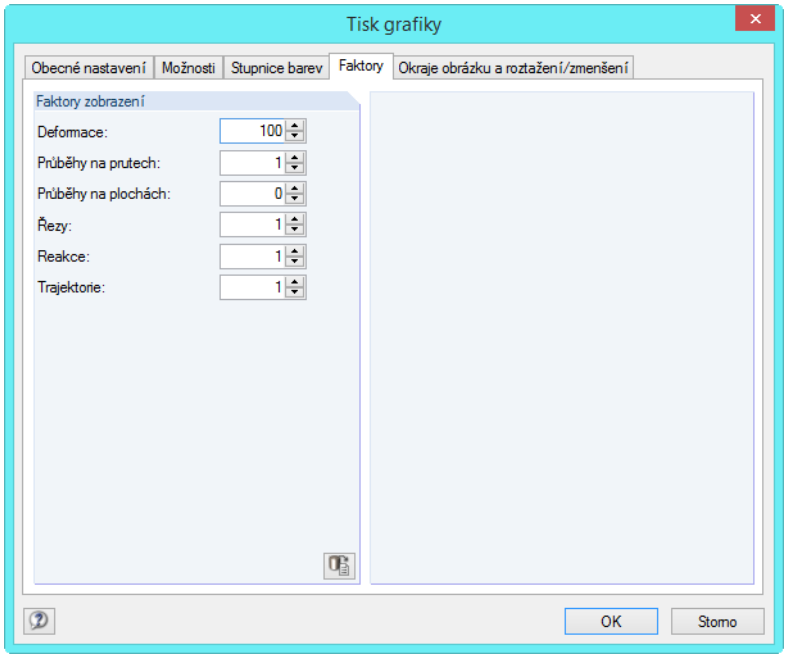
Program umožňuje zobrazit současně výsledky prutů i ploch. Stupnici barev, která je platná pro zobrazení na obrazovce, lze nastavit v řídicím panelu (viz obr. 9.50). V tištěné podobě je ovšem obrázek doplněn dvěma stupnicemi barev, jejichž umístění se stanoví v této sekci.

Možnosti

Přiřazení barev k hodnotám v grafickém zobrazení v RFEMu může nadefinovat sám uživatel (viz kapitola 3.4.6).

V této sekci lze rozhodnout, zda se vytiskne standardní stupnice barev ve vztahu k extrémním hodnotám (*Max/Min*) nebo zda se použije stupnice barev definovaná uživatelem. Dynamická aktualizace však v případě uživatelsky nastavené stupnice neprobíhá.

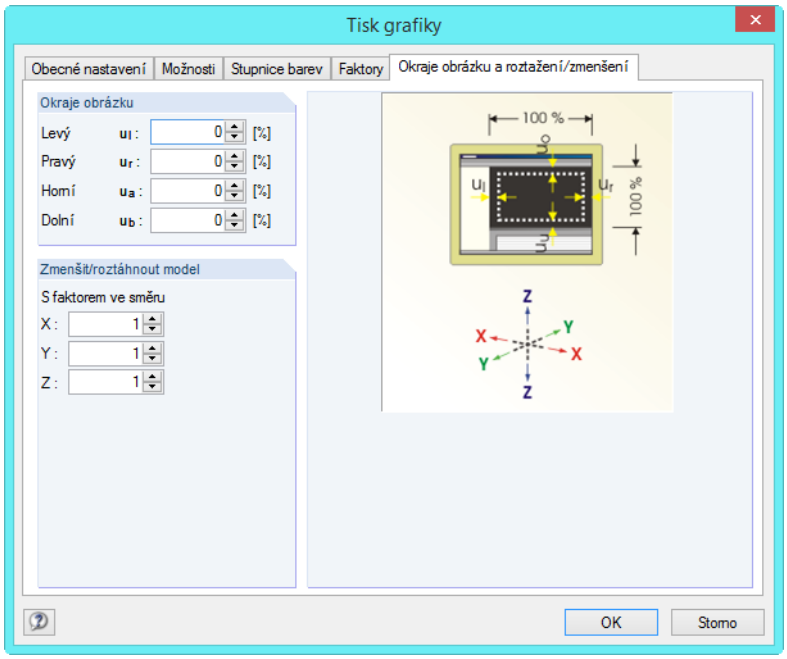
10.2.4 Faktory



Obrázek 10.52 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Faktory*

V této záložce lze pro tisk upravit *faktory zobrazení* u různých typů výsledků nezávisle na aktuálním zobrazení v pracovním okně, což je užitečné zvláště při konečné přípravě dokumentace.

10.2.5 Okraje obrázku a roztažení/zmenšení



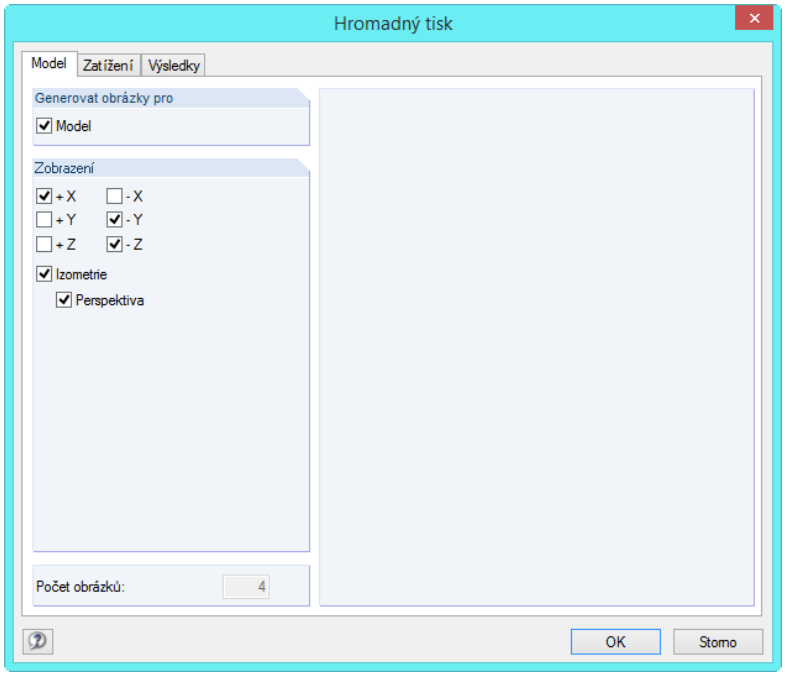
Obrázek 10.53 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Okraje obrázku a roztažení/zmenšení*

V dané záložce lze upravit *okraje obrázku* před vytisknutím. Uživatel má dále možnost *zmenšit/roztáhnout model*.

Tyto funkce popisujeme v kapitole 11.3.11.

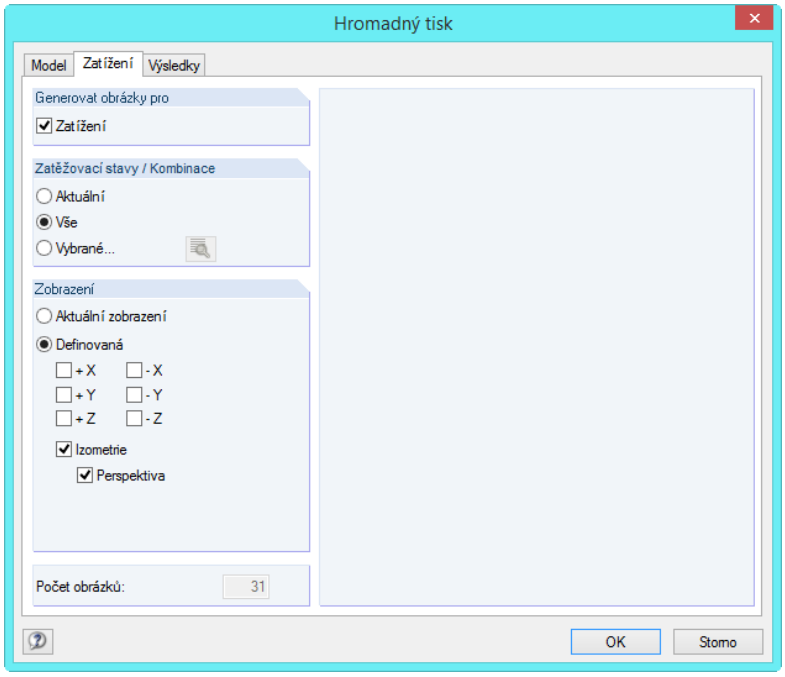
10.2.6 Hromadný tisk

Dialog *Hromadný tisk* se zobrazí, pokud v záložce *Obecné nastavení* klikneme na tlačítko vedle volby **Hromadný tisk** (viz obr. 10.45). Ve třech záložkách tohoto dialogu pak můžeme určit, která standardní zobrazení modelu, zatížení či výsledků se automaticky zařadí do výstupního protokolu.



Obrázek 10.54 Dialog *Hromadný tisk*, záložka *Model*

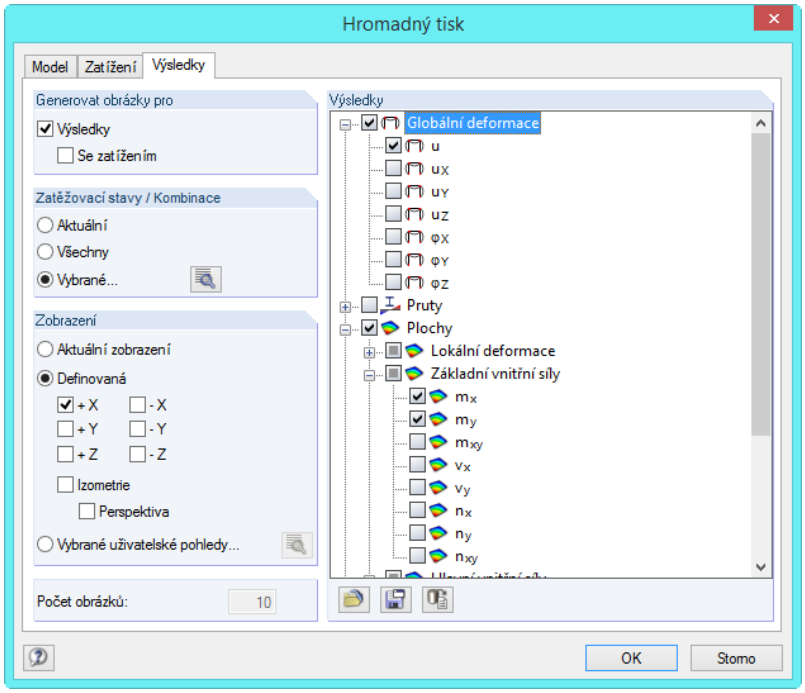
K dispozici máme sedm standardních pohledů na konstrukci. Dále můžeme pro zobrazení modelu zvolit prostorovou *perspektivu*.



Obrázek 10.55 Dialog *Hromadný tisk*, záložka *Zatížení*

Pokud si přejeme do protokolu zařadit automaticky vytvářená grafická znázornění zatížení konstrukce, označíme políčko *Zatížení* v horní sekci a v oddílu *Zatěžovací stavy / Kombinace* vybereme požadované zatěžovací stavy. Pokud se nejedná o aktuální zatěžovací stav, zobrazený v okně, nebo o všechny zatěžovací stavy, zvolíme konkrétní zatížení po kliknutí na tlačítko v dialogu *Zatěžovací stavy / Kombinace zatížení* (viz obr. 10.57).

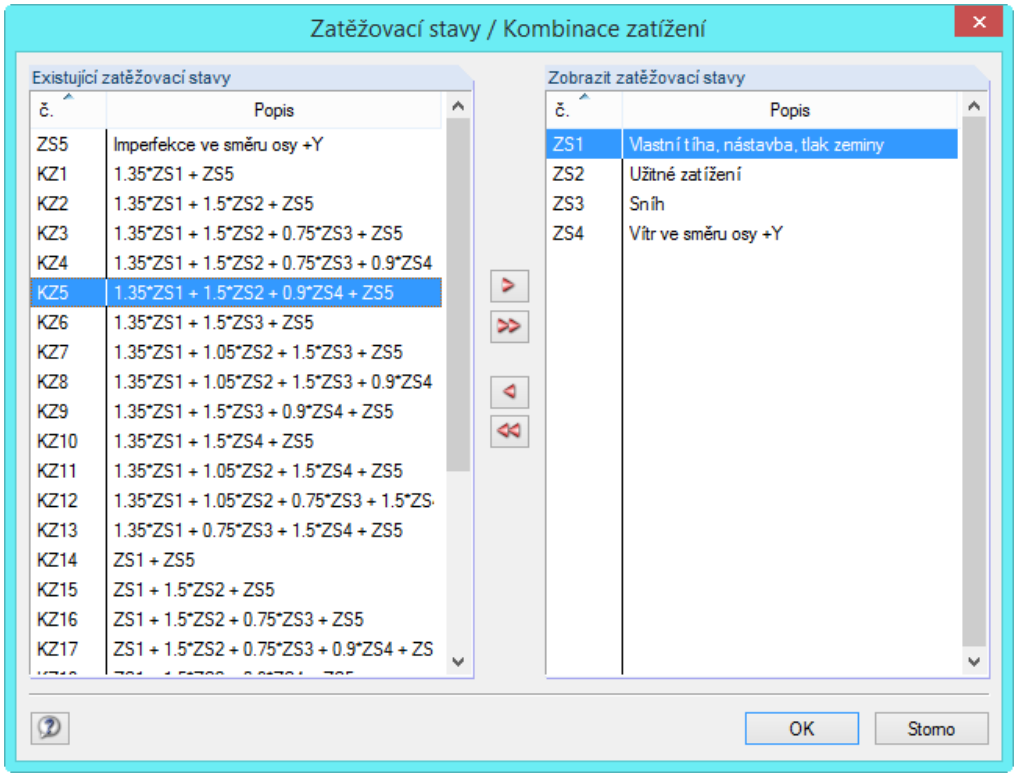
V sekci *Zobrazení* nastavíme, v jakém, resp. v jakých standardních úhlech pohledu se zatížení zobrazí.



Obrázek 10.56 Dialog *Hromadný tisk*, záložka *Výsledky*

V seznamu *Výsledky* v pravé části dialogu můžeme ve stromové struktuře zaškrtnout, které deformace či vnitřní síly se mají v obrázku vytisknout.

V případě, že spolu s výsledky si přejeme na obrázcích znázornit i zatížení, označíme políčko *Se zatížením* v levé horní sekci dialogu a v oddílu *Zatěžovací stavy / Kombinace* vybereme požadované zatěžovací stavy. Pokud se nejedná o aktuální zatěžovací stav, zobrazený v okně, nebo o všechny zatěžovací stavy, zvolíme konkrétní zatížení po kliknutí na tlačítko ve zvláštním dialogu.



Obrázek 10.57 Dialog *Zatěžovací stavy / Kombinace zatížení*

V sekci *Zobrazení* stanovíme, v jakém náhledu se mají grafická zobrazení vytisknout.

Zvláště v případě výsledků bychom měli zkontrolovat *počet obrázků*: i drobná chyba při výběru může vést k enormnímu počtu obrázků, který značně zpomalí tvorbu protokolu.

10.2.7 Pokyny pro tisk na plotrech

Pokud chceme dosáhnout při tisku na plotrech optimálních výsledků, měli bychom dbát následujících pokynů.

Nastavení v operačním systému

RFEM používá zásadně tiskový systém OS Windows. Na rozdíl od některých CAD programů pro práci na plotrech nepoužívá žádné speciální ovladače. Proto je třeba plotr nejdříve instalovat jako běžnou tiskárnu pod OS Windows.

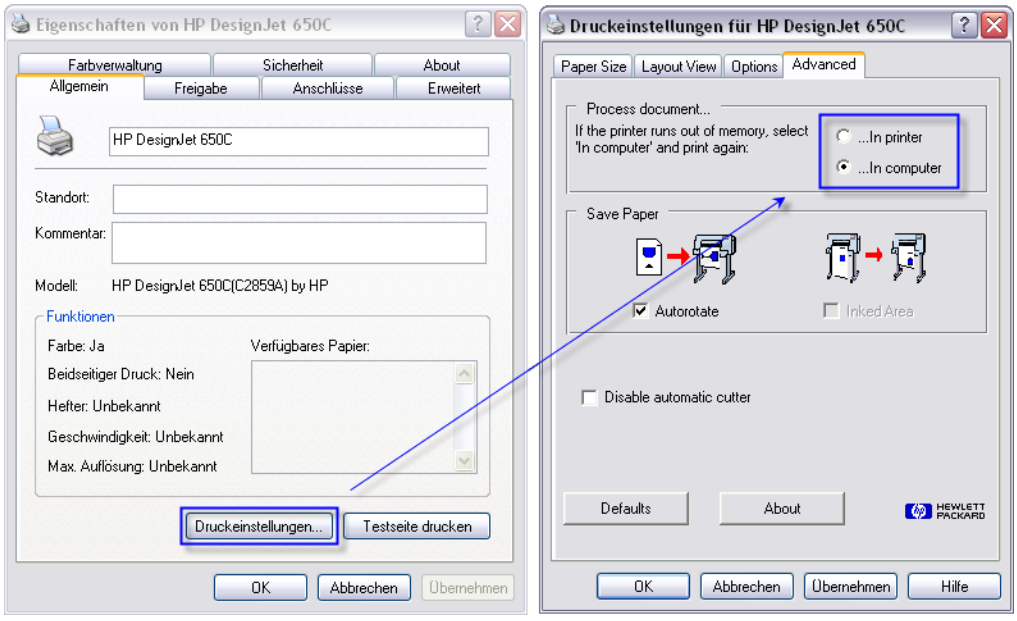
Interní testy ukázaly, že ovladače dodávané spolu s OS Windows, jsou nestabilní a chybové. Měli bychom proto bezpodmínečně používat původní nebo aktuální ovladače stažené z webových stránek výrobce plotru.

Při tisku na plotru se zpracovávají velmi objemná množství dat. Je třeba zajistit, aby na systémovém disku bylo dostatek místa pro tato data.

Plotr bychom **neměli** v systému nastavovat jako standardní tiskárnu. Plotr bychom měli vybrat spíše až přímo při tisku. Důvodem je, že výstupní protokol používá ovladač standardní tiskárny při zobrazování náhledu pro tisk. Testované ovladače plotrů způsobovaly zhroucení tiskového protokolu.

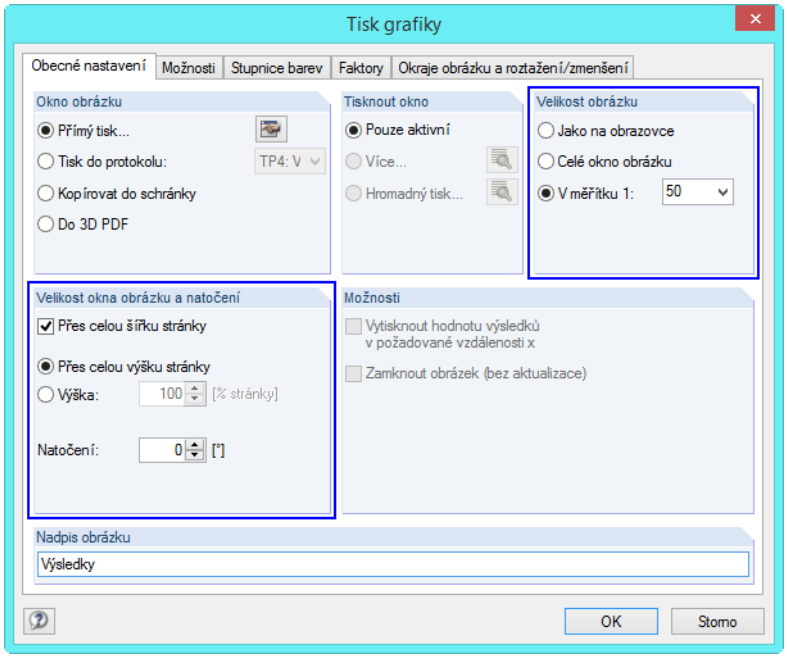
Mnohé ovladače plotrů nabízí možnost zpracovat obrázek buď v plotru nebo v počítači. Zpracování obrázků v plotru, který disponuje speciálním procesorem, je obecně rychlejší. Navíc se tím nebrzdí práce na počítači. Problémem ovšem je, že plotry většinou mívají pouze malou operační paměť. Pokud již paměť pro načtení obrázku nestačí, data se mohou částečně ztratit. Při tisku obrázků z RFEMu se nedostatečná paměť často projeví v chybějících popiskách, výplních, liniích atd. Plotr pak obvykle na daný stav upozorní.

V případě pochyb bychom měli data zpracovat v počítači. Přednastaveno je ovšem zpravidla zpracování v plotru. V takovém případě je třeba upravit vlastnosti pro tisk.



Obrázek 10.58 Dialog *Nastavení tisku* pro HP DesignJet pod OS Windows XP

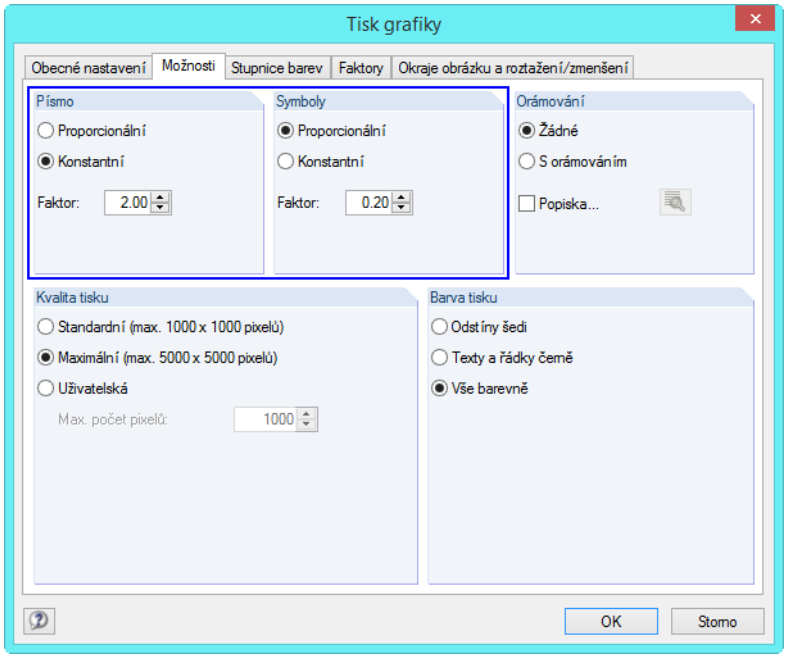
Nastavení v RFEMu



Obrázek 10.59 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Obecné nastavení*

Vzhledem k tomu, že výstupy ve formátu A0 se téměř vždy tisknou v určitém **měřítku**, měli bychom danou volbu označit v dialogu *Tisk grafiky* v záložce *Obecné nastavení*. Měřítko vybereme ze seznamu nebo ho zadáme ručně do vstupního pole.

Pro výstupy na plotru bychom měli zpravidla použít celou plochu papíru. Proto v sekci *Velikost okna obrázku a natočení* aktivujeme políčko **Přes celou výšku stránky**.



Obrázek 10.60 Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Možnosti*

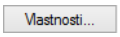
V záložce *Možnosti* můžeme ovlivnit kvalitu tisku. Optimální nastavení si jistě vyžádá několik zkušebních výtisků. Bohužel nelze dát žádná obecně platná doporučení; vždy totiž závisí na ovladači tiskárny. Směrné hodnoty, které se uvádí na obrázku výše, se vztahují k plotru HP DesignJet 650C s verzí ovladače 4.62 pod OS Windows XP.

Pokud dojde při tisku na plotru k přerušení programu, měli bychom, jak jsme se již výše zmínili, nejdříve nainstalovat aktuální ovladač tiskárny a pro zpracování obrázku vybrat možnost *V počítači*. Pokud program při tisku na plotru i nadále padá, pokusíme se v sekci *Kvalita tisku* postupně snižovat rozlišení.

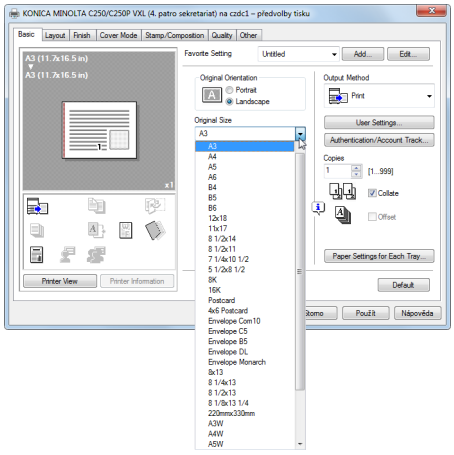
V sekci *Písmo* lze upravovat velikost písma kót, číslování či výsledných hodnot. V případě A0 výstupu na plotru HP DesignJet 650C jsme při nastavení faktoru na hodnotu 2 a označení volby *Konstantní* dosáhli dobrých výsledků.

Nastavení v sekci *Symboly* má vliv nejen na velikost symbolů používaných pro podpory, uzly apod., ale také na tloušťku linií. Pokud jsou linie na obrázku příliš silné, měli bychom hodnotu faktoru zmenšit. V případě A0 výstupu na plotru HP DesignJet 650C jsme při nastavení faktoru na hodnotu 0,2 a označení volby *Proporcionální* dosáhli dobrých výsledků.

Hodnota faktorů pro velikost symbolů a písma se týká obecně **všech** znaků a symbolů. Pokud chceme upravit vzhled pouze určitých objektů, je třeba ho nastavit v dialogu *Vlastnosti zobrazení* (viz obr. 11.3). Úpravy zobrazení pro tisk na plotru doporučujeme uložit jako novou konfiguraci pro výstupní protokol. Podrobnější informace najdete v kapitole 11.1.2 .



Po kliknutí na [OK] se zobrazí dialog *Tisk* operačního systému. V seznamu tiskáren vybereme daný plotr. Pomocí tlačítka [Vlastnosti] otevřeme další dialog, v němž můžeme nastavit velikost a uspořádání stránky.



Obrázek 10.61 Dialog pro nastavení formátu a rozvržení stránky při tisku na plotru

11 Funkce programu

V této kapitole budou popsány jednotlivé funkce pro grafické a tabulkové zadávání údajů, jako jsou například nástroje CAD k vytváření nebo generování nových konstrukčních prvků a zatížení, funkce pro zpracování vybraných objektů, operace v tabulkách a možnosti parametrického zadávání dat.

11.1 Obecné funkce

V této kapitole se popisují běžně používané funkce, které jsou k dispozici v mnoha dialozích.

11.1.1 Nastavení jazyka

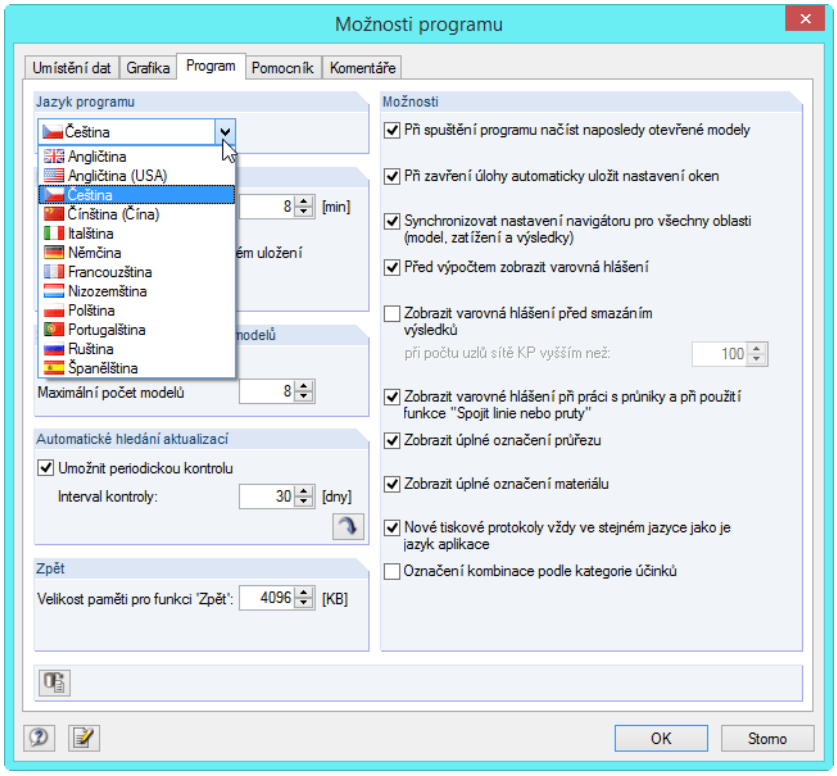
Předem nastaven je jazyk, který jsem vybrali již při instalaci programu. Rovněž materiály a řady průřezů v databázích se uspořádají v závislosti na příslušných zemích.

Uživatelské prostředí RFEMu změníme příkazem z hlavní nabídky

Nastavení → Možnosti programu...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

V záložce *Program* můžeme ze seznamu vybrat jiný *jazyk programu*.



Obrázek 11.1 Zvolení jiného *jazyka programu* v dialogu *Možnosti programu*

Změna nastavení se projeví po novém startu programu.

Pokud měníme jazyk programu, je třeba si uvědomit následující:

- Některé znaky se zobrazí správně pouze v případě, že v operačním systému je nainstalováno dané písmo.
- Nový jazyk bude mít vliv také na uspořádání materiálů a řad průřezů v databázích.

11.1.2 Nastavení zobrazení

Tato funkce umožňuje nastavit zobrazení objektu na obrazovce i v tiskovém výstupu. V navigátoru *Zobrazit* lze určit, **zda** se objekt vůbec zobrazí (viz kapitola 3.4.3).

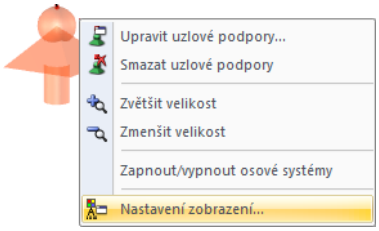
Úpravy zobrazení

Dialog pro úpravu grafického zobrazení vyvoláme z hlavní nabídky

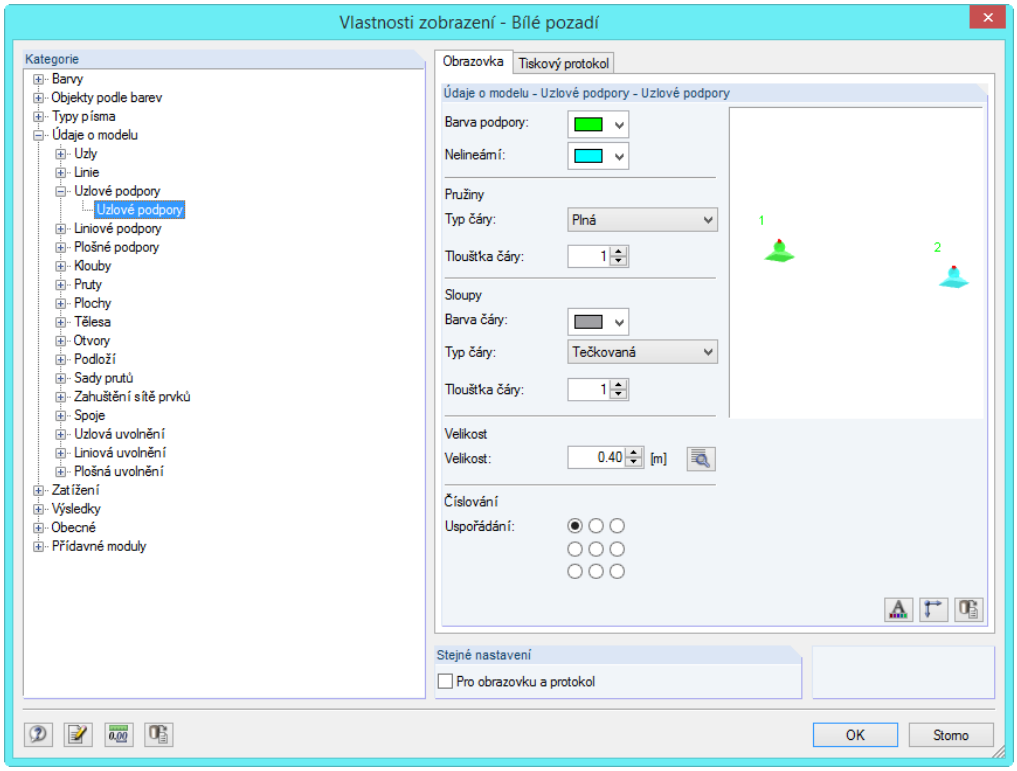
Nastavení ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Upravit...

nebo přes správce konfigurace (viz kapitola 3.4.10).

Vlastnosti zobrazení každého grafického objektu (symbolu pro konstrukční prvky, zatížení či výsledky) můžeme otevřít také přímo: klikneme na objekt v grafice pravým tlačítkem myši pro otevření místní nabídky. Pomocí položky *Nastavení zobrazení...*, je možné upravit parametry zobrazení daného objektu ihned v dialogu *Nastavení zobrazení* (viz obr. 11.3).



Obrázek 11.2 Místní nabídka uzlové podpory



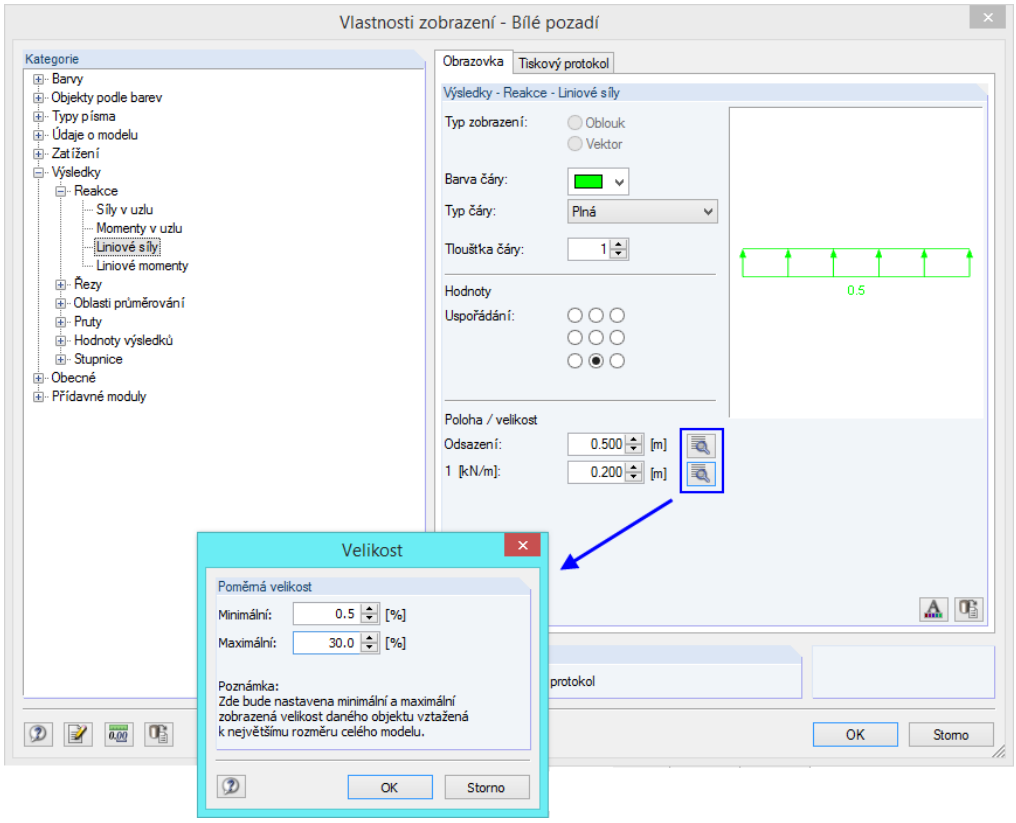
Obrázek 11.3 Dialog *Vlastnosti zobrazení* pro kategorii *Uzlové podpory*

Zobrazení na *obrazovce* a v *tiskovém protokolu* lze nastavit zvlášť ve dvou záložkách. To znamená, že můžeme samostatně upravit zobrazení na obrazovce (např. velikost symbolů podpor pro černé pozadí) nezávisle na tiskovém výstupu.

Zaškrtávací políčko *Stejné nastavení pro obrazovku a protokol* umožňuje sjednotit vlastnosti zobrazení na obrazovce s vlastnostmi zobrazení v protokolu. Pokud políčko označíme, pak se **následně** provedené úpravy nastavení projeví u právě vybrané kategorie i v druhé záložce (*Obrazovka*, resp. *Tiskový protokol*). Dříve nastavené údaje ovšem touto funkcí do druhé záložky dodatečně převést nelze.

V sekci *Kategorie* se ve stromové struktuře načtou všechny grafické objekty. Pro změnu nastavení zobrazení objektu je nutné vybrat odpovídající položku. V pravé části dialogu je možné upravit parametry zobrazení daného objektu (barva, zobrazení čar, velikost objektu v grafickém okně, typ číslování, typ písma, velikost vektoru zatížení atd.).

U některých parametrů jsou k dispozici také tlačítka [Detaily] (viz obr. 11.4).



Obrázek 11.4 Dialog *Velikost* pro nastavení *liniových sil*

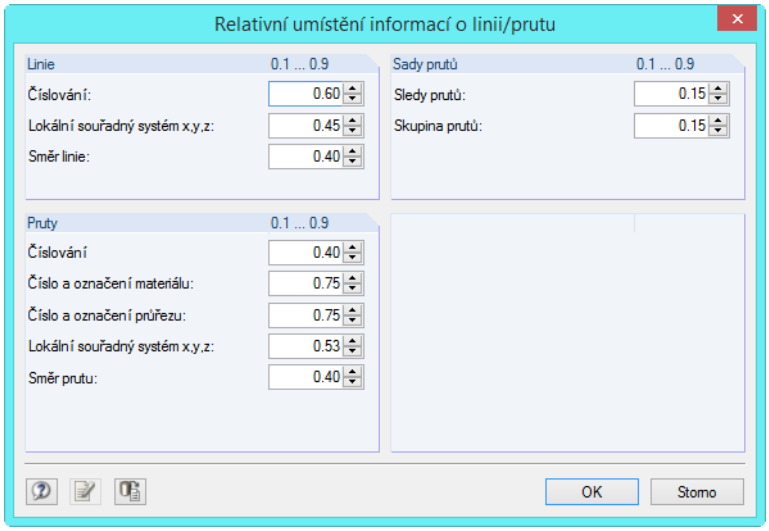
Kliknutím na toto tlačítko se otevře dialog, v němž lze upravit např. vzdálenost objektu nebo jeho velikost v grafickém zobrazení vzhledem k rozměrům celého modelu konstrukce.

V pravé dolní části sekce s parametry se nacházejí tlačítka, která mají následující funkce:

	Otevře dialog *Písmo*, v němž lze upravit řez, velikost či barvu písma.
	Vyvolá parametry zobrazení os aktuálního objektu.
	Obnoví původní nastavení objektu.
	Otevře se dialog *Relativní umístění* (obr. 11.5) pro uspořádání štítků.
	Obnoví standardní nastavení.

Tabulka 11.1 Tlačítka v dialogu *Vlastnosti zobrazení*

U objektů, které se vztahují k liniím či prutům, může sám uživatel určit, kam se umístí popisky nebo symboly. Otevře se dialog, v němž můžeme zadat polohu příslušných informací tak, že stanovíme jejich relativní vzdálenost od počátku linie, resp. prutu (viz obr. 11.5).



Obrázek 11.5 Dialog *Relativní umístění informací o linii/prutu*

Uložení konfigurace zobrazení

Dialog *Vlastnosti zobrazení* umožňuje přizpůsobit zobrazení požadavkům uživatele. Můžeme tak např. nastavit samostatně pro zobrazení na obrazovce barevný průběh na pozadí a pro tisk na plotru zadat speciální nastavení.

V dialogu *Vlastnosti zobrazení* ovšem nemůžeme změny uložit: konfigurace zobrazení se spravují ve *správci konfigurací*, kterému se věnujeme v kapitole 3.4.10.

Pokud tedy chceme upravené nastavení uložit jako novou konfiguraci, postupujeme následovně:

- Tlačítkem *OK* potvrdíme změny v dialogu [Vlastnosti zobrazení].
- Otevřete *správce konfigurací* (viz kapitola 3.4.10).
- Založíme [Novou konfiguraci] pomocí příslušného tlačítka.
- V dialogu *Nová konfigurace* zadejte popis a potvrďte tlačítkem [OK].

11.1.3 Jednotky a desetinná místa

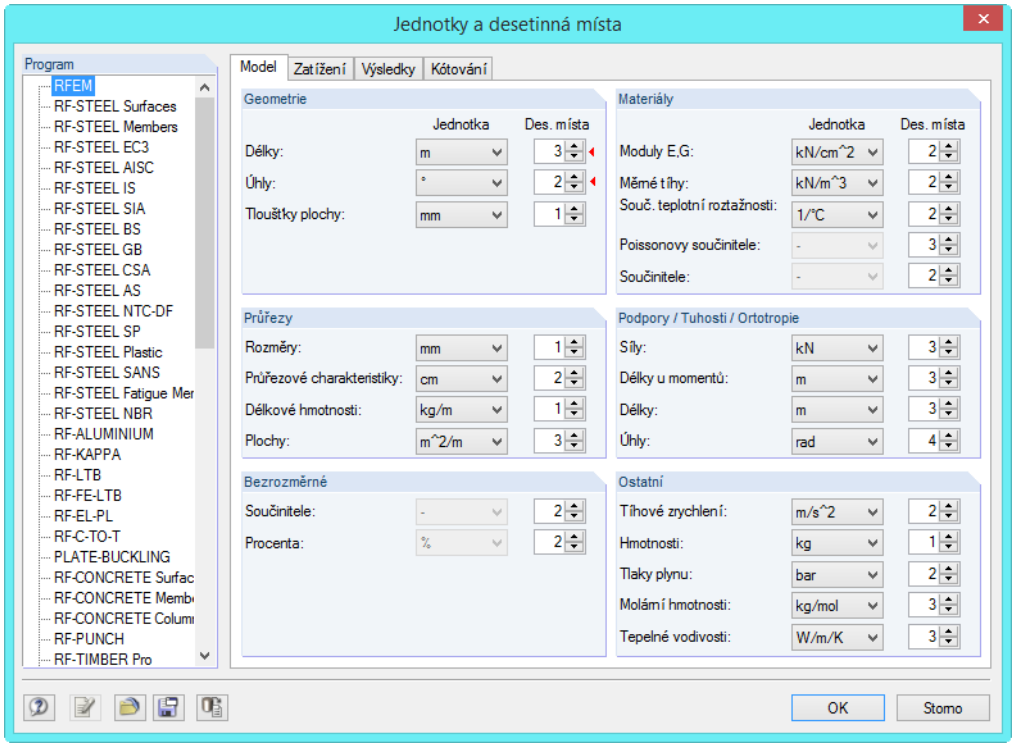
Jednotky a desetinná místa se pro RFEM i všechny jeho přídavné moduly nastavují centrálně v jediném dialogu. Nastavení lze v průběhu modelování konstrukce i při jejím vyhodnocování libovolně měnit. Všechny číselné hodnoty se následně přepočítají a upraví.

Úpravy jednotek a desetinných míst

Jednotky a desetinná místa lze v mnoha dialozích nastavit přímo po kliknutí na tlačítko, které vidíme na levém okraji (viz dialog *Vlastnosti zobrazení* na obr. 11.4).

Další možností je otevřít dialog *Jednotky a desetinná místa* z hlavní nabídky

Upravit → Jednotky a desetinná místa...



Obrázek 11.6 Dialog *Jednotky a desetinná místa*

V sekci *Program* nejdříve vybereme ze seznamu program nebo modul, v němž chceme jednotky nebo desetinná místa upravit. Pravá část dialogu se mění v závislosti na výběru položky v seznamu.

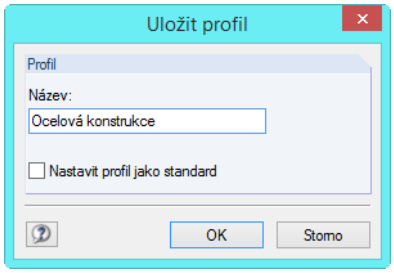
V případě RFEMu je pravá část dialogu rozdělena do čtyř záložek. Požadované jednotky a desetinná místa tak lze nastavit zvlášť pro údaje o *modelu*, o *zatížení*, pro *výsledky* a *kótování*. Také u některých modulů je pravá část dialogu rozdělena do několika záložek. Jednotky a desetinná místa jsou rozčleněny do sekcí.

Pokud dialog pro nastavení jednotek otevřeme z jiného dialogu (např. z dialogu *Nový prut*), jsou odpovídající jednotky a desetinná místa vyznačena vpravo červeným trojúhelníkem (viz obrázek výše).

Uložení a načtení jednotek jako uživatelského profilu

Nastavení v dialogu *Jednotky a desetinná místa* lze uložit jako soubor s určitým názvem a později ho použít při práci na jiných modelech. Lze tak například nastavit a používat odlišný profil jednotek u ocelových a betonových konstrukcí.

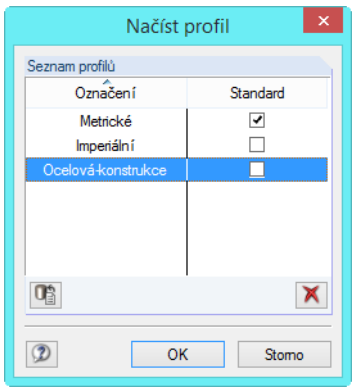
Kliknutím na tlačítko znázorněné na levém okraji se otevře nový dialog, v němž zadáme *název* vytvořeného profilu.



Obrázek 11.7 Dialog *Uložit profil*

Pokud se má tento profil objevit ve výchozím nastavení pro nové modely, je třeba zaškrtnout políčko *Nastavit profil jako standard*.

Uživatelsky definovaný profil lze znovu načíst kliknutím na vlevo znázorněné tlačítko. Otevře se dialog se seznamem profilů, v kterém vybereme požadovaný profil. Přednastaveny jsou v tomto dialogu již metrický a imperiální (angloamerický) profil jednotek.



Obrázek 11.8 Dialog *Načíst profil*

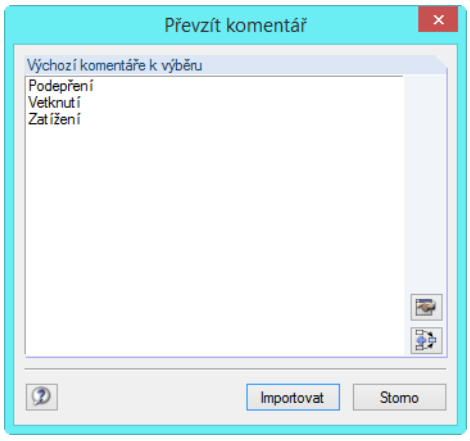
11.1.4 Komentáře

V této kapitole se popisují komentáře, které lze vkládat do příslušných polí v dialozích a tabulkách (viz např. obr. 4.12). O komentářích, které můžeme připojit do grafického zobrazení, se pojednává v kapitole 11.3.6 .

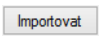
Použití komentářů

Do polí určených pro komentář lze vkládat libovolné texty. Pokud klikneme na tlačítko [Převzít komentář...], můžeme použít i předem připravené komentáře. Předem definované komentáře jsou k dispozici pro všechny modely.

Po kliknutí na výše uvedené tlačítko se otevře dialog, který obsahuje dosud uložené komentáře.



Obrázek 11.9 Dialog *Převzít komentář*



V seznamu *Výchozí komentáře k výběru* jsou uvedeny všechny komentáře, které lze použít pro danou kategorii. Tlačítkem [Importovat] se vybraný komentář vloží do příslušného pole v dialogu, kde ho lze případně upravit. Pokud již pole obsahuje text, bude tento text přepsán. Komentář je možné poté dále upravit v poli pro komentář.

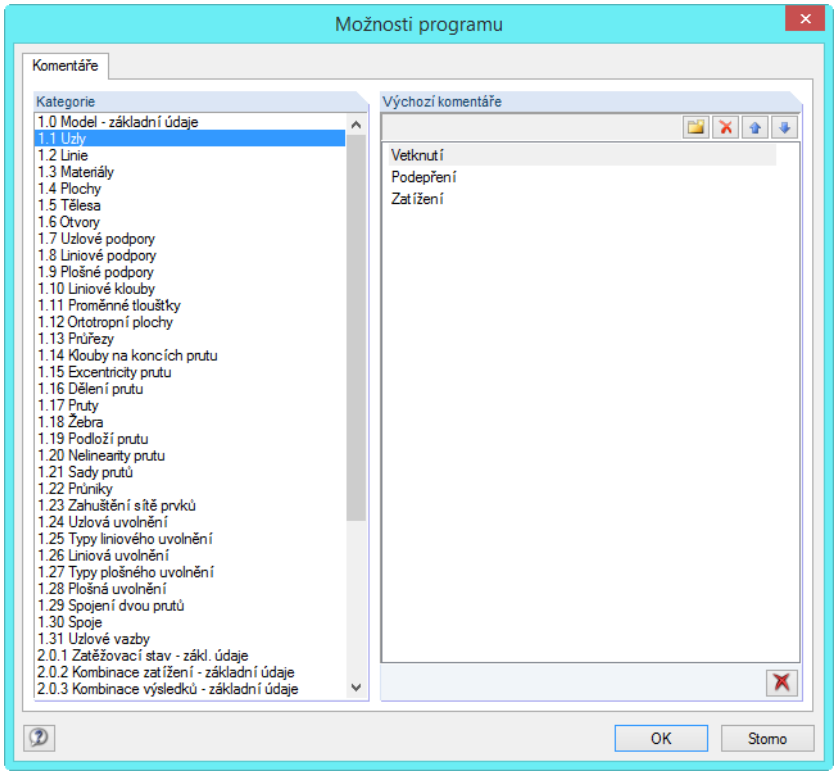
V případě, že chceme určitý komentář ze seznamu připojit k textu již obsaženému v poli pro komentář, je třeba použít tlačítko [Převzít komentář a přidat ke stávajícím].

Vytváření a úprava komentářů

Pokud chceme vytvořit nový komentář, klikneme v dialogu *Převzít komentář* (obr. 11.9) na tlačítko, které vidíme na levém okraji. Další možností je otevřít záložku *Komentáře* v dialogu *Možnosti programu*, kde se spravují všechny komentáře. Dialog vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nastavení → Možnosti programu...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 11.10 Dialog *Možnosti programu*, záložka *Komentáře*

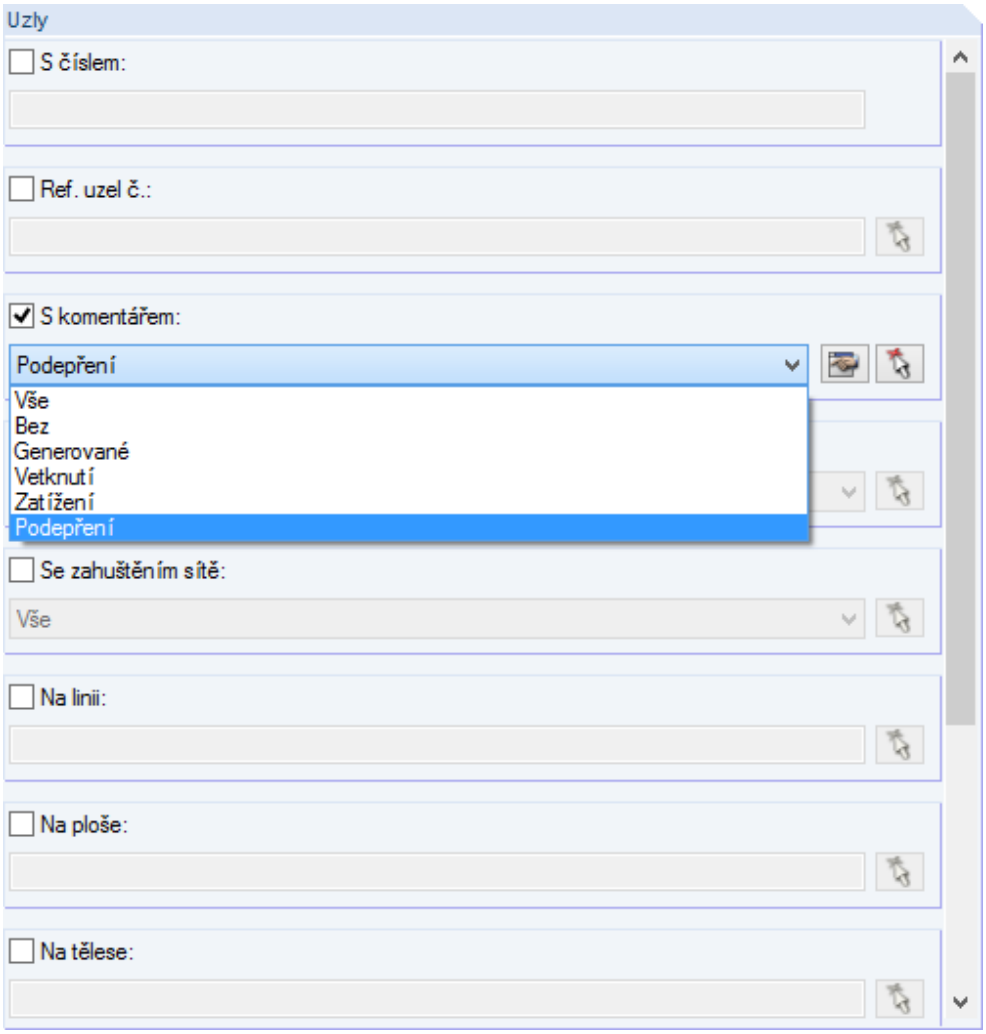
V sekci *Kategorie* vybereme skupinu (tzn. vstupní tabulku nebo dialog), do níž má být komentář zařazen.

V sekci *Výchozí komentáře* jsou k dispozici čtyři tlačítka, která mají následující funkce:

Tlačítko	Popis
	V rámci označené *kategorie* se vytvoří nový komentář a připojí na seznam.
	Komentář vybraný ze seznamu se smaže.
	Vybraný komentář se posune v seznamu nahoru.
	Vybraný komentář se posune dolů.

Tabulka 11.2 Tlačítka v dialogu *Možnosti programu*, záložka *Komentáře*

V podrobném výběru (viz kapitola 11.2.2) lze filtrovat data i podle uživatelsky definovaných komentářů.



Obrázek 11.11 Dialog *Speciální výběr* v případě filtrování uzlů podle *komentáře* (výřez)

11.1.5 Měření

Pro kontrolu zadání nám program nabízí možnost změřit vzdálenosti a úhly. Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje → Měření.

K dispozici jsou následující možnosti. Změřit lze:

- Vzdálenost mezi 2 uzly
- Úhel mezi 3 uzly
- Úhel mezi 2 pruty
- Úhel mezi 2 plochami
- Úhel mezi prutem a plochou
- Úhel mezi 2 liniemi
- Úhel mezi prutem a linií
- Úhel mezi plochou a linií

Objekty, mezi nimiž chceme vzdálenost nebo úhel změřit, postupně vybereme myší v grafickém okně. Následně se otevře dialog, v němž se zobrazí výsledek se všemi

Obrázek 11.12 Dialog *Vzdálenost mezi dvěma uzly/body*

11.1.6 Hledání

Hledání pomocí výběru v tabulce

Pokud chceme v grafickém okně vyhledat určitý objekt, je možné použít také tabulky. Jestliže myší klikneme do příslušného řádku v tabulce, daný objekt se v grafickém okně zvýrazní odlišnou barvou. Tato metoda umožňuje u menších konstrukcí rychle a jednoduše vyhledat objekty v grafickém zobrazení.

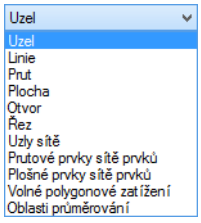
Předpokladem je aktivování synchronizace výběru (viz kapitola 11.5.4).

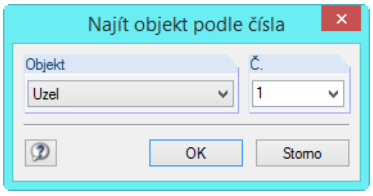
Hledání podle čísla objektu

V RFEMu je k dispozici i funkce pro konkrétní vyhledávání, kterou doporučujeme především v případě rozsáhlejších modelů. Funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Najít objekt podle čísla...

Otevře se následující dialog:





Obrázek 11.13 Dialog *Najít objekt podle čísla*

V sekci *Objekt* určíme, zda se má vyhledat uzel, linie, plocha, těleso, prut nebo také otvor, kóta, konečný prvek apod. Jeho *číslo* pak zadáme buď ručně do příslušného pole nebo ho vybereme ze seznamu.

Po kliknutí na [OK] se objekt vyhledá a vyznačí v grafickém okně tlustou šipkou. Šipka u objektu zůstává i při zvětšování/zmenšování objektu nebo při jeho otáčení. Teprve pokud klikneme myší do pracovní plochy, šipka zmizí.

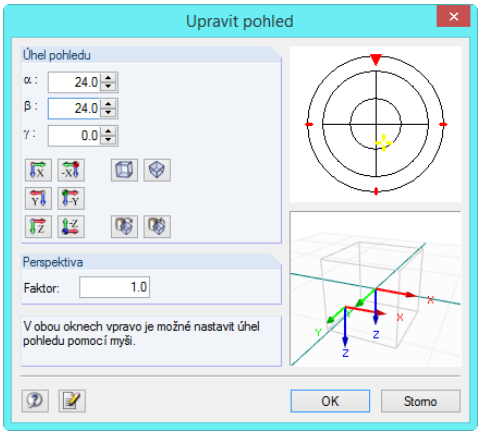
11.1.7 Bod a úhel pohledu

RFEM standardně nabízí pohledy [ve směru osy X], [ve směru osy Y], [ve směru osy Z], [proti směru osy Y], a dále [Izometrický pohled]. Tyto náhledy lze zvolit pomocí vlevo znázorněných tlačítek v panelu nástrojů. Rozbalovací tlačítko v panelu nástrojů a navigátor *Pohledy* nabízí dále tlačítka pro uživatelem definované souřadné systémy a úhly pohledu (viz kapitola 9.9.1.1).

Pokud tyto náhledy a ani natočení konstrukce pomocí tlačítka a stisknuté klávesy [Ctrl] neposkytují požadované zobrazení, máme možnost nastavit potřebný náhled ve zvláštním dialogu.

Tento dialog otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Zobrazit → Pohled...

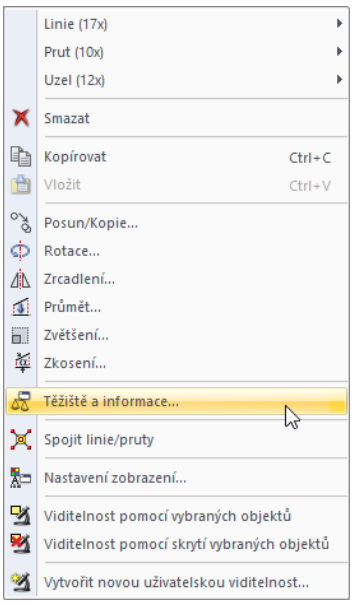


Obrázek 11.14 Dialog *Upravit pohled*

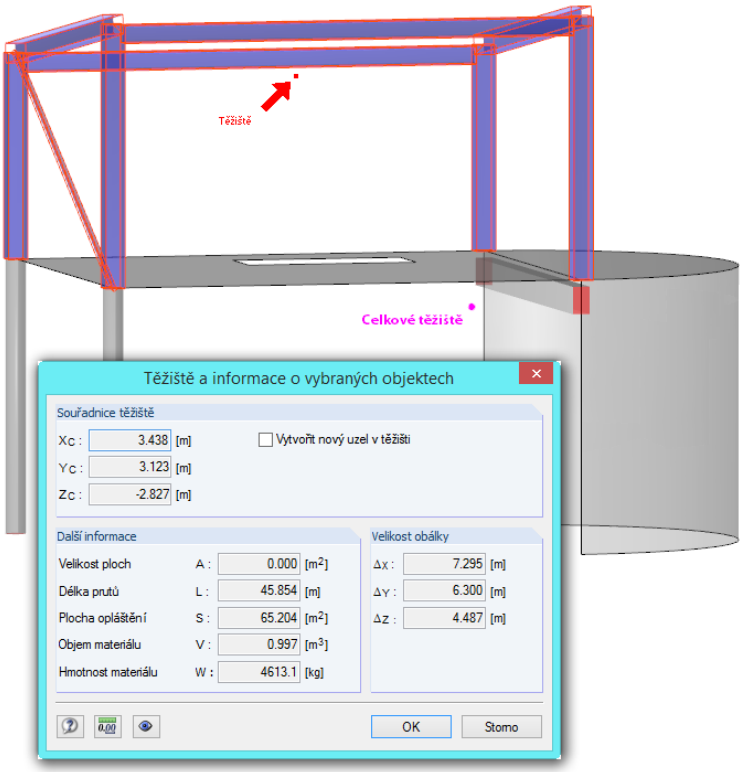
Kliknutím a tažením myši lze ve dvou názorných oknech v pravé části dialogu nastavit bod a úhel pohledu. Kromě toho můžeme upravit faktor *perspektivy*.

11.1.8 Výpočet těžiště

Celkové těžiště modelu se po úspěšném vygenerování sítě konečných prvků zobrazí automaticky, pokud jsme v navigátoru *Zobrazit* označili příslušnou volbu v položce *Obecné*. Barvu a velikost lze upravit v dialogu *Vlastnosti zobrazení* v kategorii **Barvy → Jiné → Těžiště** (viz kapitola 11.1.2).



Dále lze vypočítat těžiště určitých objektů: příslušné pruty, plochy a tělesa zařadíme do mnohonásobného výběru nebo je vybereme oknem (viz kapitola 11.2). Po kliknutí pravým tlačítkem myši na některý z vybraných objektů se následně aktivuje místní nabídka, kterou vidíme na levém okraji. Jestliže v místní nabídce vybereme položku *Těžiště a informace...*, zobrazí se nám souhrnné informace o vybraných objektech.



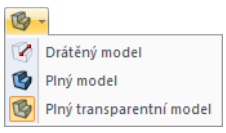
Obrázek 11.15 Dialog *Těžiště a informace o vybraných objektech*

V tomto informačním dialogu jsou uvedeny *souřadnice těžiště*, které se vztahují k počátku globálního souřadného systému XYZ. V pracovním okně se těžiště vyznačí šipkou. Uživatel může případně *vytvořit nový uzel v těžišti*.

Kromě *velikosti obálky* vybraných objektů se zobrazí v sekci *Další informace* následující údaje:

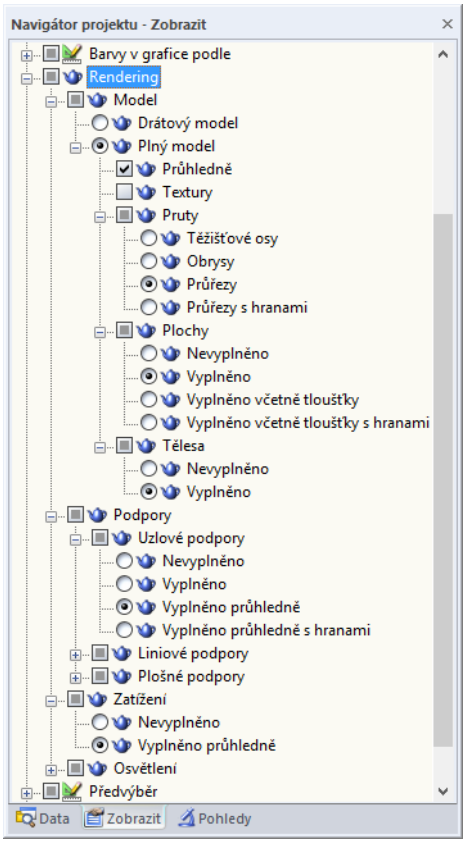
- Velikost všech ploch
- Délka všech prutů
- Plocha opláštění všech objektů
- Objem materiálu
- Hmotnost materiálu

11.1.9 Renderování



Zobrazení modelu v pracovním okně může uživatel snadno měnit. Pomocí vlevo znázorněného rozbalovacího tlačítka lze rychle přepínat mezi zobrazením *drátěného modelu*, *plného modelu* a *plného transparentního modelu*.

Podrobně lze zobrazení jednotlivých objektů nastavit v navigátoru *Zobrazit* v položce **Rendering**.



Obrázek 11.16 Navigátor *Zobrazit* s položkami *Rendering* modelu a zatížení

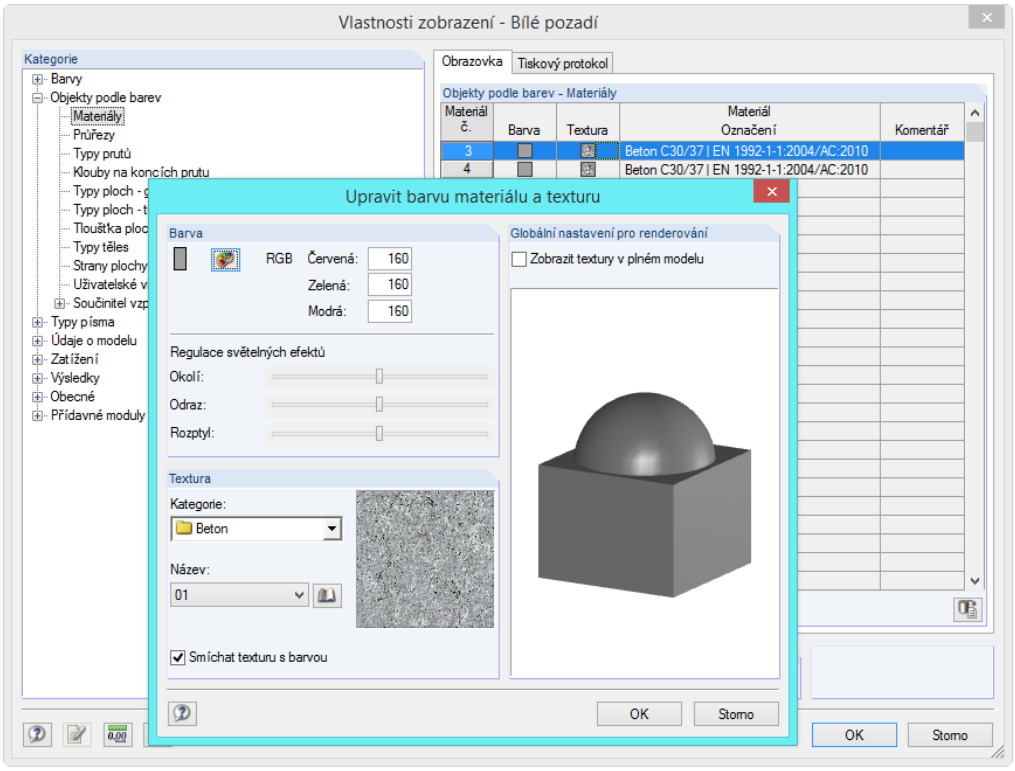
Zobrazení *plného modelu* lze detailně nastavit zvlášť u prutů, ploch i těles. Uživatel může ovlivnit také zobrazení podpor a zatížení.

Textury

Pokud aktivujeme *textury*, zobrazí se v renderovaném modelu povrchové vlastnosti materiálů. Detailně lze textury nastavit z hlavní nabídky

Nastavení ⟶ Nastavení zobrazení ⟶ Upravit...

Otevře se dialog *Vlastnosti zobrazení*, v kterém nastavíme kategorii **Objekty podle barev ⟶ Materiály**. V pravé části dialogu se pak zobrazí materiály s přiřazenými barvami a texturami. Pokud dvakrát klikneme do pole v požadovaném řádku, otevře se dialog *Upravit barvu materiálu a texturu*.

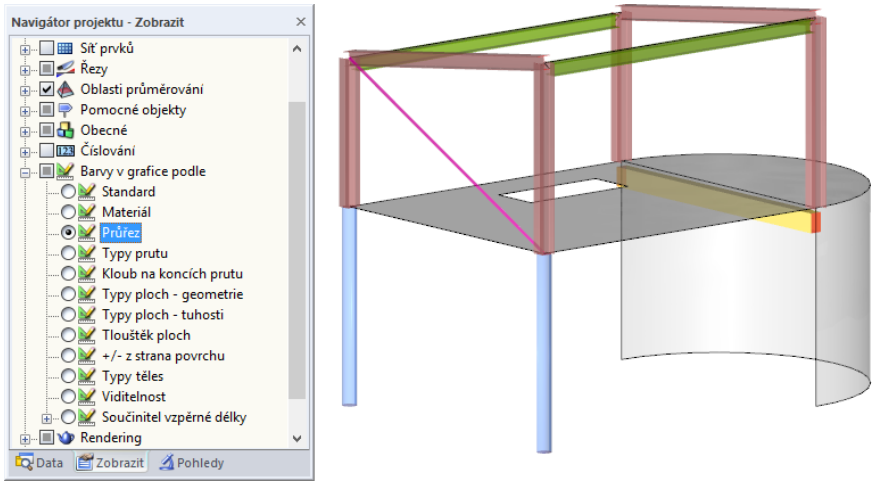


Obrázek 11.17 Dialog *Upravit barvu materiálu a texturu*

V tomto dialogu můžeme *barvu* a *texturu* u vybraného materiálu upravit. K dispozici přitom máme [paletu barev] a rozsáhlou [knihovnu] textur.

Nastavení barev

Položka **Barvy v grafice podle** v navigátoru *Zobrazit* obsahuje přepínač s mnoha volbami. Aktivované políčko má vliv na to, v jakých barvách se objekty při renderování zobrazí. Obvykle se používají barvy materiálů, které jsme jednotlivým látkám přiřadili (viz kapitola 4.3). Ostatní volby umožňují v grafickém okně pohledem překontrolovat podle barev také průřezy, typy prutů, ploch či těles.



Obrázek 11.18 Možnost *Barvy v grafice podle průřezů* pro kontrolu profilů

Možnost *Barvy v grafice podle +/- z strany plochy* slouží k ověření polohy stran plochy. Jedná se o důležitou informaci při zadání podloží s kritériem neúčinnosti nebo také pro uspořádání výztuží. Horní strana plochy se standardně zobrazí v červené, spodní strana v modré barvě.

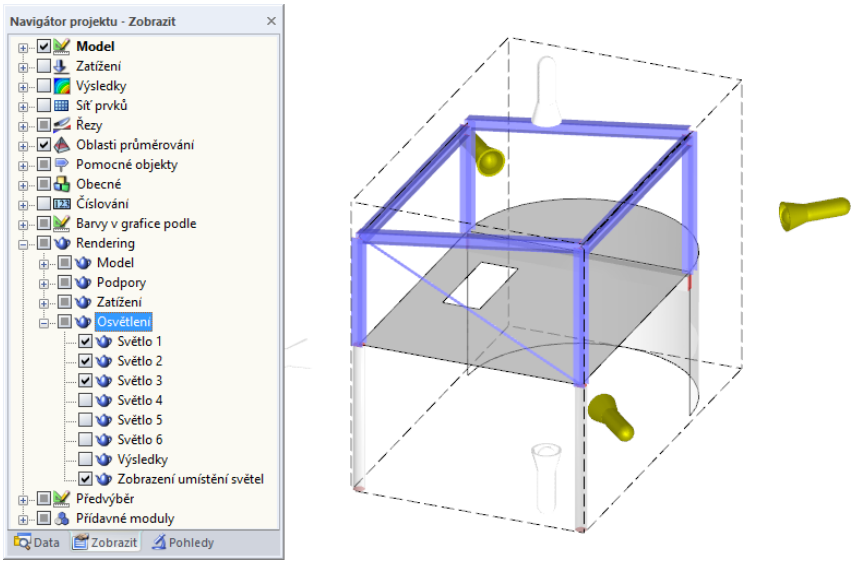
11.1.10 Osvětlení

Světlost a světelné efekty v renderovaném modelu lze individuálně upravovat. Jas v modelu můžeme ovlivňovat z navigátoru *Zobrazit* z položky

Rendering → Osvětlení.

K dispozici máme šest zdrojů světla: světlo 1 až světlo 4 osvětlují model ze strany, světlo 5 a světlo 6 zezdola, resp. shora. *Světla* můžeme zapínat či vypínat jednotlivě.

Položka *Zobrazení umístění světel* umožňuje zobrazit zdroje světla. Aktivovaná světla se přitom zobrazí ve zlaté, neaktivní v šedé barvě.



Obrázek 11.19 Zobrazení umístění světel z navigátoru *Zobrazit*

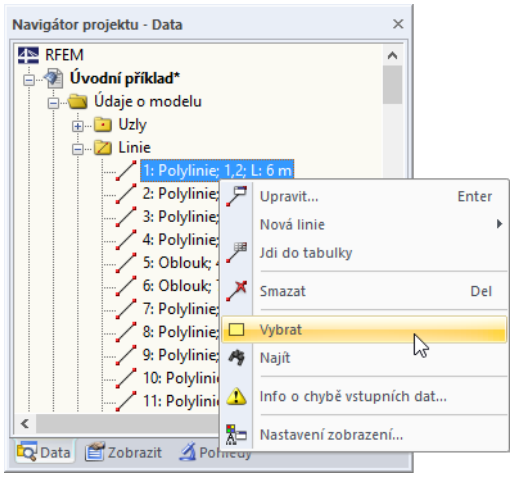
Světelné efekty lze případně použít i při zobrazení *výsledků*. V přednastavení není dané zaškrtávací políčko označeno, protože osvětlení má často spíše nepříznivý vliv na viditelnost výsledků na plochách či tělesech.

11.2 Výběr

Funkce výběru umožňují stanovit objekty, které chceme následně upravovat. Mohou to být například uzly, linie, plochy, tělesa, pruty, podpory nebo zahuštění sítě prvků. Graficky lze ale také vybrat zatížení a pomocné objekty (kóty, komentáře).

K výběru (nebo hledání) objektu v pracovním okně můžeme také použít tabulky: pokud myší klikneme do příslušného řádku v tabulce, daný objekt se v grafickém okně zvýrazní odlišnou barvou. Předpokladem je ovšem v tomto případě aktivování synchronizace výběru (viz kapitola 11.5.4).

Objekty můžeme vybrat také v navigátoru *Data*. Klikneme na danou položku pravým tlačítkem myši a v místní nabídce zvolíme funkci *Vybrat*.



Obrázek 11.20 Místní nabídka v navigátoru *Data*

11.2.1 Grafický výběr objektů

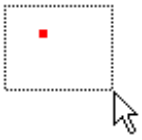
Výběr myší

Každý objekt můžeme v grafickém okně vybrat jednoduchým kliknutím myší. V grafickém zobrazení se vybraný objekt vyznačí odlišnou barvou. Výběr se vždy vztahuje pouze na objekt, na který klikneme naposledy (pokud platí standardní nastavení *Nový výběr*).

Pokud chceme vybrat několik objektů najednou, je třeba při klikání myší držet klávesu [Ctrl]. Jestliže v panelu nástrojů přepneme na volbu *Přidávat do výběru* nebo danou volbu aktivujeme z hlavní nabídky **Úpravy ⟶ Vybrat**, můžeme vybrat postupně i několik objektů pouhým kliknutím myší na ně.

Takzvaný **předvýběr** slouží k vyhledání požadovaných objektů předtím, než je kliknutím vybereme. Jestliže výběr není v případě složitějších konstrukcí snadný, můžeme v navigátoru *Zobrazit* v kategorii *Předvýběr* vyloučit z předvýběru nepotřebné konstrukční prvky.

Výběr oknem



Mnoho objektů v jediném kroku lze označit při výběru oknem. Levým tlačítkem myši vyznačíme pohybem pravoúhlou oblast, v které leží příslušné objekty. Pokud vytváříme okno zleva doprava, vyberou se všechny objekty, které zcela leží v daném okně. Jestliže vytváříme okno zprava doleva, budou vybrány i objekty, které v okně leží jen částečně.

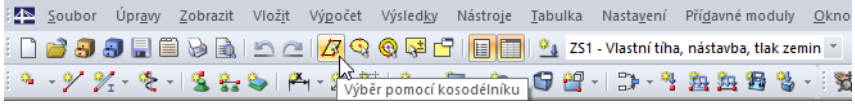
Pokud se při výběru linií nebo uzlů oknem chceme vyhnout nechtěnému posunu příslušných ploch, stiskneme klávesu [Alt].

Výběr kosodélníkem

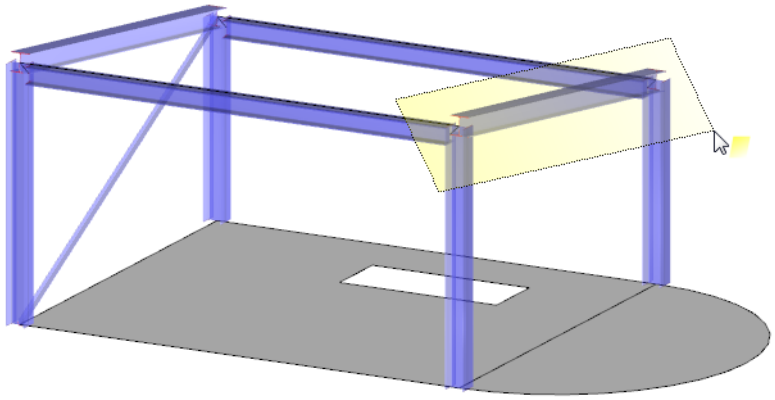
V izometrickém zobrazení není často snadné výběr pravoúhlým oknem provést. Pro takový případ má uživatel k dispozici funkci *Výběr kosodélníkem*, kterou vyvolá příkazem z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ Kosodélníkem

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 11.21 Tlačítko *Výběr pomocí kosodélníku*



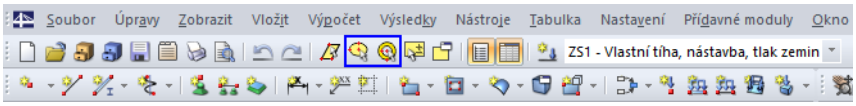
Obrázek 11.22 Výběr kosodélníkem

Výběr elipsou /mezikružím

Funkce pro výběr elipsou, příp. mezikružím představují alternativu pro výběr pomocí kosodélníku. Mohou být užitečné například v případě kruhových ploch. Dané funkce vyvoláme z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ Elipsou, resp. Mezikruží

nebo pomocí příslušných tlačítek v panelu nástrojů.



Obrázek 11.23 Tlačítka *Výběr pomocí elipsy, resp. mezikruží*

Elipsovitou, příp. prstencovou oblast výběru stanovíme tak, že klikneme na střed a následně určíme oba poloměry.

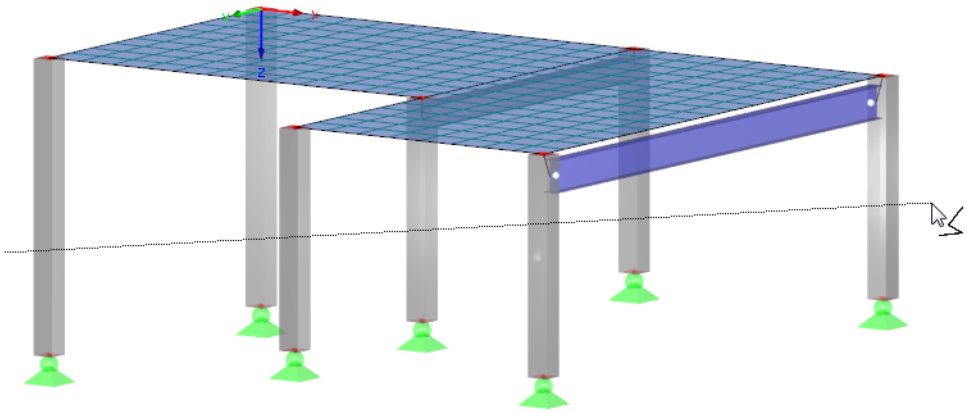
Výběr napříč

Objekty lze vybrat také pomocí linie, která v libovolném místě protíná model. Funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ Napříč.

Průsečnici nemusíme vytvářet v grafickém okně jako přímou linii, můžeme ji zadat také jako lomenou čáru. Příslušné body stanovíme postupně kliknutím myší. Dané body nejsou závislé na pracovní rovině: vybrány budou všechny objekty, kterými je průsečnice vedena v aktuálním pohledu na model.

Jakmile stanovíme konečný bod průsečnice, klikneme na daný bod ještě jednou (případně určíme poslední bod dvojím kliknutím). Poslední bod průsečnice bychom měli umístit do prázdné plochy v pracovním okně.



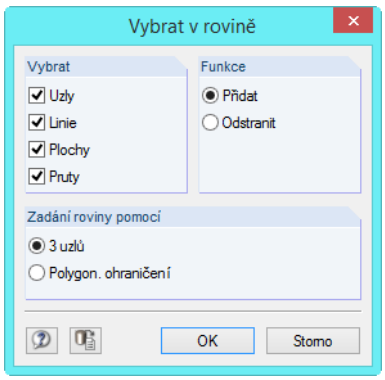
Obrázek 11.24 Výběr všech sloupů pomocí průsečnice

Výběr v rovině

K výběru objektů, které leží v jedné rovině (např. střešní plochy), je vhodné použít funkci *Vybrat v rovině*. Tuto funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ V rovině...

Otevře se dialog, v kterém lze podrobně definovat výběr objektů i roviny.



Obrázek 11.25 Dialog *Vybrat v rovině*

Po kliknutí na [OK] určíme danou rovinu v grafickém okně RFEMu tak, že klikneme na *3 uzly* nebo pro ni určíme *polygonové ohraničení* volně, resp. pomocí uzlů v pracovní rovině.

Výběr volných uzlů

Uzly, které neslouží k zadání žádných linií ani ploch, lze vybrat z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ Volné uzly.

Pokud chceme volné uzly smazat, je nejjednodušší po jejich výběru stisknout klávesu [Del].

Výběr souvisejících objektů

Pokud např. vybereme kliknutím myší určitou plochu, nebudou ve výběru obsaženy uzly ani linie, které k dané ploše náleží. Složky objektů můžeme vybrat příkazem z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Vybrat ⟶ Související objekty.

Můžeme tak například rychle zařadit podpory prutů či ploch do výběru a uložit je jako související objekty do *viditelnosti* (viz kapitola 9.9.1.2).

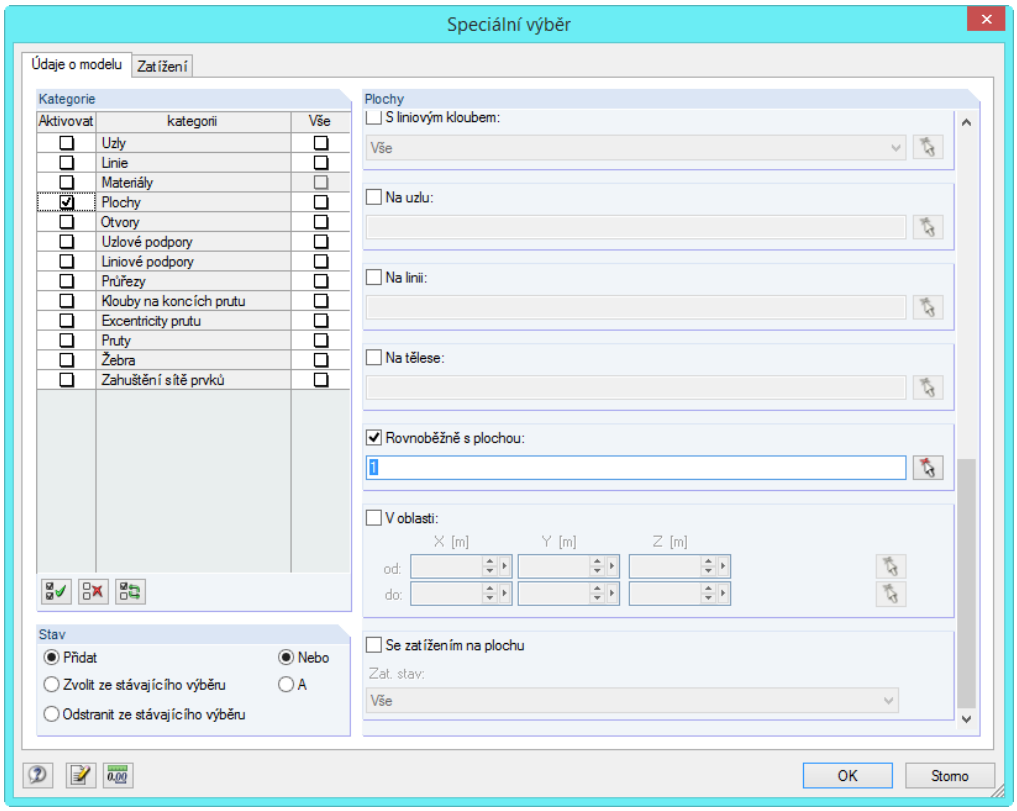
11.2.2 Výběr objektů podle kritérií

Tato funkce slouží k výběru objektů podle určitých kritérií. Objekty lze dále také přidat ke stávajícímu výběru nebo je naopak z výběru odstranit.

Funkci pro podrobný výběr vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Vybrat → Podrobně...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

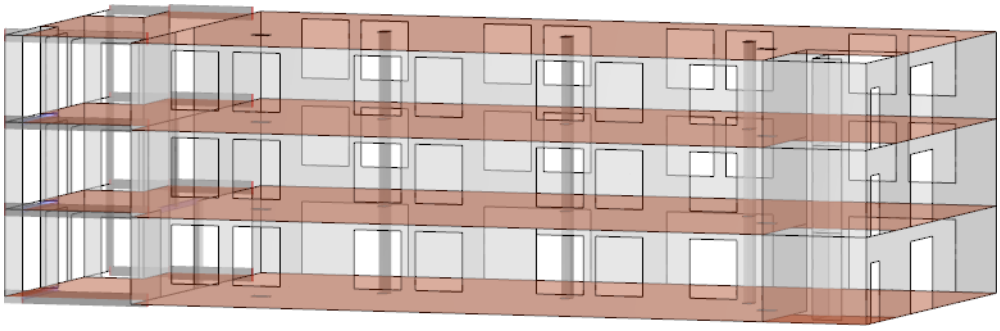


Obrázek 11.26 Dialog *Speciální výběr*

V levé části dialogu ve sloupci *Kategorie* vidíme seznam všech typů objektů v daném modelu konstrukce. V závislosti na vybrané položce v tomto sloupci se mění pravá část dialogu. V ní určíme výběrové kritérium a zpravidla doplníme přesné požadavky pro výběr.

Příklad

V případě nastavení, které vidíme na obr. 11.26, se mají vybrat všechny plochy *rovnoběžné s plochou 1* (se základovou deskou). V tomto dialogu lze vzorovou plochu vybrat i graficky pomocí tlačítka .



Obrázek 11.27 Výběr rovnoběžných ploch

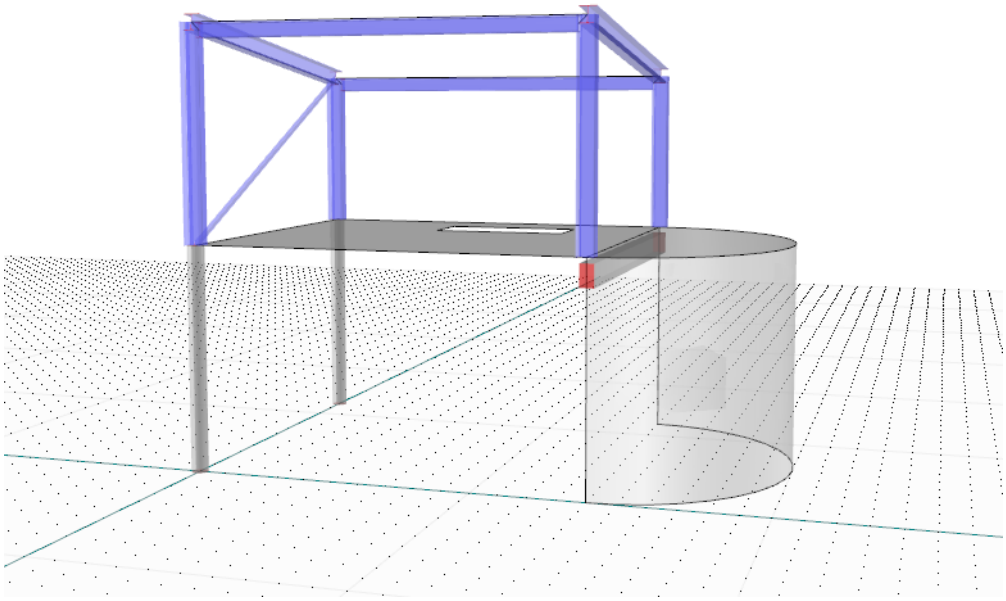
11.3 Pracovní okno

Speciální funkce CAD slouží jako podpůrné nástroje při grafickém zadávání objektů v pracovním okně. Jedná se například o pracovní roviny, uchopovací funkce, vodicí linie a vlastní definované souřadné systémy.

11.3.1 Pracovní roviny

I prostorový model konstrukce lze na obrazovce znázornit pouze dvourozměrně. Pro grafické zadávání objektů to představuje určitý problém, protože musí být stanoveno, v které rovině se objekty vytvoří při jejich zadávání v grafickém okně. Pracovní rovina určuje, která souřadnice je vždy „pevně daná“.

Osový kříž aktuální pracovní roviny je vyznačen dvěma v prostoru pravoúhlými zelenými čarami. Jejich průsečík se označuje jako „počátek pracovní roviny“.



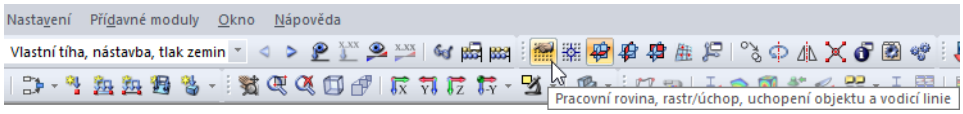
Obrázek 11.28 Zobrazení pracovní roviny v grafickém okně

Pracovní rovina je zpravidla rovnoběžná s rovinou XY, YZ nebo XZ globálního souřadného systému. U pracovní roviny můžeme také zadat libovolný sklon nebo ji můžeme definovat na základě os linií, prutů nebo ploch.

Dialog pro zadání parametrů pracovní otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Pracovní rovina; rastr; uchopení objektu; vodicí linie...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

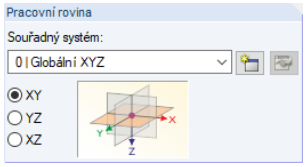
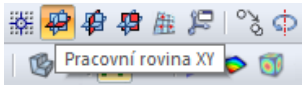
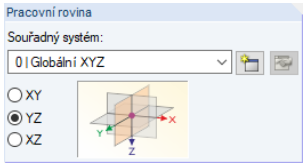
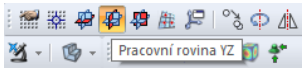
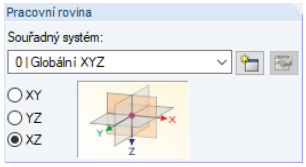


Obrázek 11.29 Tlačítko *Pracovní rovina, rastr/úchop, uchopení objektu a vodicí linie*

Zobrazí se dialog, který vidíme na obr. 11.34.

Rovnoběžná s globální rovinou XY / YZ / XZ

Pracovní rovina může být rovnoběžná s některou z těchto globálních rovin:

Rovina	Výběr v dialogu Pracovní rovina	Panel nástrojů
XY		
YZ		
XZ		

Tabulka 11.3 Výběr pracovní roviny

Ostatní možnosti pro zadání pracovní roviny najdeme v hlavní nabídce

Nástroje ⟶ Vybrat pracovní rovinu

nebo v panelu nástrojů.

Rovina pomocí 3 bodů

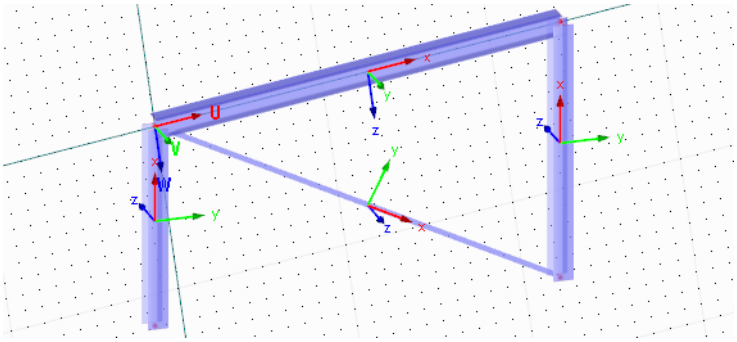
V pracovním okně zvolíme tři body, kterými stanovíme novou pracovní rovinu se souřadným systémem UVW. Body nesmí ležet na přímce.

Rovina pomocí linie v ose X / Y / Z

Pracovní rovina bude dána linií, kterou stanovíme graficky v pracovním okně, a jednou z globálních os. Počátek nové pracovní roviny se umístí do počátečního uzlu linie a osa U povede rovnoběžně s vybranou globální osou. Tímto způsobem můžeme například rychle vytvořit pracovní rovinu ve střešní desce.

Rovina na základě os prutu xy / xz

Pracovní rovina bude dána osami prutu xy („slabá“ osa) nebo xz („silná“ osa) (viz kapitola 4.17). Příslušný prut určíme graficky v pracovním okně. Počátek pracovní roviny se umístí do počátečního uzlu vybraného prutu.



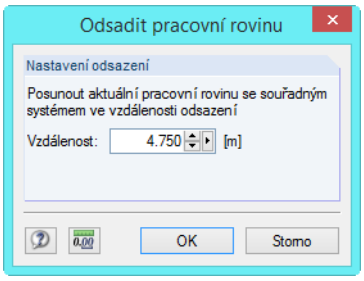
Obrázek 11.30 Pracovní rovina ve sklonu střechy na základě os prutu xz

Rovina na základě os plochy xy

Pracovní rovinu budou určovat osy xy plochy, kterou stanovíme graficky v pracovním okně (viz kapitola 4.4). Osy nové pracovní roviny se označí jako UVW (viz obr. 11.30).

Odsazení pracovní roviny

Tato funkce umožňuje posunout pracovní rovinu ve směru kolmém k aktuální pracovní rovině. Požadovanou vzdálenost stanovíme v dialogu *Odsadit pracovní rovinu*.

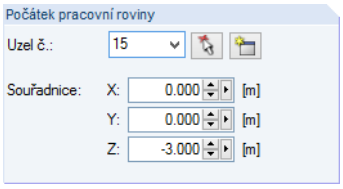


Obrázek 11.31 Dialog *Odsadit pracovní rovinu*

Odsazení bude pro pracovní rovinu platit tak dlouho, dokud danou funkci v hlavní nabídce opět nezrušíme.

Počátek pracovní roviny

V dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* (obr. 11.34) lze nastavit nulový bod (počátek) pracovní roviny. Po kliknutí na tlačítko lze vybrat požadovaný uzel v grafickém okně. Pokud chceme definovat nový uzel, klikneme na tlačítko . Můžeme ovšem také přímo zadat souřadnice libovolného bodu.

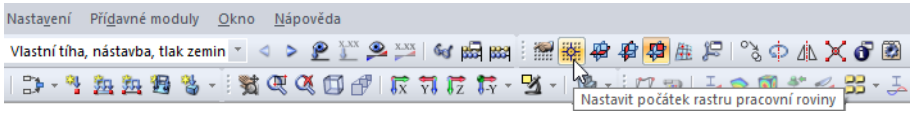


Obrázek 11.32 Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*, sekce *Počátek pracovní roviny*

Počátek pracovní roviny můžeme stanovit také graficky z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Vybrat pracovní rovinu ⟶ Nastavit počátek

nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



Obrázek 11.33 Tlačítko *Nastavit počátek rastru pracovní roviny*

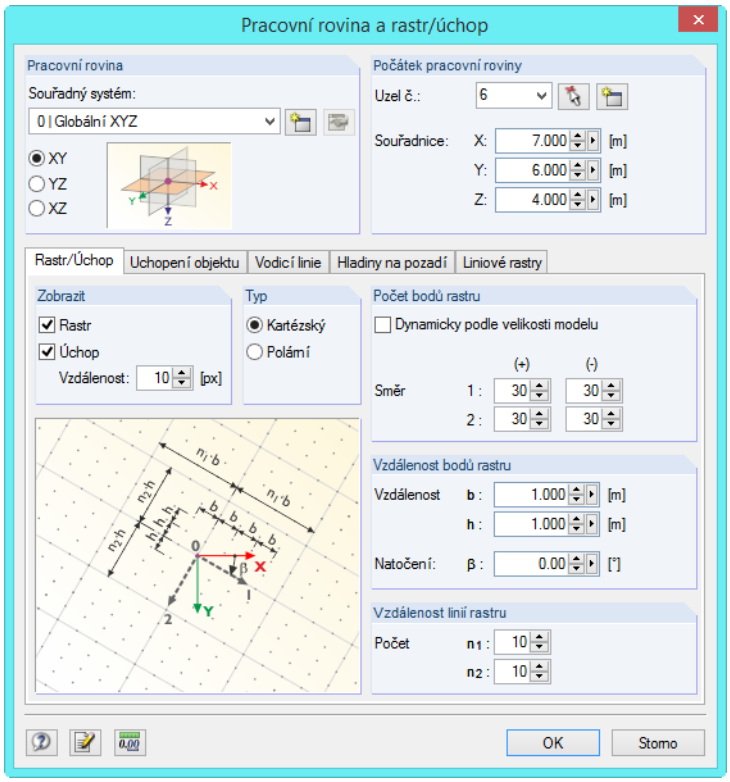
11.3.2 Rastr

V pracovní rovině lze zobrazit rastrové body, které uživateli usnadní zadávání uzlů. Při grafickém zadání se uzly uchytí na příslušných bodech rastru.

Vlastnosti rastrových bodů lze také definovat v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop*. Tento dialog vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Pracovní rovina; rastr; uchopení objektu; vodicí linie…

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů (viz obr. 11.29).



Obrázek 11.34 Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*

Vlastnosti rastru se nastavují v záložce *Rastr/Úchop*.

Zobrazit

Pokud zaškrtneme políčko *Rastr* v této sekci, zapneme zobrazení rastru v grafickém okně. Úchopovou funkci lze aktivovat samostatně pomocí kontrolního políčka *Úchop*. To znamená, že i když se rastr nezobrazí, lze body rastru uchopit.

UCHOP RASTR

Obě tyto funkce lze rychle zapnout, popř. vypnout pomocí tlačítek [RASTR] a [ÚCHOP] ve stavovém řádku.

Typ

Body rastru lze uspořádat v kartézském nebo polárním souřadném systému. V závislosti na vybraném typu se mění obsah následujících sekcí.

KARTEZ

Typ rastru lze také vybrat pomocí tlačítka [KARTEZ], [POLÁR] nebo [ORTO] ve stavovém řádku.

Počet bodů rastru

V případě kartézského rastru lze zadat počet bodů rastru zvlášť pro oba směry.

Pokud jsme vybrali polární rastr, zadává se počet soustředných kružnic rastru.

Při zaškrtnutí volby *Dynamicky podle velikosti modelu* se počet bodů rastru automaticky nastaví podle rozměrů modelu konstrukce. Okolo modelu konstrukce je pak vždy k dispozici dostatečný počet rastrových bodů. Po každém novém zadání se však požadovaný počet bodů rastru znovu přepočítá, a tím se celý proces, zvláště je-li konstrukce rozsáhlá, může prodloužit.

Vzdálenost bodů rastru

V případě kartézského rastru lze zadat vzdálenost bodů rastru ve směru *1* a 2 zvlášť.

U polárního rastru se definuje radiální vzdálenost *R* soustředných kružnic rastru. Úhel α udává vzdálenost rastrových bodů na kružnicích.

Kartézský i polární rastr je možné volitelně natočit o úhel β.

V případě potřeby může uživatel upravit počet pixelů pro nastavení *vzdálenosti úchopu*.

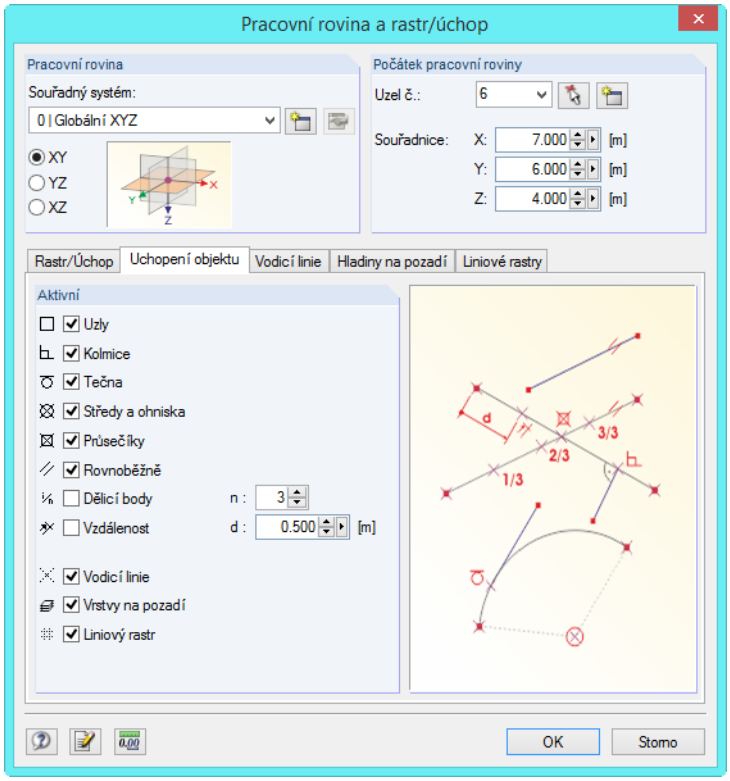
11.3.3 Uchopení objektu

Uchopování objektů usnadňuje CAD konstruování při zadávání linií. Kromě uzlů lze u linií aktivovat řadu dalších prvků, které lze následně uchopit.

Nastavení se provádí v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop*, který otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Pracovní rovina; rastr; uchopení objektu; vodicí linie…

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů (viz obr. 11.29).



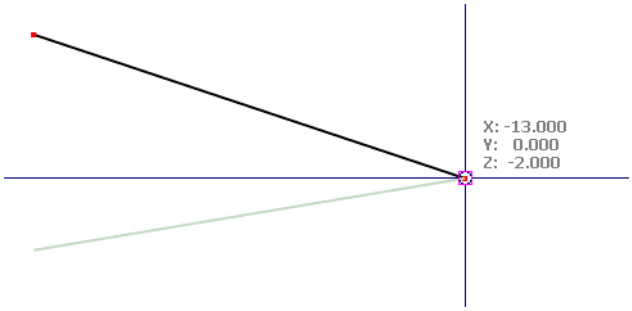
Obrázek 11.35 Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*

Jednotlivé funkce pro uchopení objektů se nastavují v záložce *Uchopení objektu*.

OUCHOP

Ve stavovém řádku je pro spuštění této funkce třeba aktivovat tlačítko [OUCHOP].

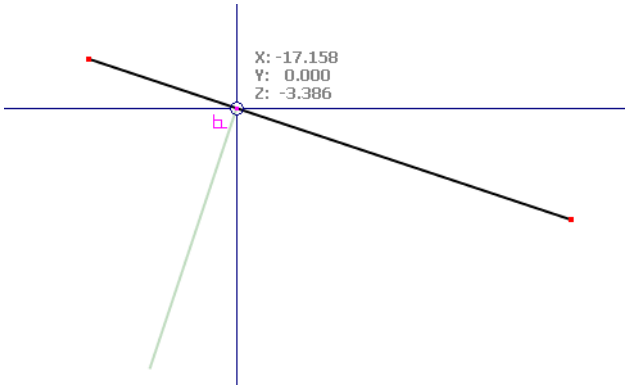
Uzly



Obrázek 11.36 Uchopení uzlu

Při zadání nové linie budou uchopeny příslušné uzly. Uchopené body se označí čtverečkem.

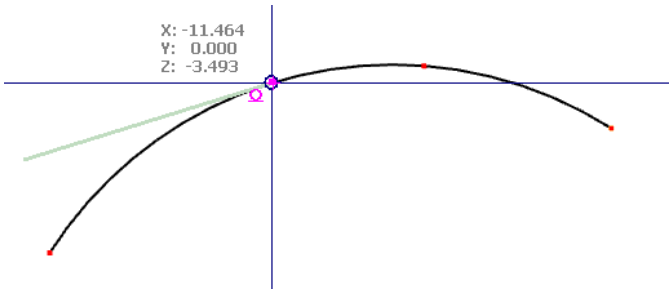
Kolmice



Obrázek 11.37 Připojení linie po kolmici

Pokud se kurzor myši při zadávání linie přiblíží k bodu dotyku kolmice, na místě se zafixuje. Bod uchopení se označí symbolem kolmice.

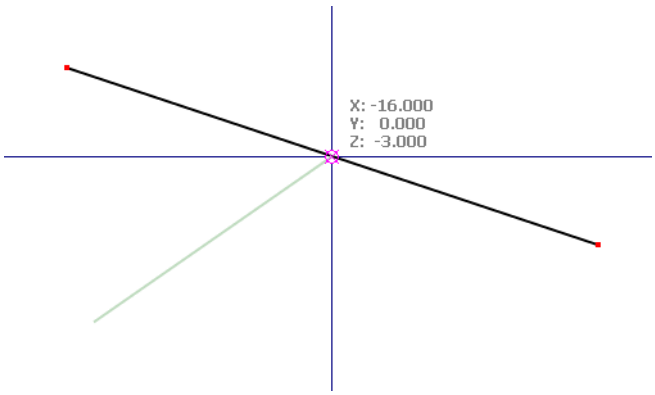
Tečna



Obrázek 11.38 Připojení tečny ke kružnici

Tato funkce umožňuje vytvořit tečnu ke kružnici. Pokud se kurzor myši při zadávání linie přiblíží k bodu dotyku tečny, na místě se zafixuje. Bod uchopení se označí symbolem tečny.

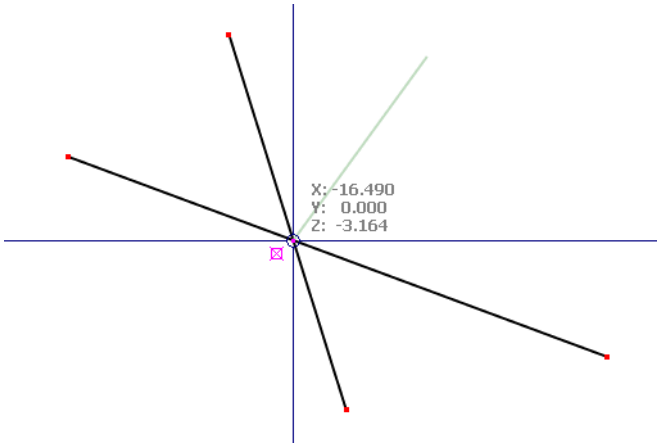
Středy a ohniska



Obrázek 11.39 Připojení linie ve střednici linie

Pokud se kurzor myši přiblíží ke středu linie, na místě se zafixuje. Bod uchopení se označí symbolem střednice.

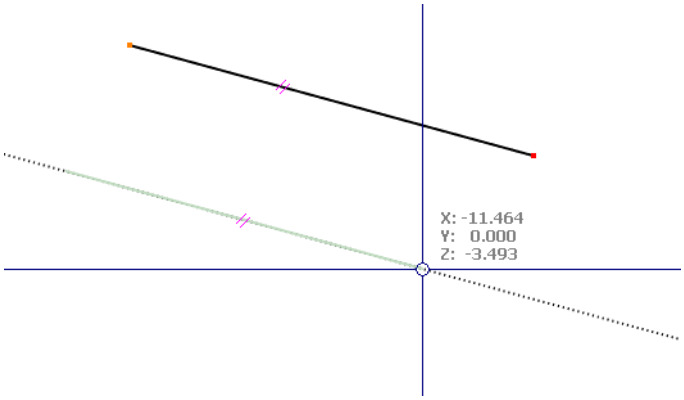
Průsečíky



Obrázek 11.40 Uchopení linií v jejich průsečíku

Kurzor myši se zafixuje v bodě průsečíku dvou zkřížených linií, které nemají žádný společný uzel. V bodě uchopení se zobrazí symbol průsečíku.

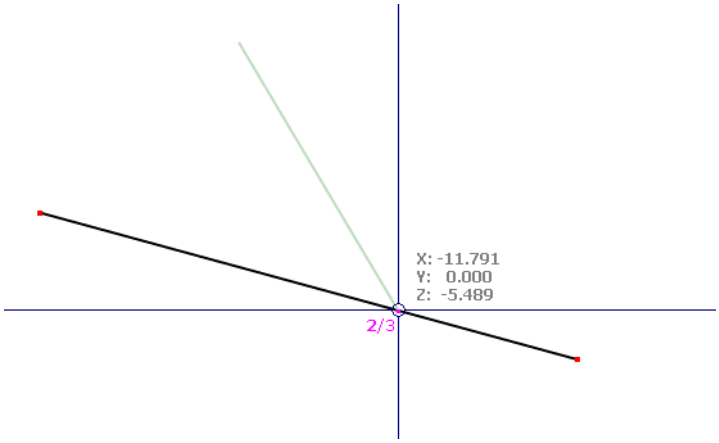
Rovnoběžně



Obrázek 11.41 Uchopení rovnoběžné linie

Tato funkce umožňuje zadávat rovnoběžné linie. Vytvoříme počáteční uzel nové linie a pohybujeme myší podél vzorové linie. Jakmile se kurzor myši přiblíží k bodu možného koncového uzlu nové linie tak, že nová linie leží rovnoběžně se vzorovou, objeví se na obou liniích symbol pro paralelní linie.

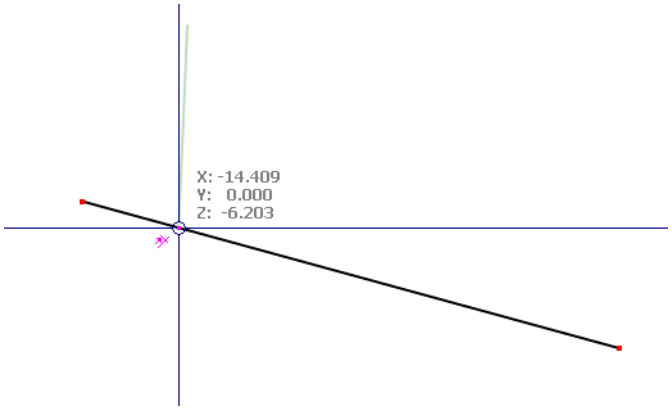
Dělicí body



Obrázek 11.42 Uchopení linie v dělicím bodě (v tomto případě ve 2/3 linie)

V záložce *Uchopení objektu* v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* lze nastavit počet dělicích bodů *n* na linii. Pokud se kurzor myši bude pohybovat po linii, zafixuje se v dělicích bodech. V daném bodě se zobrazí zlomek jako symbol pro dělicí bod.

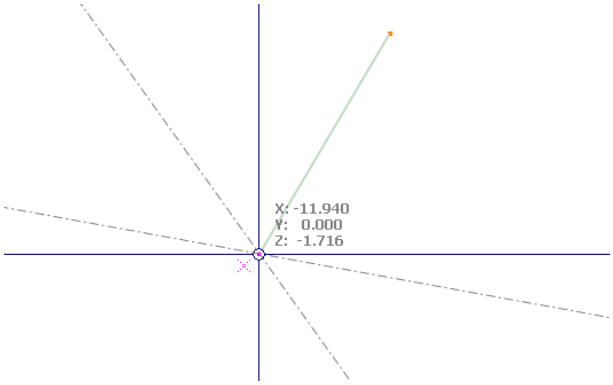
Vzdálenost



Obrázek 11.43 Připojit linii v definované vzdálenosti

V záložce *Uchopení objektu* v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* lze nastavit vzdálenost dělicího bodu d od počátku (konce) linie. Pokud se kurzor myši pohybuje po linii, zafixuje se v určené vzdálenosti od počátku nebo konce linie. Bod uchopení bude vyznačen symbolem pro vzdálenost.

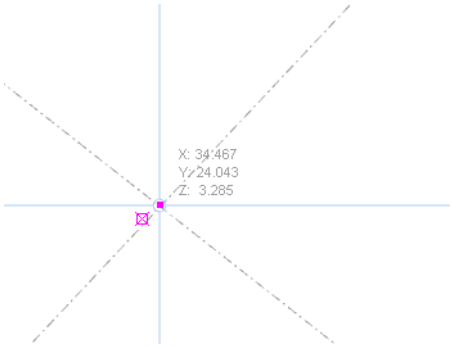
Vodicí linie



Obrázek 11.44 Uchopení vodicích linií v průsečíku

Pokud se kurzor myši přiblíží k bodu průsečíku dvou vodicích linií (viz kapitola 11.3.7), na místě se zafixuje. V bodě uchopení se zobrazí symbol průsečíku.

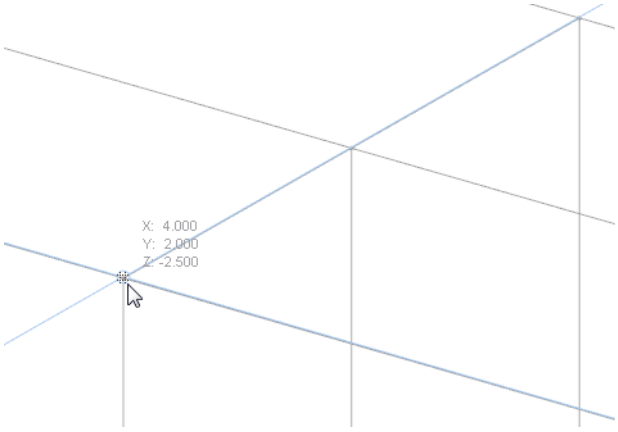
Vrstvy na pozadí



Obrázek 11.45 Uchopení vrstev na pozadí v jejich průsečíku

Tato funkce umožňuje umístit uzly na průsečících vrstev na pozadí (viz kapitola 11.3.7). V bodě uchopení se zobrazí symbol průsečíku.

Liniový rastr



Obrázek 11.46 Uchopení bodů liniového rastru

Tato funkce umožňuje zadávat objekty v průsečících liniového rastru (viz kapitola 11.3.8).

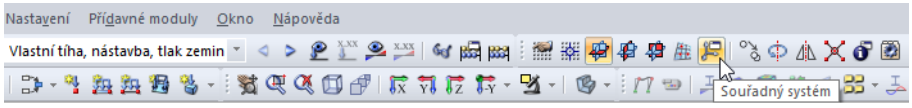
11.3.4 Souřadné systémy

Uživatelské souřadné systémy usnadňují zadání šikmých částí modelu konstrukce. Slokálními osovými systémy linií, ploch či prutů nijak nesouvisejí. Další možností je zadat pracovní roviny graficky na základě os bodů, linií, prutů nebo ploch (viz kapitola 11.3.1).

Dialog pro výběr nebo zadání souřadného otevřeme příkazem z hlavní nabídky

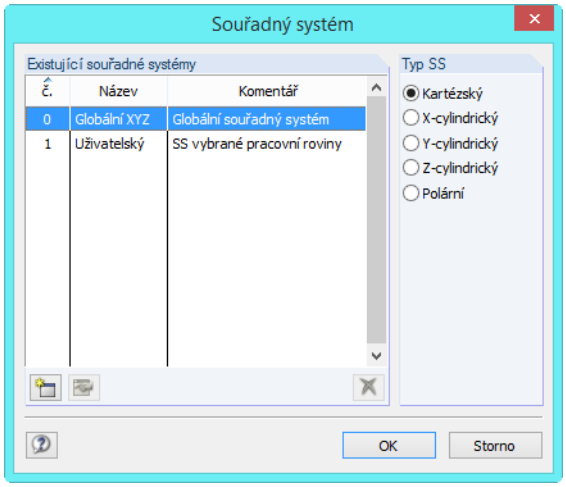
Nástroje → Souřadný systém...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 11.47 Tlačítko *Souřadný systém*

Vlastní souřadný systém může uživatel zadat také v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* (viz obr. 11.34) po kliknutí na tlačítko .

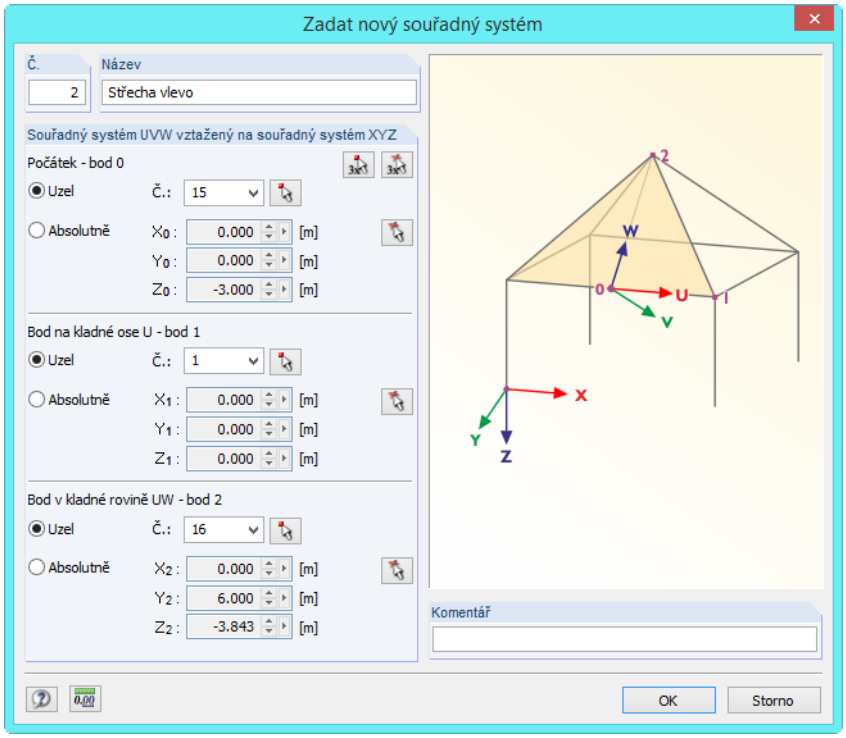


Obrázek 11.48 Dialog *Souřadný systém*

Jako výchozí je nastaven *standardní*, k počátku vztažený globální souřadný systém XYZ.

Vytvoření nového souřadného systému

Pro zadání nového souřadného systému klikneme na tlačítko , vyznačené na obr. 11.48. Otevřeme tak dialog, který vidíme na následujícím obrázku. Dané tlačítko máme k dispozici také v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* (viz obr. 11.34).



Obrázek 11.49 Dialog *Zadat nový souřadný systém*

V tomto dialogu vyplníme *název* nového souřadného systému. V sekci *Souřadný systém UVW vztažený na souřadný systém XYZ* můžeme pak nový osový systém definovat třemi parametry:

- Počátek (bod 0 nového souřadného systému)
- Bod na kladné ose U (první osa)
- Bod v kladné rovině UW (natočení roviny okolo osy U)

Je tak třeba zadat tři body. Uvedeme jejich souřadnice přímo v dialogu nebo body určíme v grafickém okně pomocí funkce [Vybrat]. Body nesmí ležet na přímce.

Vlevo znázorněná tlačítka umožňují vybrat dané tři [uzly] nebo [body] také postupně v pracovním okně; je přitom třeba dbát na pořadí zadávaných bodů (nejdříve bod 0, poté bod 1, nakonec bod 2). Pomocí tlačítka vlevo lze vybírat pouze *uzly*, tlačítko vpravo slouží k výběru libovolných *bodů*. Rozdíl je patrný zvláště v případě, kdy upravíme uzel, kterým je souřadný systém definován. Souřadný systém se pak také automaticky upraví. V případě výběru libovolných bodů je souřadný systém pevně daný.

Pokud uživatel zadá pomocí tří bodů vlastní pracovní rovinu (viz kapitola 11.3.1), vytvoří RFEM automaticky nový souřadný systém s názvem *Vygenerován*.

Úprava nebo smazání souřadného systému

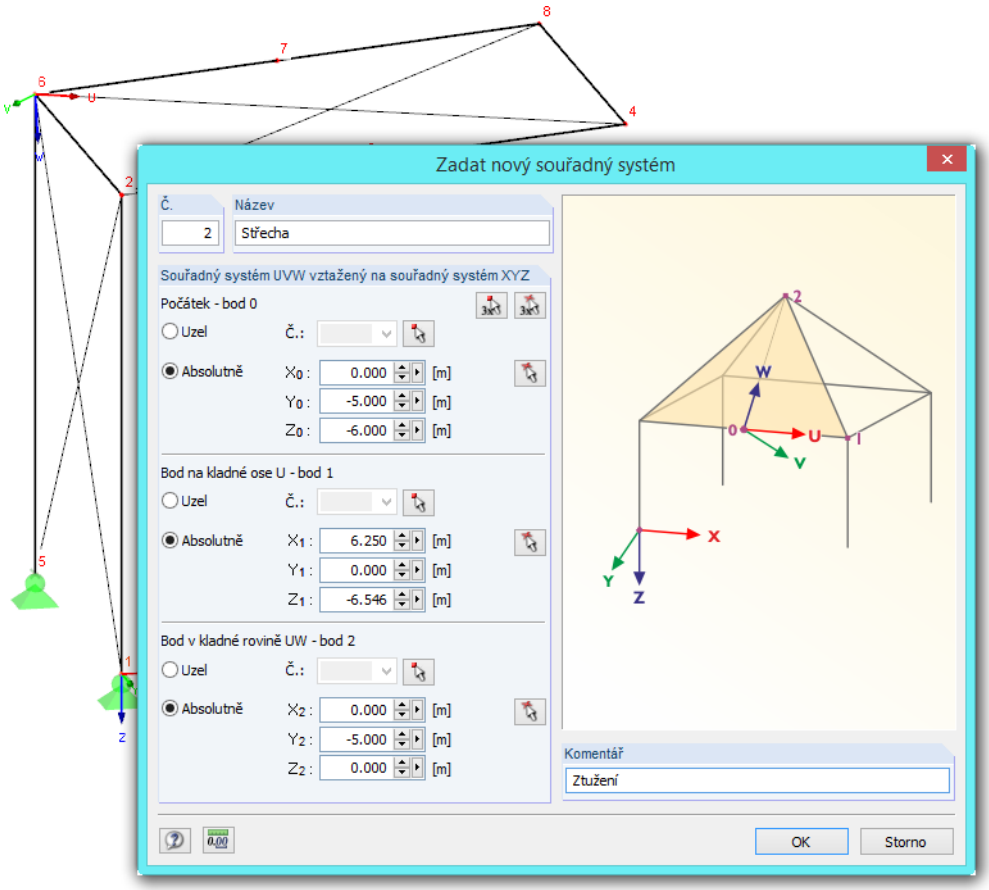
Upravit nebo smazat lze pouze souřadné systémy, které definoval sám uživatel. V dialogu *Souřadný systém* k tomu slouží následující tlačítka:

	Otevře dialog pro úpravu vybraného souřadného systému.
	Smaže vybraný souřadný systém.

Tabulka 11.4 Tlačítka v dialogu *Souřadný systém*

Příklad

Pro rámový roh chceme definovat nový souřadný systém, který je vztažen k diagonále v rovině střechy. *Počátek* bude stanoven v rohovém uzlu **6**. Jako *bod na kladné* ose U zvolíme koncový uzel **4** na diagonálním prutu, jako *bod v kladné rovině* UW zadáme uzel v patce sloupu **5**.



Obrázek 11.50 Uživatelský souřadný systém UVW v rámovém rohu

Rastr se pak vztahuje k pracovním rovinám UV, VW a UW, v nichž můžeme definovat nové objekty (viz kapitola 11.3.1).

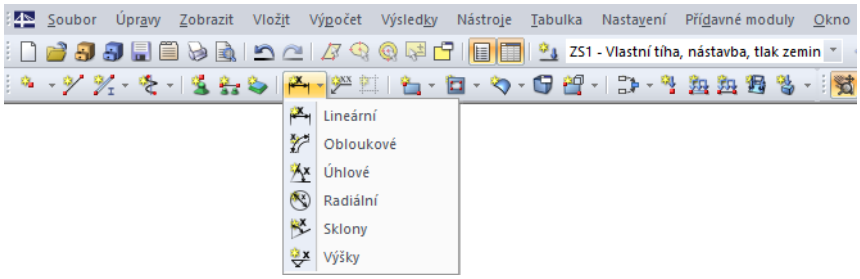
11.3.5 Kóty

Model konstrukce může uživatel doplnit kótovacími čarami.

Tuto funkci vyvoláme pomocí jedné z podpoložek v hlavní nabídce

Vložit → Kóty

nebo kliknutím na jedno z příslušných tlačítek v panelu nástrojů.



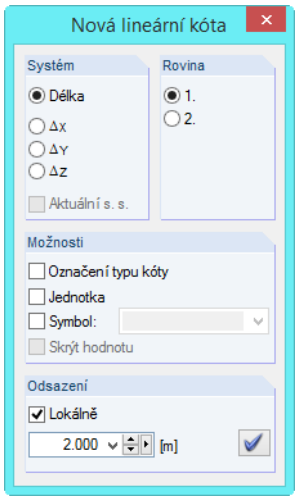
Obrázek 11.51 Tlačítka *Nová kóta*

Uživatel má na výběr z následujících možností:

Kóta	**Kótované objekty**
Lineární	Délka mezi dvěma nebo několika uzly.
Oblouková	Délka mezi uzly na oblouku.
Úhlová	Úhel mezi třemi uzly nebo mezi dvěma liniemi.
Radiální	Průměr nebo poloměr kruhu či oblouku.
Kóta sklonu	Úhel sklonu mezi linií a rovinou.
Výšková	Výška uzlu.

Tabulka 11.5 Funkce pro kótování

V závislosti na vybrané možnosti se otevře příslušný dialog. To závisí na provedeném výběru.



Obrázek 11.52 Dialog *Nová lineární kóta*

Kurzorem myši klikneme postupně na objekty, které budou představovat referenční body kótovací čáry. V dialogu v sekci *Systém* zvolíme, zda se kóta bude vztahovat ke skutečné délce nebo k průmětu ve směru některé globální osy.

V sekci *Rovina* stanovíme, v jakém pohledu se kóty zobrazí. Toto nastavení se vztahuje k osám

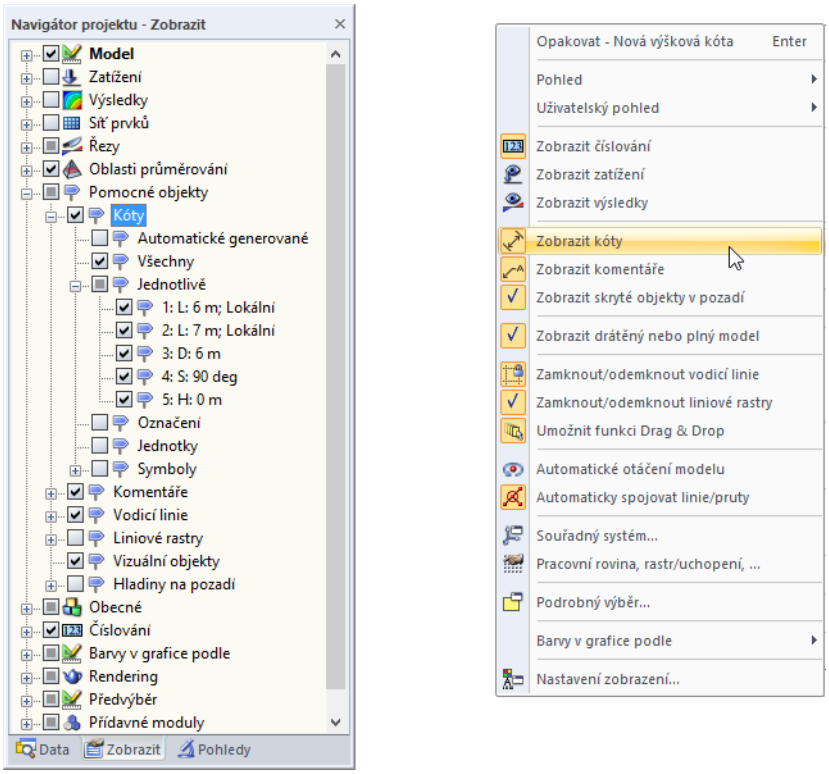
globálního souřadného systému XYZ, případně k osám linie. Pokud v grafickém okně pohybujeme kurzorem myši, je vliv obou přepínačů z této sekce znatelný.

Pomocí čtyř zaškrtávacích políček v sekci *Možnosti* nastavíme, jaké údaje se u kót zobrazí. Pokud aktivujeme volbu *Symbol*, můžeme symbol pro kótu uvést přímo v příslušném políčku nebo ho můžeme vybrat ze seznamu. Jestliže zaškrtneme možnost *Skrýt hodnotu*, nezobrazí se hodnota kóty, ale pouze symbol kóty.

V sekci *Odsazení* kótovací čáry se nastavuje vzdálenost kóty od prvního vybraného uzlu. Odsazení kóty lze zadat také graficky pomocí kurzoru myši. Kliknutím myší nebo pomocí tlačítka [Umístit kótu s daným odsazením] ji pak v pracovním okně zafixujeme na požadovaném místě.

Řetězec kót lze se stejným odsazením zadat tak, že jednoduše klikneme po sobě na jednotlivé uzly. Následně stanovíme velikost odsazení.

Zobrazení kót lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* nebo v obecné místní nabídce v pracovním okně. Otevřeme ji tak, že pravým tlačítkem myši klikneme do oblasti pracovního okna, kde se nenachází žádný objekt.



Obrázek 11.53 Navigátor *Zobrazit* (Pomocné objekty → Kóty) a obecná místní nabídka

Pokud provedeme změny v geometrii modelu konstrukce, automaticky se upraví i kóty.

Dvojím kliknutím na kótu vyvoláme dialog *Upravit kótu*, v němž lze odsazení kóty dodatečně upravit. Pokud ovšem chceme kótovací čáru vztáhnout k jiným uzlům nebo liniím, je třeba stávající kótu smazat a zadat novou.

11.3.6 Komentáře

V programu rozlišujeme dva typy komentářů:

- Komentáře v dialozích a tabulkách (viz kapitola 11.1.4)
- Komentáře v grafickém okně

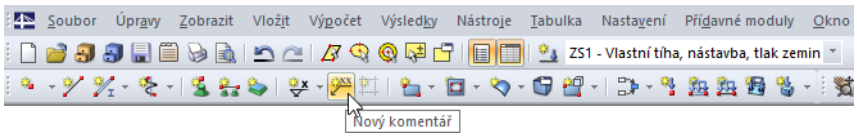
V této kapitole popíšeme vkládání komentářů v grafickém pracovním okně.

Komentáře lze vztáhnout v grafickém okně k uzlům nebo ke střednicím linií či prutů nebo je lze umístit do libovolného bodu v aktuální pracovní rovině, příp. v některé globální rovině.

Danou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

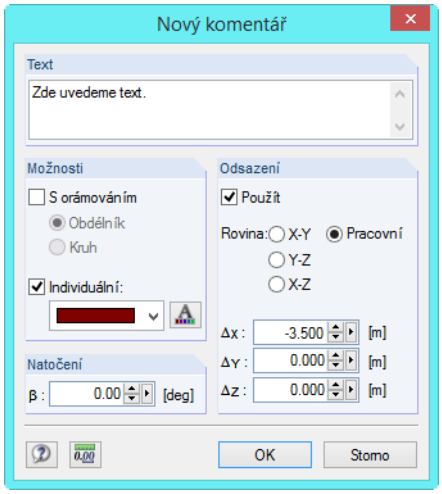
Vložit → Komentáře...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 11.54 Tlačítko *Nový komentář*

Otevře se dialog *Nový komentář*.



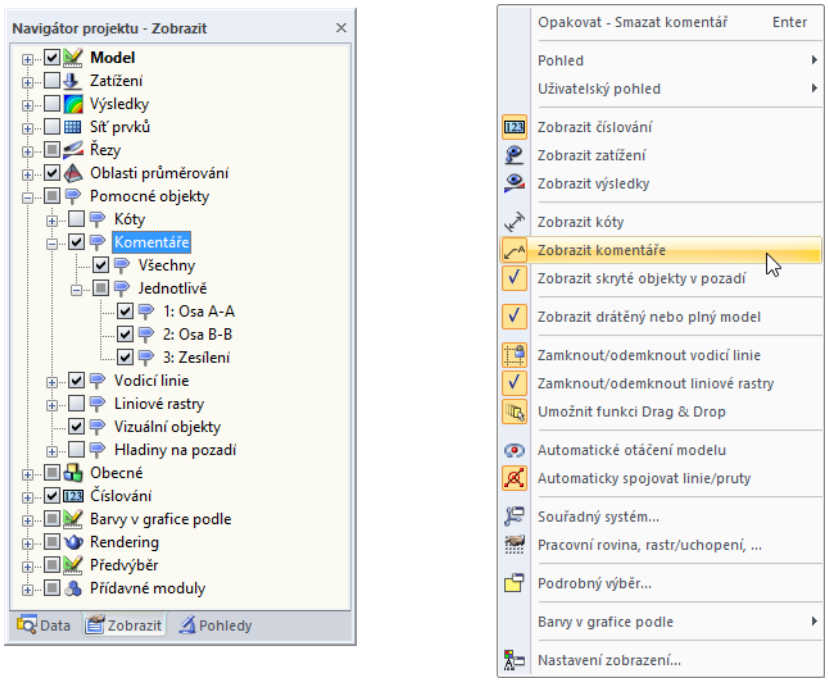
Obrázek 11.55 Dialog *Nový komentář*

V sekci *Text* vyplníme text komentáře. Vzhled komentáře lze ovlivnit v sekci *Možnosti*: můžeme tu nastavit barvu a také [typ písma] a jeho velikost. Pokud zaškrtneme políčko *S orámováním*, můžeme určit, zda bude komentář opatřen obdélníkovým nebo kulatým rámečkem.

V případě potřeby může uživatel text komentáře také *natočit*.

Pokud v sekci *Odsazení* označíme zaškrtávací políčko, bude komentář vložen do grafického zobrazení v určité vzdálenosti od vybraného objektu. Odsazení komentáře od objektu lze stanovit i graficky v pracovním okně: po zadání textu nejdříve klikneme na objekt, ke kterému chceme připojit komentář, a následně kliknutím myší určíme vzdálenost komentáře. Dalším kliknutím myší pak na požadovaném místě text komentáře zafixujeme. Automaticky se přitom zapne aktuální pracovní rovina, abychom mohli komentář správně umístit. V případě potřeby lze pracovní rovinu před vložením komentáře změnit.

Zobrazení komentářů lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* nebo v obecné místní nabídce v pracovním okně, kterou otevřeme kliknutím pravým tlačítkem myši do oblasti pracovního okna, kde se nenachází žádný objekt (viz obr. 11.56).



Obrázek 11.56 Navigátor *Zobrazit* (Pomocné objekty → Komentáře) a obecná místní nabídka

Pokud provedeme změny v geometrii modelu, automaticky se upraví i komentáře.

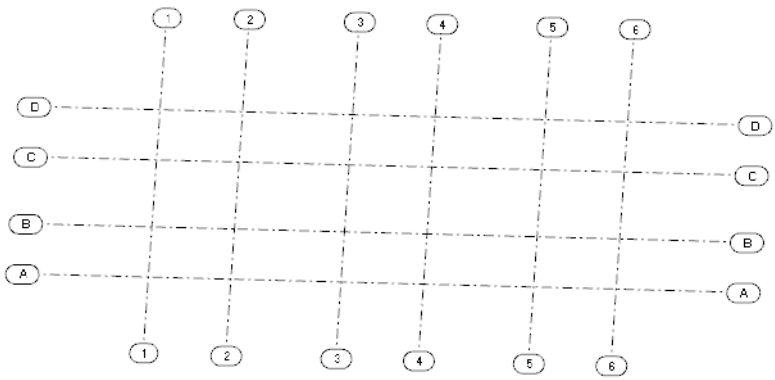
Text komentáře i s odsazením lze dodatečně upravovat, pokud dvakrát klikneme na komentář v grafickém okně nebo na příslušnou položku v navigátoru *Data*.

Komentář můžeme pomocí funkce Drag & Drop přesouvat (nebo spolu se stisknutou klávesou [Ctrl] kopírovat). Platí přitom následující zvláštnost: pokud „uchopíme“ šipku komentáře na hrotu, můžeme přesunout celý komentář. Jestliže „uchopíme“ text, ukazuje hrot šipky i nadále na daný objekt; nyní můžeme upravit polohu textu komentáře v pracovním okně.

11.3.7 Vodicí linie

Vodicí linie umožňují vytvořit rastr os a čar v grafickém pracovním okně. Průsečíky vodicích linií pak slouží k uchopování při grafickém zadávání konstrukce. Předtím je však nezbytné aktivovat uchopovací funkci *Vodicí linie* (viz kapitola 11.3.3).

Vodicí linie nemusí být vodorovné s osami XYZ globálního souřadného systému. Mohou být zadány v libovolném úhlu nebo také v polárním uspořádání. Rozestupy mezi vodicími liniemi nemusí být rovnoměrné.



Obrázek 11.57 Rastr z vodicích linií

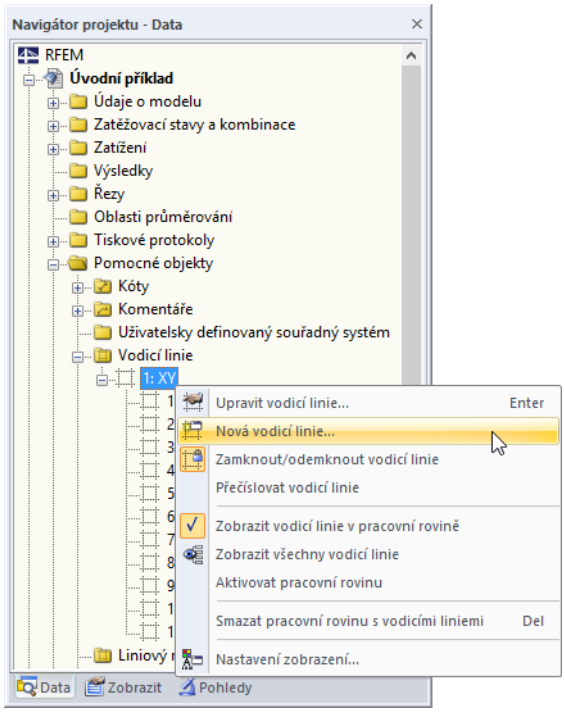
Vytvoření vodicích linií

Zadání v dialogu

Dialog pro vytvoření nové vodicí linie vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

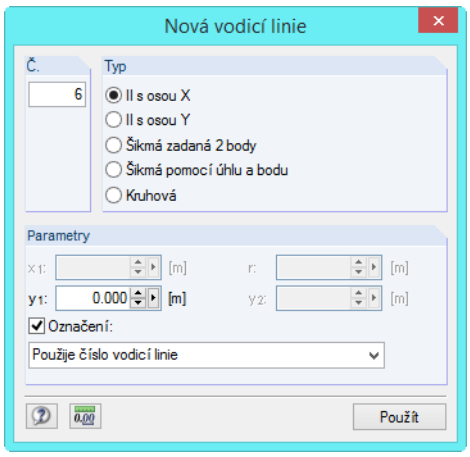
Vložit ⟶ Vodicí linie ⟶ Dialog...

nebo z místní nabídky příslušné položky v navigátoru *Data*.



Obrázek 11.58 Místní nabídka podpoložky *Vodicí linie* v navigátoru *Data*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.59 Dialog *Nová vodicí linie*

Číslo vodicí linie se vyplní v poli Č. automaticky, můžeme ho ovšem změnit.

V sekci*Typ* určíme, jak se má vodicí linie vytvořit (viz tabulka 11.6).

Typ	Vysvětlení

II s X / Y / Z (rovnoběžná s osou X, Y, resp. Z)	Vytvoří se vodicí linie rovnoběžná s některou osou globálního souřadného systému. V sekci *Parametry* nastavíme vzdálenost x_1 / y_1 / z_1 od příslušné globální osy.
Šikmá zadaná 2 body	V sekci *Parametry* je třeba zadat souřadnice dvou bodů v aktuální pracovní rovině, které definují vodicí linii.
Šikmá pomocí úhlu a bodu	V sekci *Parametry* je třeba zadat souřadnice jednoho bodu a úhel natočení, kterými bude definována vodicí linie. Vodicí linie se vytvoří v aktuální pracovní rovině.
Kruhová	V sekci *Parametry* je třeba zadat středový bod a poloměr kruhové vodicí linie.

Tabulka 11.6 Typy vodicích linií

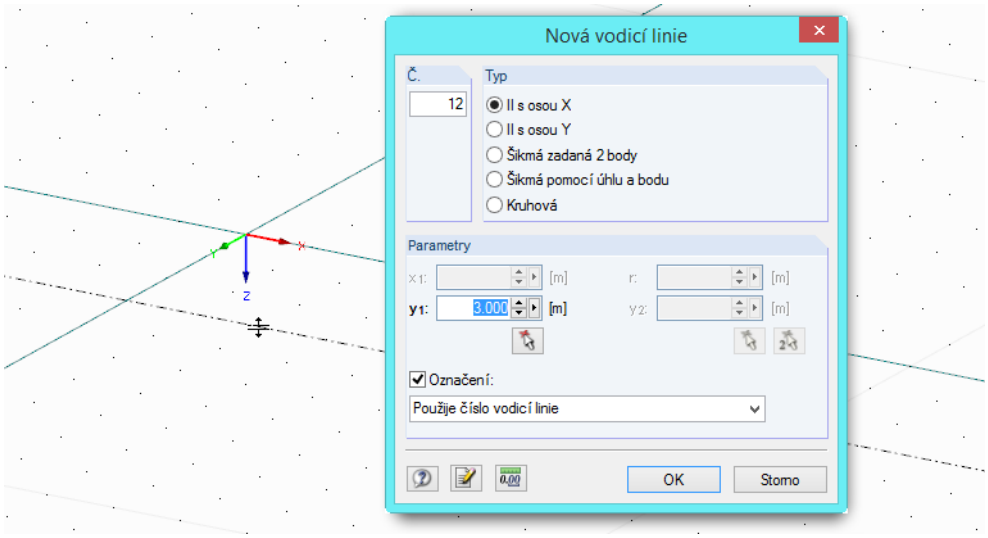
Jednotlivé parametry zadáme přímo do příslušných políček nebo je stanovíme graficky pomocí funkce , resp. v pracovním okně.

Pokud zaškrtneme políčko *Označení*, můžeme ve vstupním poli uvést popis vodicí linie nebo ho vybrat ze seznamu.

Grafické zadání

Graficky lze vodicí linii zadat

- příkazem z hlavní nabídky **Vložit** ⟶ **Vodicí linie** ⟶ **Graficky**,
- kliknutím na tlačítko [Nová vodicí linie graficky], které vidíme vlevo,
- posunem osy v rovnoběžném směru v pracovní rovině pomocí myši (předpokladem je, že vodicí linie nejsou uzamčeny - viz níže).

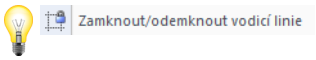


Obrázek 11.60 Vytvoření vodicí linie graficky

Pohybem myši v grafickém okně se v závislosti na zvoleném typu vodicí linie nastavují parametry v dialogu *Nová vodicí linie*, který je popsán výše.

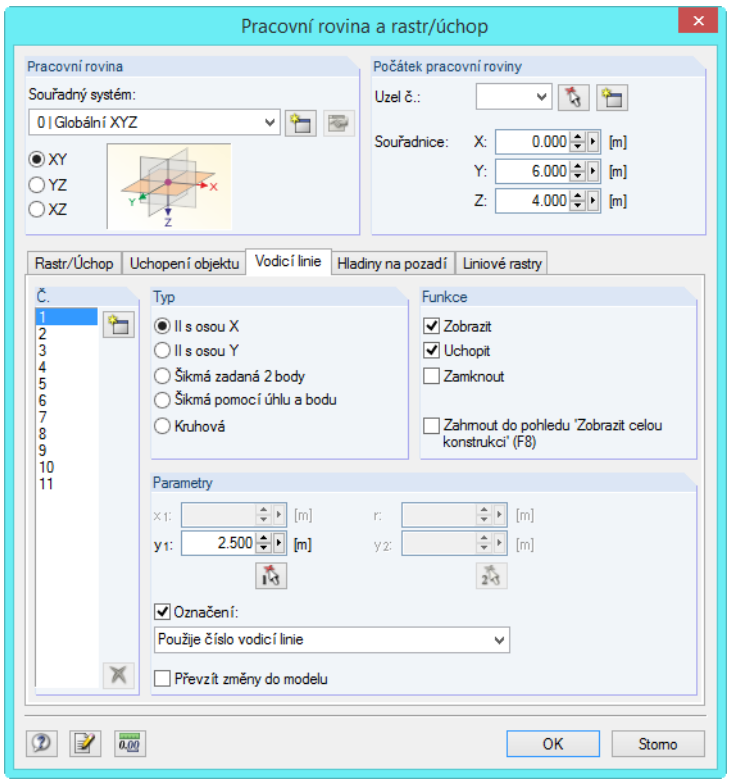
Úprava a smazání vodicích linií

Dialog pro úpravu vodicí linie otevřeme tak, že dvakrát klikneme na danou vodicí linii v grafickém okně. Dialog lze také otevřít dvojím kliknutím na příslušnou položku v navigátoru *Data*.



Pokud vodicí linii nelze v grafickém okně vybrat, je uzamčena (viz níže). Uzamčení vodicí linie lze rychle zrušit tak, že pravým tlačítkem myši klikneme do prázdné plochy v pracovním okně a v obecné místní nabídce poté deaktivujeme možnost *Zamknout vodicí linie*.

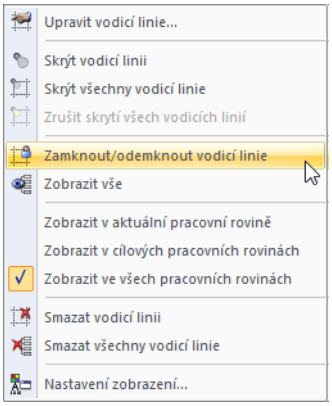
Vodicí linie můžeme upravovat také po zvolení příkazu v hlavní nabídce **Nástroje → Pracovní rovina → Rastr/Uchopení → Uchopení objektu → Vodicí linie...** nebo po kliknutí na příslušné tlačítko v panelu nástrojů. Otevře se nám dialog, v jehož záložce *Vodicí linie* můžeme nejen aktivovat funkci pro jejich uchopení, ale můžeme tu také vytvářet nové vodicí linie a upravovat, mazat či vypínat a zapínat stávající linie.



Obrázek 11.61 Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*, záložka *Vodicí linie*

Smazat vodicí linii lze v grafickém okně nebo v navigátoru *Data* tak, že na ni klikneme pravým tlačítkem myši. Otevře se místní nabídka, v níž vybereme příkaz *Smazat*.

Zamknutí vodicích linií



Místní nabídka vodicích linií

Pokud vodicí linie zamkneme, nelze je vybrat, upravovat ani posouvat. Vodicí linie pak nenarušují grafické zadávání objektů. Funkce pro uchopení průsečíků vodicích linií však zůstává aktivní.

Všechny vodicí linie lze najednou uzamknout, resp. odemknout

- kliknutím na vodicí linii pravým tlačítkem myši a vybráním funkce v místní nabídce *Zamknout/odemknout vodicí linie*,
- příkazem z hlavní nabídky **Úpravy** → **Vodicí linie** → **Zamknout** nebo
- kliknutím pravým tlačítkem myši na *Vodicí linie* v navigátoru a vybráním funkce *Zamknout/odemknout vodicí linie* v místní nabídce.

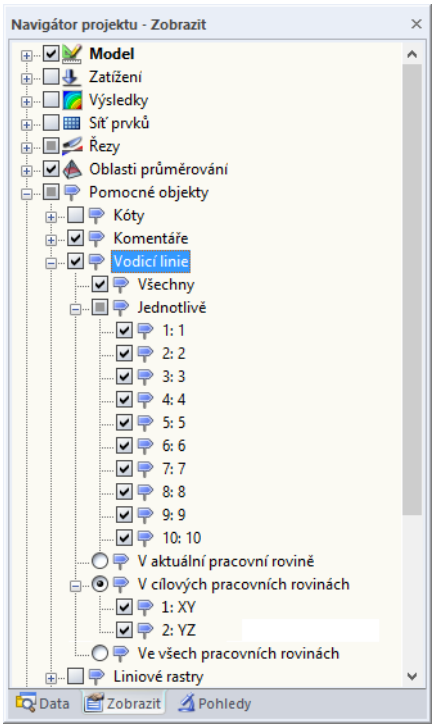
Kopírování a posun vodicích linií

Vodicí linie jsou grafické objekty, a proto lze s nimi provádět běžné operace jako kopírování nebo posun.

Pro posun nebo kopírování je třeba vodicí linii nejprve vybrat. Následně lze provést příslušnou funkci, kterou popisujeme v kapitole 11.4.1. Je třeba přitom brát v úvahu, že vodicí linie lze kopírovat pouze v rovině původní vodicí linie.

Zobrazení vodicích linií

Zobrazení vodicích linií se podrobně nastavuje v navigátoru *Zobrazit*.



Obrázek 11.62 Možnosti nastavení zobrazení vodicích linií v navigátoru *Zobrazit*

11.3.8 Liniový rastr

Uživatel může definovat liniové rastry, které usnadňují modelování plošných konstrukcí, roštů či příhradových konstrukcí. Průsečíky rastru slouží jako definiční body při zadávání ploch, linií a prutů.

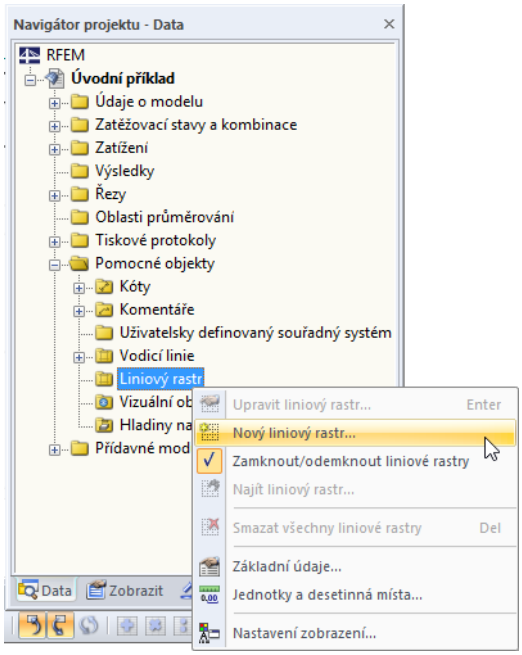
Při vytváření modelu konstrukce lze použít několik liniových rastrů.

Vytvoření liniového rastru

Dialog pro vytvoření nového liniového rastru otevřeme příkazem z hlavní nabídky

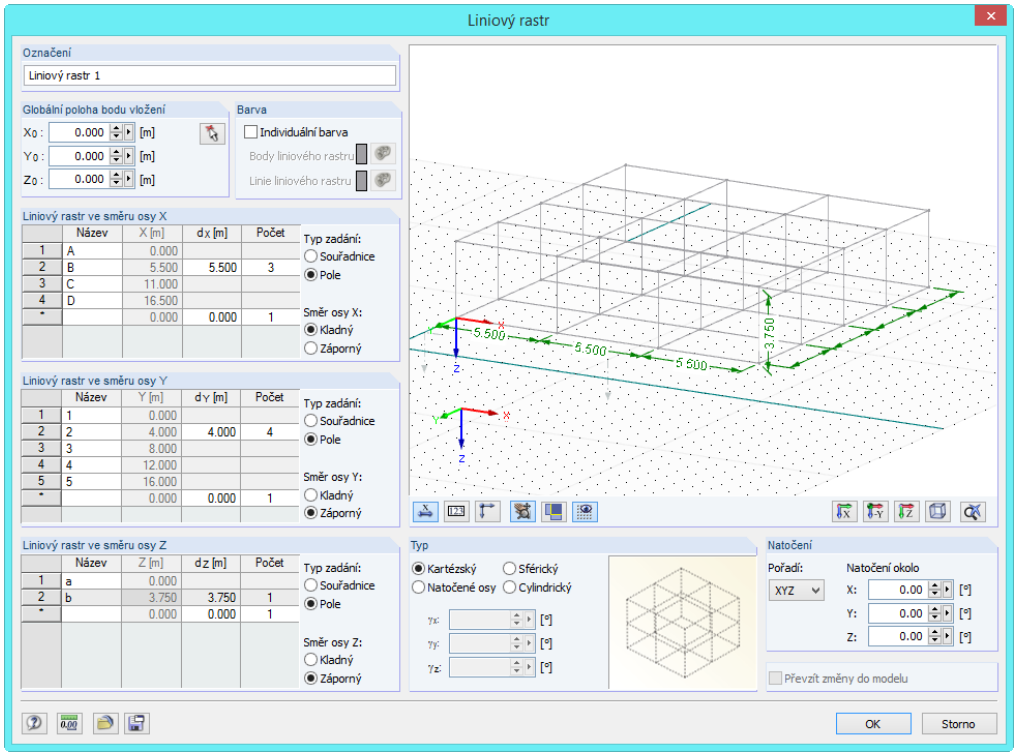
Vložit → Liniový rastr

nebo z místní nabídky příslušné položky v navigátoru *Data*.



Obrázek 11.63 Místní nabídka podpoložky *Liniové rastry* v navigátoru *Data*

Zobrazí se dialog *Liniový rastr*, v kterém můžeme zadat nový rastr.



Obrázek 11.64 Dialog *Liniový rastr*

Globální poloha bodu vložení představuje počátek liniového rastru. Souřadnice můžeme vyplnit ručně nebo je určíme pomocí funkce v pracovním okně.

Předtím, než budeme zadávat další údaje, doporučujeme stanovit v sekci *Typ* uspořádání rastru. Můžeme vybrat některou z následujících možností:

- Kartézský
- Sférický
- Natočené osy (rastr může být u každé osy natočen o libovolný úhel γ)
- Cylindrický

Obrázek v pravé části této sekce se mění v závislosti na zvoleném nastavení.

V sekcích *Liniový rastr ve směru osy X/Y/Z* je třeba stanovit vzdálenosti d a *počet* polí v každém směru. *Název* je vždy předem nastaven, lze ho ovšem změnit. Vzdálenosti můžeme určit také tak, že uvedeme *souřadnice* bodů rastru. Hodnoty můžeme případně i dodatečně upravit.

Přepínač *Kladný* a *Záporný* určuje, v kterém směru dané globální osy se liniový rastr vytvoří.

V sekci *Natočení* se nabízí možnost liniový rastr natočit: nejdříve vybereme *pořadí* pro natáčení lokálních os rastru X', Y' a Z' a následně zadáme ve vstupních polích *Natočení okolo* úhly natočení okolo globálních os X, Y a Z. Pomocí tlačítek lze natočení liniového rastru stanovit i graficky.

Největší část dialogu zabírá grafické okno, ve kterém se zadané údaje okamžitě znázorní. Tlačítka, která se nacházejí pod obrázkem, dobře známe již z jiných dialogů RFEMu; slouží k zobrazení kót, číslování, os a také různých pohledů na model. V daném grafickém okně můžeme také používat běžné funkce myši (viz kapitola 3.4.9).

Každý liniový rastr lze uložit jako předlohu. Tuto předlohu lze pak později znovu použít. Tlačítka, která vidíme na levém okraji, umožňují [uložit] a [načíst] data o rastrech.

Jakmile dialog zavřeme, můžeme zadávat objekty na uzlech rastru. Je však třeba, aby byl aktivován úchop objektů (viz kapitola 11.3.3).

11.3.9 Vizuální objekty

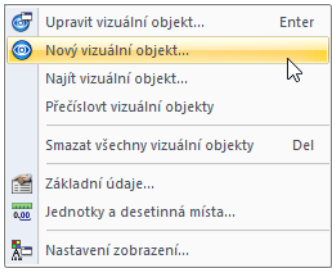
Vizuální objekty jsou 3D objekty, které se používají např. v architektonických programech pro věrné ztvárnění skutečnosti (např. osoby, automobily, stromy, textury apod.). Také v RFEMu lze podobné 3D objekty vkládat do modelu, aby bylo na pohled patrné, jaké rozměry bude mít konstrukce ve skutečnosti.

Načtení vizuálního objektu

Dialog pro import vizuálního objektu otevřeme z hlavní nabídky

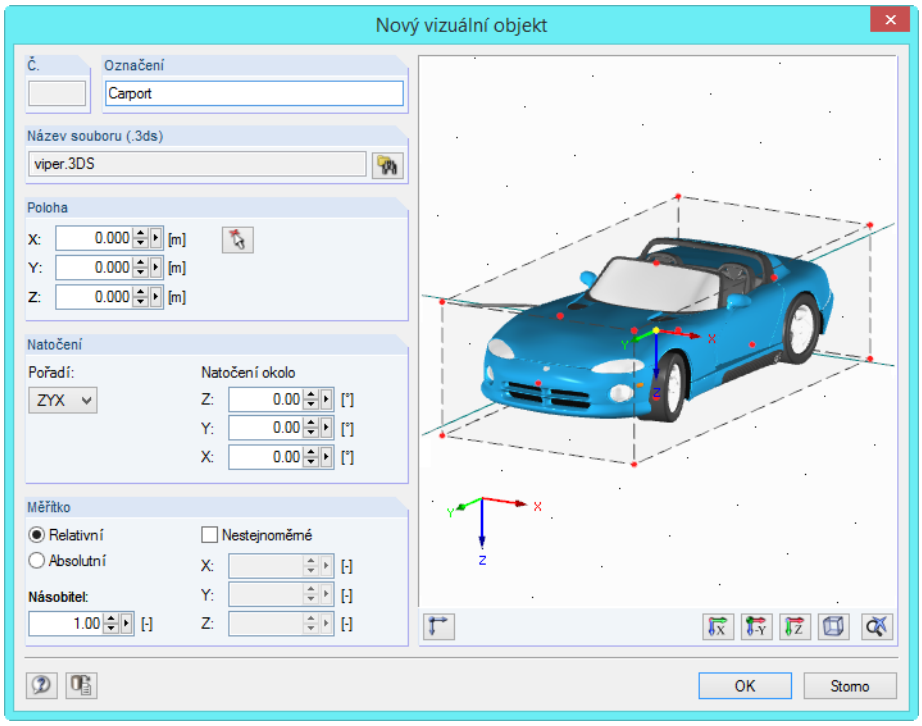
Vložit → Vizuální objekt

nebo z místní nabídky příslušné položky v navigátoru *Data*.



Obrázek 11.65 Místní nabídka v navigátoru *Data: Pomocné objekty → Vizuální objekty*

Otevře se dialog *Nový vizuální objekt*, v němž se stanoví *označení* a *název souboru*.



Obrázek 11.66 Dialog *Nový vizuální objekt*

Vizuální objekt musí být ve formátu *.3ds*. Po kliknutí na tlačítko [Procházet...] můžeme soubor vyhledat ve standardním dialogu OS Windows *Otevřít*.

Polohu objektu v modelu stanovíme tak, že uvedeme příslušné souřadnice, nebo ji určíme pomocí funkce v pracovním okně. Referenční bod 3D objektu se v obrázku vpravo vyznačí barvou výběru.

Objekt lze dále v modelu *natočit* nebo také můžeme upravit jeho velikost v sekci *Měřítko*.

Po kliknutí na [OK] se objekt vloží do modelu.

Dialog pro úpravu vizuálního objektu otevřeme tak, že dvakrát klikneme na daný objekt v grafickém okně nebo na příslušnou položku v navigátoru *Data*.

11.3.10 Hladiny na pozadí

Soubor DXF můžeme načíst do modelu jako hladinu na pozadí a použít při grafickém zadávání objektů. Na rozdíl od importu DXF (viz kapitola 12.5.2), který převede kompletní model již na uzly a linie, představují hladiny na pozadí určitý typ vrstev pro cílené modelování.

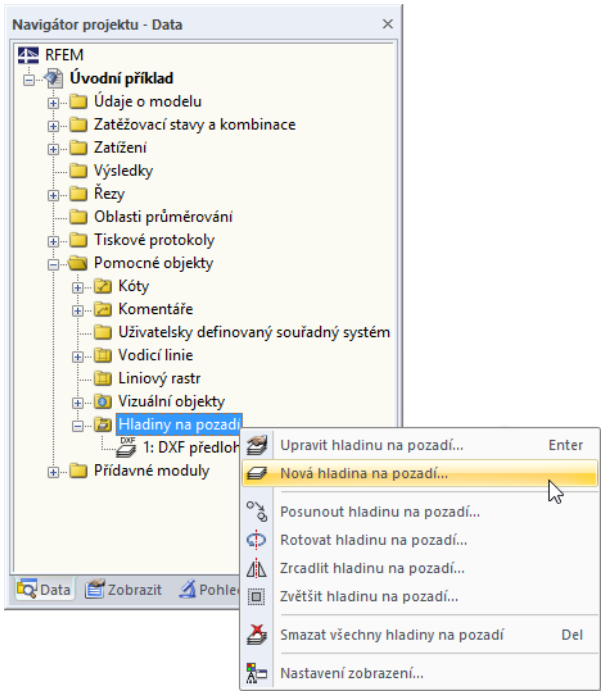
Při vytváření konstrukce lze použít několik hladin na pozadí.

Vytvoření hladiny na pozadí

Dialog pro vytvoření nové hladiny na pozadí otevřeme příkazem z hlavní nabídky

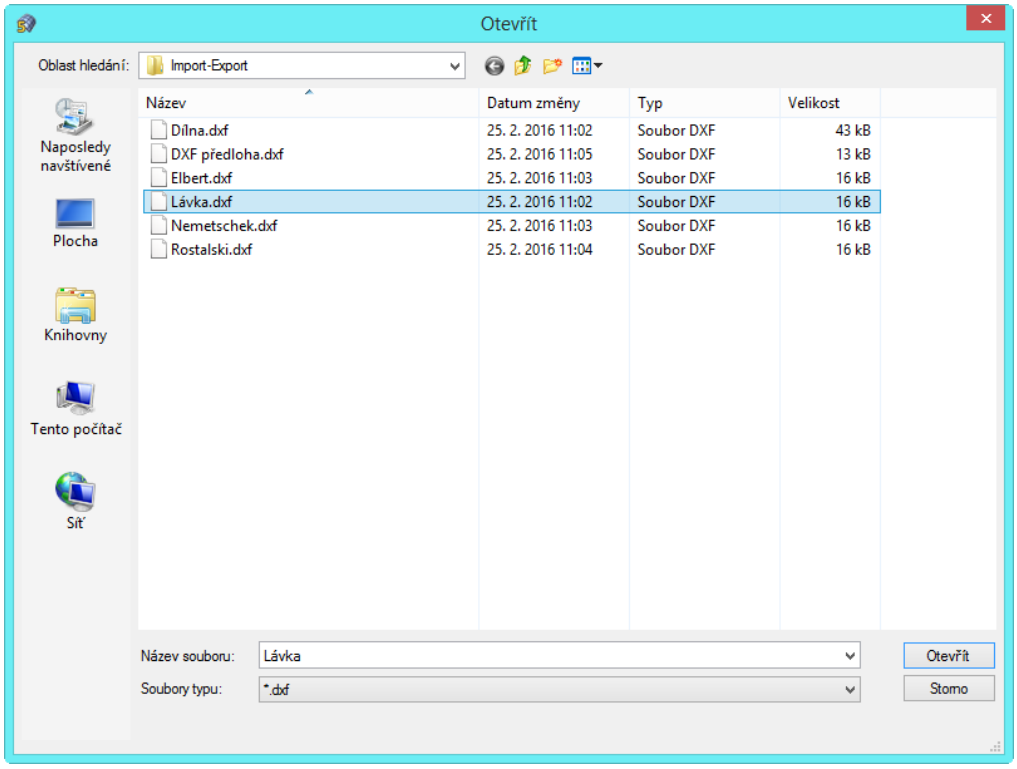
Vložit → Hladina na pozadí...

nebo z místní nabídky příslušné položky v navigátoru *Data*.

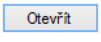


Obrázek 11.67 Místní nabídka podpoložky *Hladiny na pozadí* v navigátoru *Data*

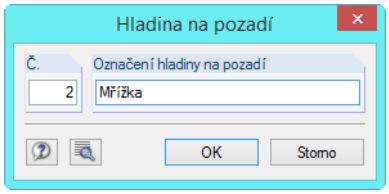
Otevře se standardní dialog OS Windows *Otevřít*, v němž zadáme název a složku souboru DXF.



Obrázek 11.68 Dialog *Otevřít*



Kliknutím na tlačítko [Otevřít] se otevře dialog *Hladina na pozadí*.

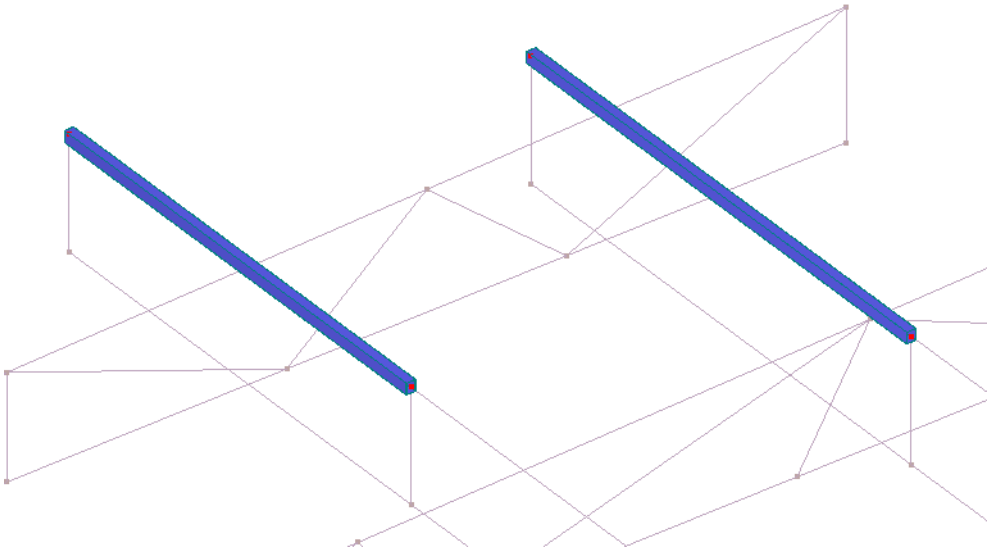


Obrázek 11.69 Dialog *Hladina na pozadí*

Číslo hladiny na pozadí se vyplní automaticky v poli Č. V sekci *Označení hladiny na pozadí* lze zadat libovolný název.

Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog, který nabízí detailní možnosti nastavení pro import DXF. Dialog je vidět na obrázku 12.50.

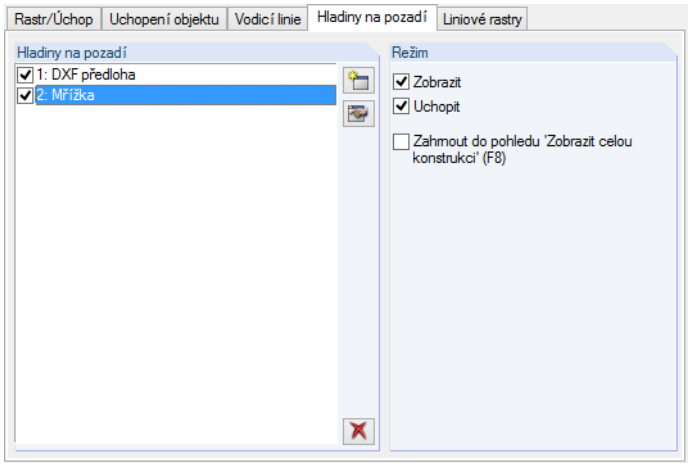
Po kliknutí na [OK] se hladina importuje a vyznačí se šedě v grafickém okně. V tomto drátěném modelu lze zadávat uzly a linie, resp. pruty.



Obrázek 11.70 Zadání prutů v případě použití hladiny na pozadí

Pokud chceme objekty umisťovat na bodech hladiny na pozadí, je třeba aktivovat funkci pro její uchopení. Tuto funkci nejrychleji zapneme pomocí tlačítka Soubor DXF[ ] uprostřed stavového řádku. Další možností je použít funkci v hlavní nabídce **Nástroje → Pracovní rovina; rastr; uchopení objektu; vodicí linie...** nebo příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Otevře se nám dialog, v jehož záložce *Hladiny na pozadí* můžeme nejen aktivovat funkci pro jejich uchopení, ale můžeme tu také vytvářet nové hladiny a upravovat nebo vypínat či zapínat stávající hladiny.



Obrázek 11.71 Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*, záložka *Hladiny na pozadí* (výřez)

Úprava nebo smazání hladiny na pozadí

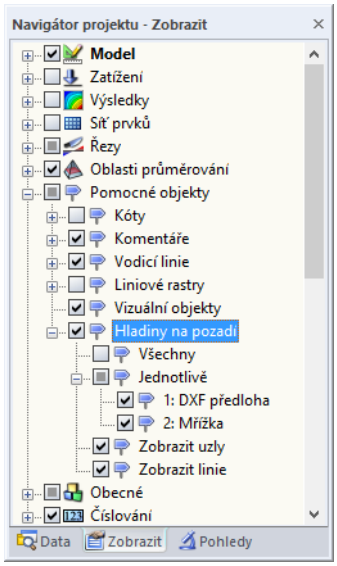
Dialog pro úpravu hladiny otevřeme tak, že dvakrát klikneme na danou hladinu na pozadí nebo na příslušnou položku v navigátoru *Data* (viz obr. 11.67). Použít můžeme také záložku *Hladiny na pozadí* v dialogu pro nastavení pracovní roviny (viz obr. 11.71): požadovanou hladinu označíme v seznamu a následně klikneme na tlačítko [Upravit vybranou hladinu na pozadí...].

Hladinu na pozadí lze smazat rovněž z navigátoru *Data*.

Pokud chceme hladinu na pozadí posunout, rotovat nebo zrcadlit, nejprve ji musíme vybrat. Následně lze provést příslušnou funkci, kterou popisujeme v kapitole 11.4.1.

Zobrazení hladin na pozadí

Zobrazení hladin na pozadí se podrobně nastavuje v navigátoru *Zobrazit*.



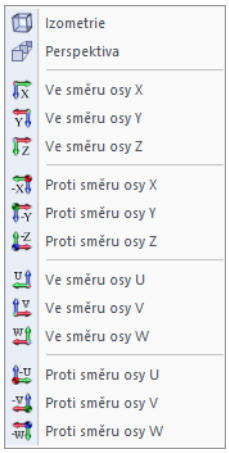
Obrázek 11.72 Možnosti nastavení zobrazení hladin na pozadí v navigátoru *Zobrazit*

11.3.11 Okraje obrázku a roztažení/zmenšení

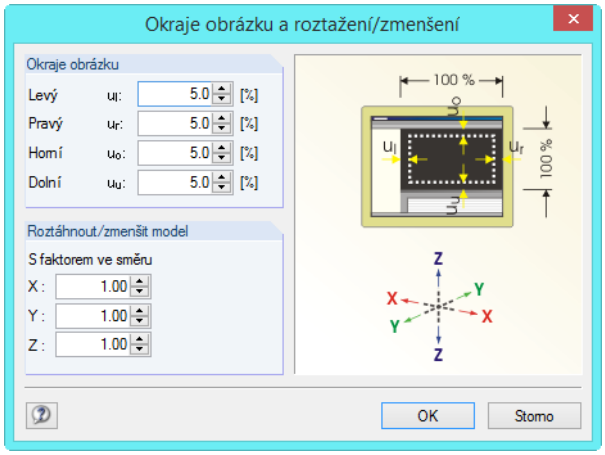
Ve většině případů není nutné upravovat uspořádání celkového obrázku konstrukce ani velikost zobrazení modelu v pracovním okně. Pokud přesto bude někdy zapotřebí změnit globální parametry zobrazení, můžeme z hlavní nabídky

Nastavení ⟶ Okraje obrázku a roztažení/zmenšení...

otevřít dialog, v němž lze upravit příslušné nastavení.



Tlačítka v nabídce *Vybrat pohled*



Obrázek 11.73 Dialog *Okraje obrázku a roztažení/zmenšení*

V sekci *Okraje obrázku* se zadávají odstupy, které se mají dodržet při zobrazení modelu na všech čtyřech stranách od okrajů pracovního okna. Hodnoty se udávají v procentech a vztahují se k celkové výšce, resp. šířce pracovního okna. Jejich vliv se projeví, pokud použijeme tlačítka z nabídky *Vybrat pohled* (viz obrázek vlevo) nebo funkci *Zobrazit vše* [F8] pro znázornění modelu v celém okně obrázku.

Chceme-li zobrazit v grafickém okně přetvořený model konstrukce, můžeme stanovit pro faktor v sekci *Roztáhnout/zmenšit model* ve směru globálních os jinou hodnotu než 1. Takové úpravy jsou zapotřebí spíše ve výjimečných případech. Mají vliv pouze na obrázek modelu, nikoli na skutečnou geometrii. Velikost modelu se upravuje pomocí funkce **Úpravy ⟶ Zvětšení...** (viz kapitola 11.4.5).

11.4 Úpravy objektů

Pomocí funkcí pro grafickou úpravu objektů lze zpracovávat objekty vybrané v grafickém okně. Objekty lze

- přesouvat
- kopírovat
- otáčet
- zrcadlit
- promítat
- zvětšovat
- táhnout
- kosit.

Naproti tomu při použití funkcí CAD, které popisujeme v kapitole 11.3, není třeba žádný výběr provádět. Jedná se o podpůrné funkce při vytváření nových prvků.

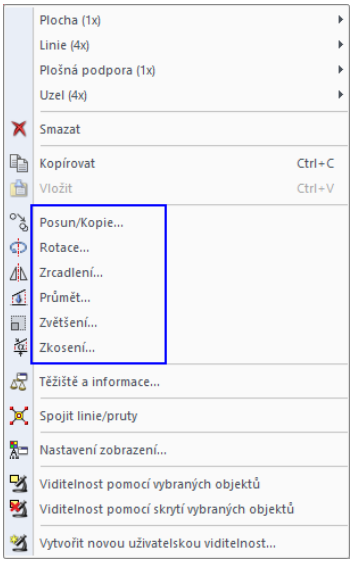
V této kapitole se budeme zabývat také dělením linií, zadáváním komentářů nebo úpravám číslování.

11.4.1 Posun a kopie

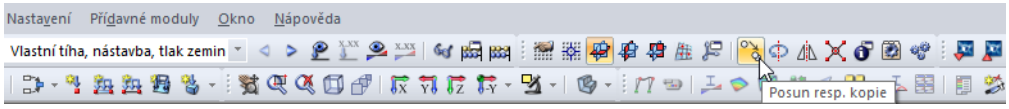
Vybrané objekty lze přesunovat a kopírovat příkazem z hlavní nabídky

Úpravy ⟶ Posun/Kopie...,

z místní nabídky objektu nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

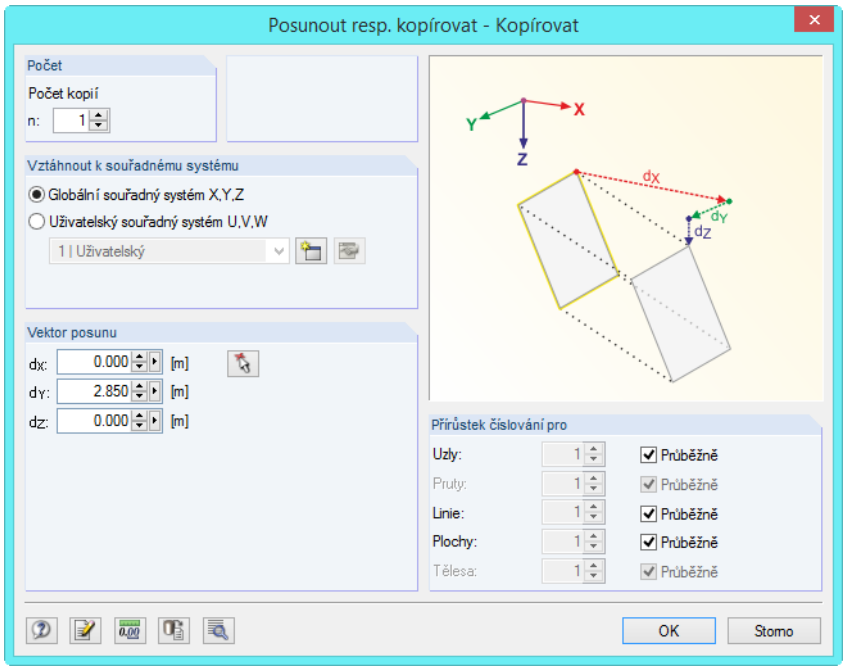


Místní nabídka vybraných objektů



Obrázek 11.74 Tlačítko *Posun resp. kopie*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.75 Dialog *Posunout resp. kopírovat - Kopírovat*

Pokud v poli *Počet kopií* nastavíme **0**, vybrané objekty se přesunou. Jinak se vytvoří uvedený počet kopií.

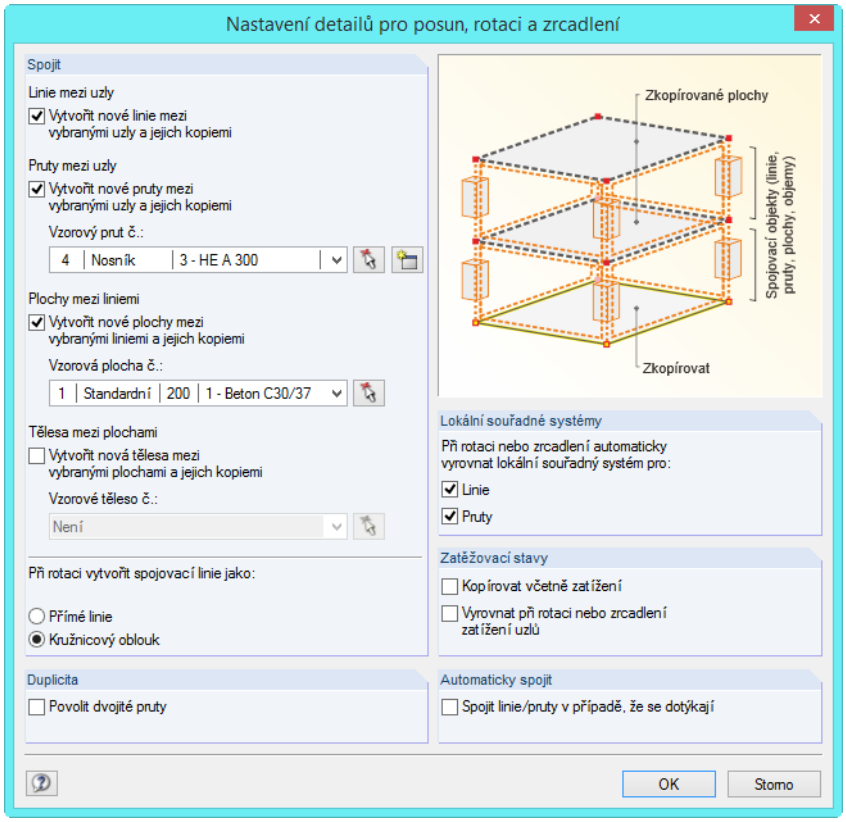
V sekci *Vztáhnout k souřadnému systému* určíme, zda se budou objekty posouvat, resp. kopírovat v globálním souřadném systému XYZ nebo v uživatelském souřadném systému UVW (viz kapitola 11.3.4). Uživatelský souřadný systém můžeme vybrat ze seznamu nebo můžeme vytvořit nový po kliknutí na tlačítko .

Vektor posunu určíme vzdálenostmi d_X, d_Y a d_Z resp. d_u, d_v a d_w v případě uživatelského souřadného systému. Alternativně ho můžeme zadat pomocí funkce v grafickém okně kliknutím na dva rastrové body nebo uzly.

Při kopírování objektů lze zadat *přírůstek číslování*, a tak ovlivnit číslování nových uzlů, prutů, linií, ploch či těles.

Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog s užitečnými možnostmi nastavení pro kopírování. Tento dialog se používá i v případě dalších funkcí jako zrcadlení, otáčení atd.

Detailní nastavení

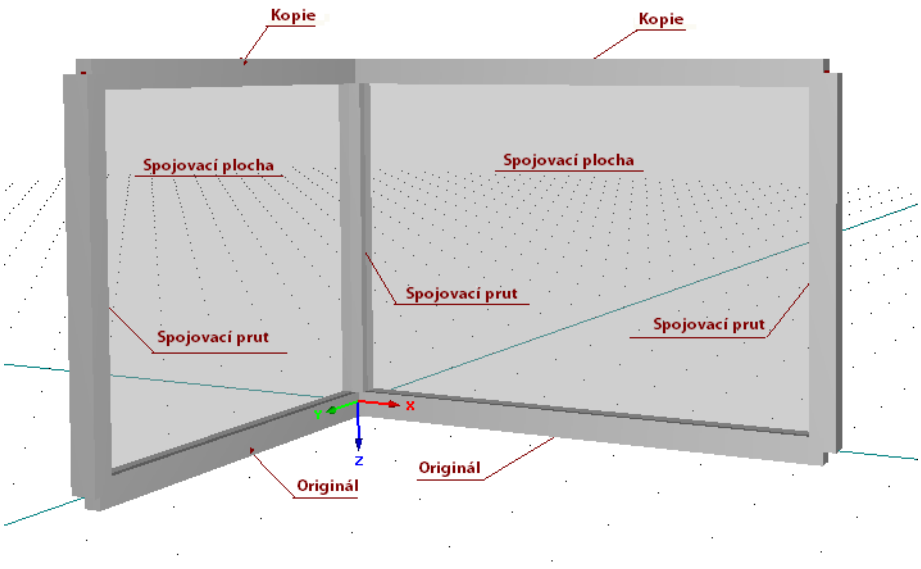


Obrázek 11.76 Dialog *Nastavení detailů pro posun, rotaci a zrcadlení*

Spojit

Mezi vybranými uzly a jejich kopiemi lze vytvořit nové *linie* a *pruty*. Současně existuje možnost vytvořit *plochy* a *tělesa* mezi vybranými liniemi, příp. plochami a jejich kopiemi (viz obr. 11.77).

Pokud uvedeme *vzorový prut*, *vzorovou plochu* nebo *vzorové těleso*, použijí se jeho vlastnosti pro spojovací objekty. Vzorový objekt lze vybrat ze seznamu nebo ho můžeme určit pomocí funkce v grafickém okně.



Obrázek 11.77 Kopie se spojovacími pruty a spojovacími plochami

Duplicita

Při kopírování mohou vzniknout zdvojené pruty. Příslušné kontrolní políčko umožňuje uživateli určit, zda se mají na sobě ležící pruty v modelu ponechat nebo jestli se mají spojit v jeden prut.

Lokální souřadné systémy

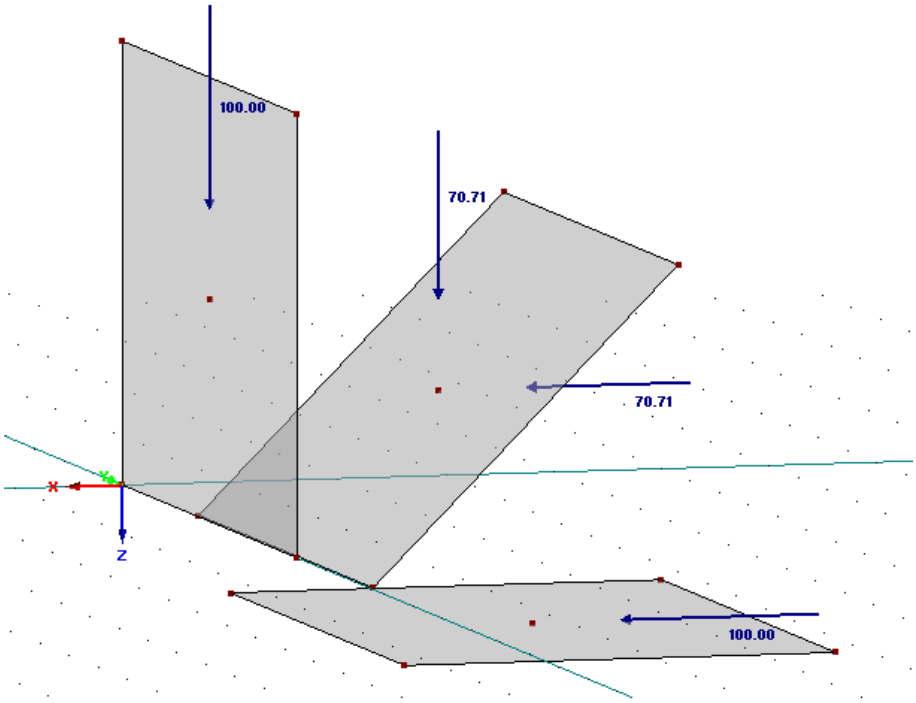
V této sekci lze vyrovnat lokální souřadný systém linie nebo prutu při rotaci či zrcadlení. Pomocí této funkce lze přizpůsobit i excentrické přípoje, které jsou zadány ve směru globálních os X, Y a Z.

Automatická úprava lokálních os se zpravidla používá při zrcadlení. Tato funkce je užitečná i při rotaci svislého prutu, kdy se osa y prutu nastaví rovnoběžně s globální osou Y (viz kapitola 4.17).

Zatěžovací stavy

Pokud zaškrtneme políčko *Kopírovat včetně zatížení*, přenesou se na kopie zatížení působící na původní objekty. Převzata budou zatížení všech zatěžovacích stavů, tedy nikoli pouze aktuálního zatěžovacího stavu.

Pomocí volby *Vyrovnat při rotaci nebo zrcadlení zatížení uzlů* lze určit, v jakém směru budou kopírovaná, globálně zadaná zatížení na uzly působit. Pokud toto políčko zaškrtneme, přepočítá RFEM zatížení jako lokální osamělá břemena na novou polohu objektu. Přitom je třeba dát pozor na to, aby daná uzlová zatížení byla vybrána před rotací nebo zrcadlením spolu s objekty. Jestliže políčko neaktivujeme, zůstane globální směr zatížení při rotaci nebo zrcadlení zachován.



Obrázek 11.78 Vyrovnaná zatížení uzlů při dvojité rotaci o 45 °

Automaticky spojit

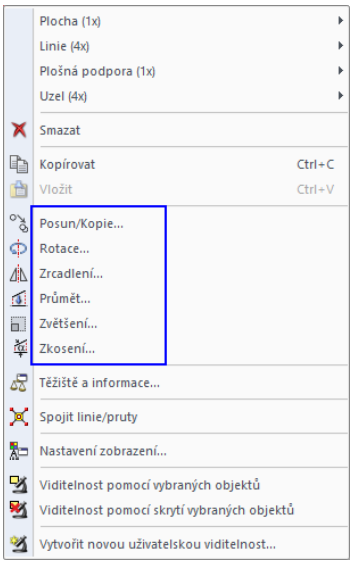
Pokud označíme toto políčko, kopie linií a prutů se automaticky spojí s již existujícími liniemi a pruty. Jestliže je tato funkce aktivní, vytvoří se v místě, kde se kříží, uzel.

11.4.2 Rotace

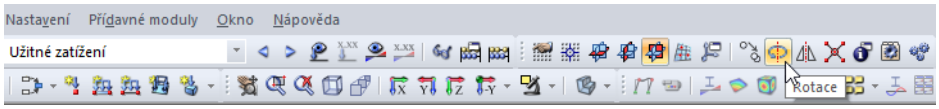
Vybrané objekty lze otáčet okolo libovolné osy příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Rotace...,

z místní nabídky objektu nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

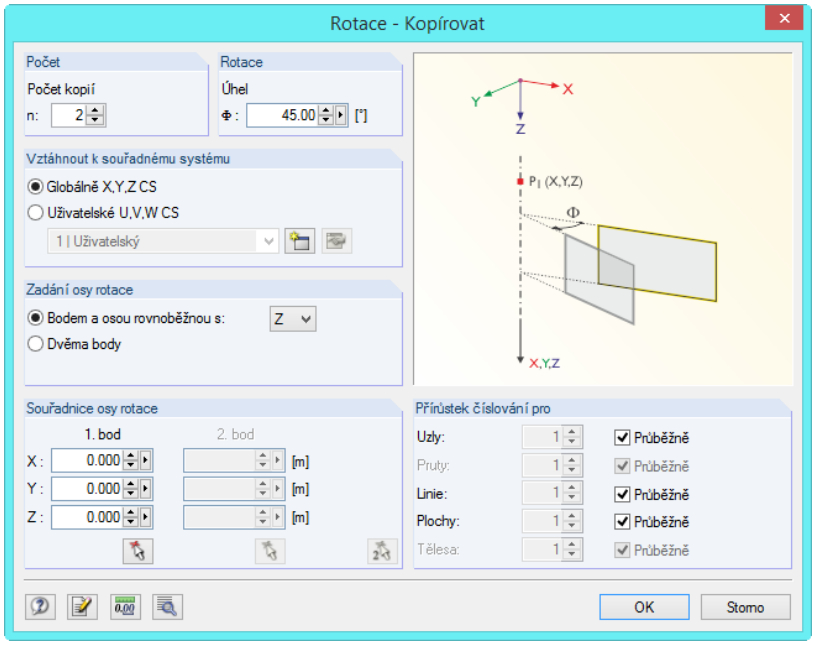


Místní nabídka vybraných objektů



Obrázek 11.79 Tlačítko *Rotace*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.80 Dialog *Rotace*

Pokud vyplníme **0** do políčka pro *počet kopií*, vybrané objekty se pootočí. Jinak se vytvoří uvedený počet kopií.

V sekci *Rotace* zadáme úhel rotace. Úhel rotace se vztahuje k pravotočivému souřadnému systému.

Osu rotace lze definovat dvěma způsoby:

- Osa rotace je rovnoběžná s některou osou globálního souřadného systému XYZ.
  V tomto případě označíme první políčko a vybereme ze seznamu příslušnou osu. V sekci *Souřadnice osy rotace* pak definujeme bod, kterým osa rotace prochází.
- Osa rotace leží v obecné poloze v prostoru.
  V tomto případě označíme druhou volbu. V sekci *Souřadnice osy rotace* pak definujeme dva body, které leží na ose rotace.

Při kopírování objektů lze zadat *přírůstek číslování*, a tak ovlivnit číslování nových objektů.

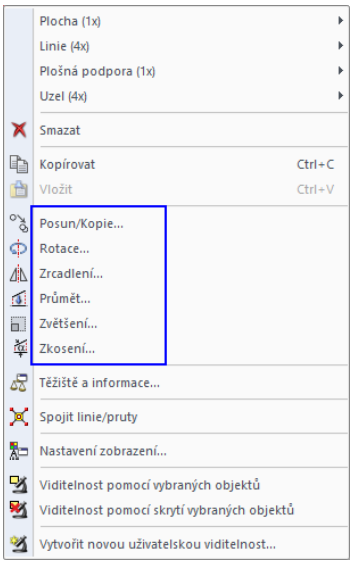
Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog s dalšími užitečnými možnostmi nastavení, kterým se podrobně věnujeme v kapitole 11.4.1. V tomto dialogu se mimo jiné také stanoví, zda se spojovací linie, které vzniknou při kopírování, vytvoří jako přímé linie nebo kruhové oblouky.

11.4.3 Zrcadlení

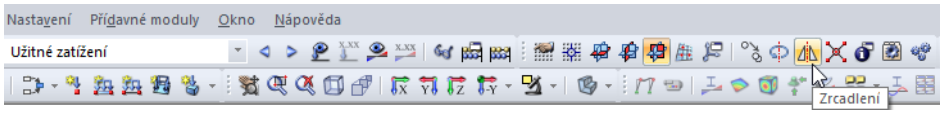
Vybrané objekty lze zrcadlit na určitou rovinu příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Zrcadlení...,

z místní nabídky objektu nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

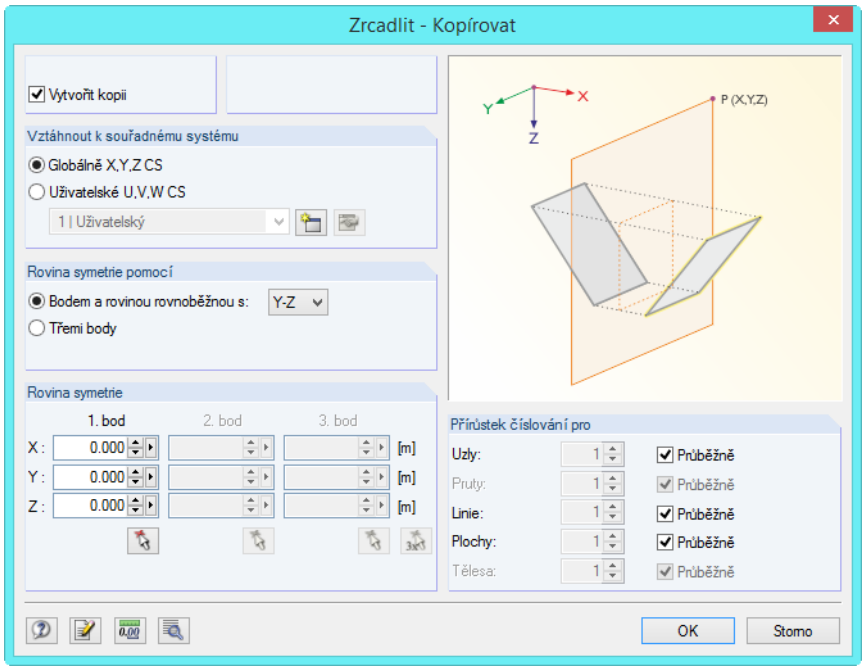


Místní nabídka vybraných objektů



Obrázek 11.81 Tlačítko *Zrcadlení*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.82 Dialog *Zrcadlit - Kopírovat*

Pokud chceme zachovat původní objekt, je třeba zaškrtnout políčko *Vytvořit kopii*.

Rovinu symetrie lze zadat dvěma způsoby:

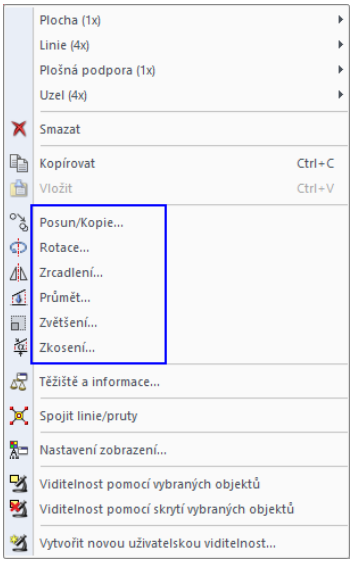
- Rovina symetrie je rovnoběžná s jednou z rovin, které jsou vymezeny osami globálního souřadného systému XYZ. V takovém případě zaškrtneme první volbu a vybereme ze seznamu příslušnou rovinu. V sekci *Rovina symetrie* pak definujeme bod, který leží v dané rovině symetrie.
- Rovina symetrie leží v obecné poloze v prostoru. V tomto případě je třeba aktivovat druhou volbu. V sekci *Rovina symetrie* pak zadáme tři body, kterými bude rovina definována.

Při kopírování objektů lze zadat *přírůstek číslování*, a tak ovlivnit číslování nových objektů.

Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog s dalšími užitečnými možnostmi nastavení. Podrobně se jim věnujeme v kapitole 11.4.1.

11.4.4 Průmět

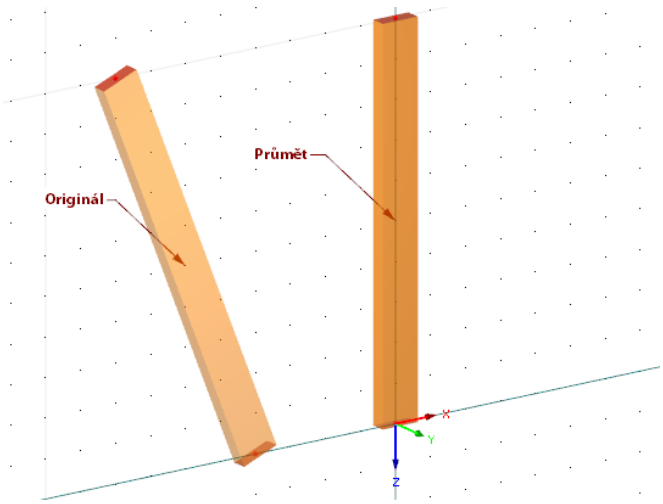
Tato funkce umožňuje promítat vybrané objekty do určité roviny. Lze tak například upravit úhel sklonu příčlí nebo krokví.



Místní nabídka vybraných objektů

Příklad

Budeme promítat prut ve směru osy X do roviny YZ.

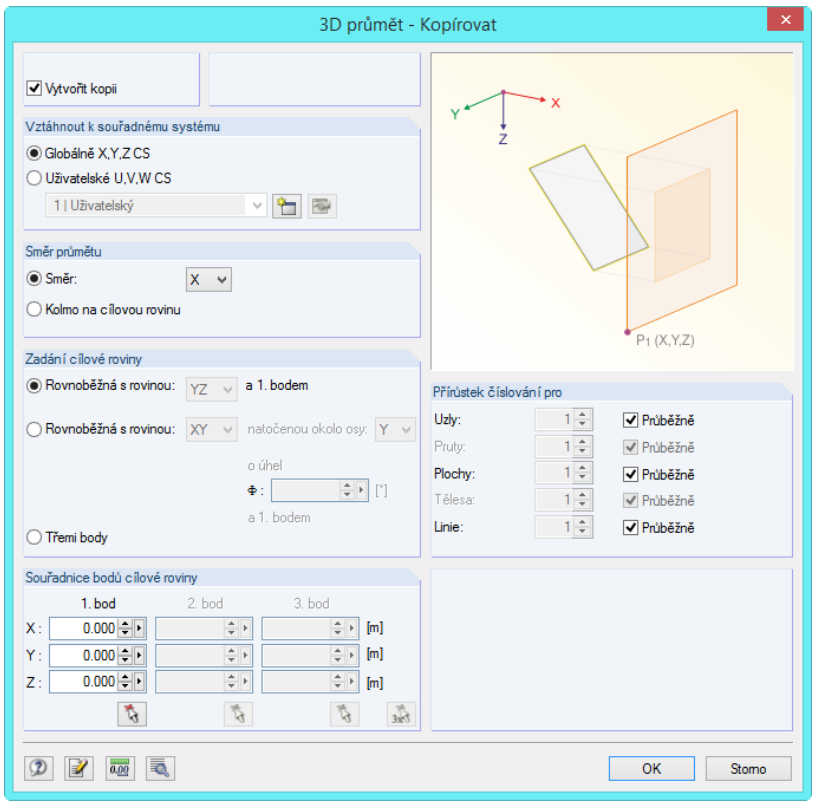


Obrázek 11.83 Původní prut a jeho kopie promítnutá do roviny YZ

Dialog, ve kterém se zadávají parametry promítání, otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Průmět...

nebo z místní nabídky vybraných objektů.



Obrázek 11.84 Dialog *3D průmět - Kopírovat*

Pokud chceme zachovat původní objekt, je třeba zaškrtnout políčko *Vytvořit kopii*.

V sekci *Směr průmětu* určíme, zda se objekty promítnou ve směru některé globální osy ((X, Y resp. Z)) nebo kolmo na libovolnou cílovou rovinu.

Cílovou rovinu lze zadat třemi způsoby:

- Cílová rovina je rovnoběžná s jednou z rovin, které jsou vymezeny osami globálního souřadného systému XYZ. V takovém případě je třeba označit první možnost a vybrat ze seznamu příslušnou rovinu. V sekci *Souřadnice bodů cílové roviny* je pak třeba definovat bod, který v dané rovině leží.
- Cílová rovina je rovnoběžná s jednou z rovin vymezených osami globálního souřadného systému XYZ, natočenou o určitý úhel okolo definiční osy. V tomto případě je třeba aktivovat druhou volbu. V seznamu pak vybereme příslušnou rovinu a zadáme definiční osu a úhel natočení. V sekci *Souřadnice bodů cílové roviny* je třeba definovat bod, který v dané rovině leží.
- Cílová rovina leží v obecné poloze v prostoru. V takovém případě je třeba označit třetí volbu. V sekci *Souřadnice bodů cílové roviny* pak zadáme tři body, kterými bude rovina definována.

Při kopírování objektů lze zadat *přírůstek číslování*, a tak ovlivnit číslování nových objektů.

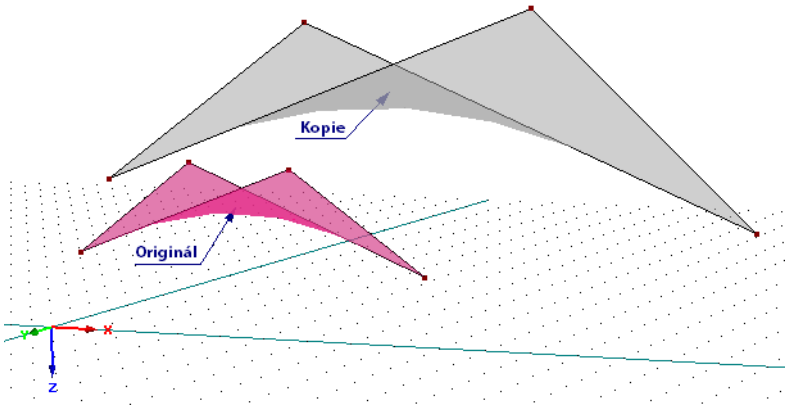
Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog s dalšími užitečnými možnostmi nastavení. Podrobně se jim věnujeme v kapitole 11.4.1.

11.4.5 Zvětšení

Tato funkce slouží ke zvětšování vybraných objektů jejich vytažením z určitého bodu.

Příklad

Čtyřúhelníkovou plochu chceme zvětšit faktorem 2 rovnoměrně ve všech třech směrech z daného výchozího bodu.

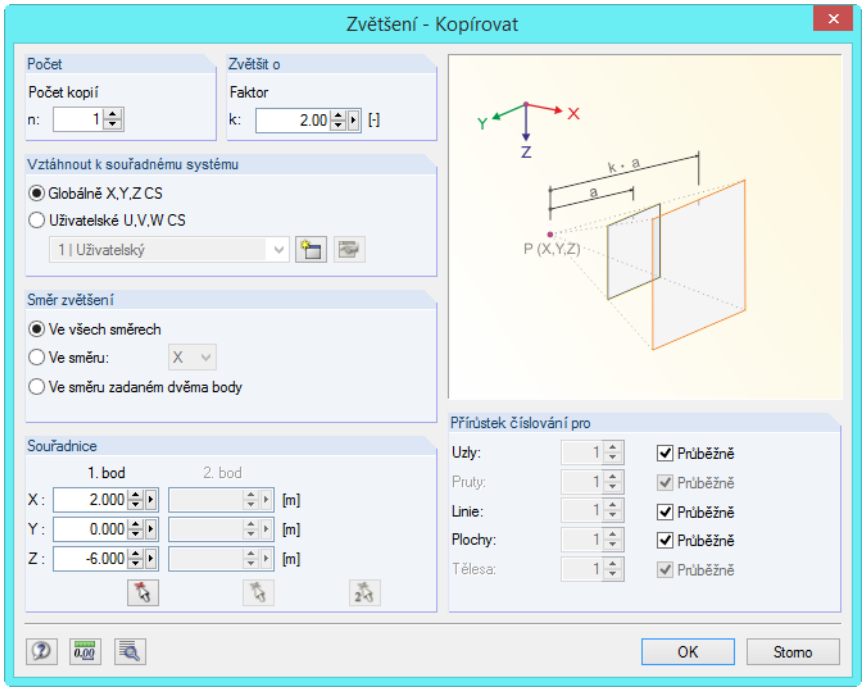


Obrázek 11.85 Původní plocha a zvětšená kopie

Dialog, ve kterém se zadávají parametry zvětšení, vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Zvětšení...

nebo z místní nabídky vybraných objektů (viz vlevo vedle obr. 11.83).



Obrázek 11.86 Dialog *Zvětšení - Kopírovat*

Pokud v poli *Počet kopií* nastavíme **0**, vybrané objekty se budou zvětšovat. Jinak se vytvoří uvedený počet kopií.

V sekci *Zvětšit* o zadáme faktor zvětšení *k* (viz grafické zobrazení v pravé části dialogu).

Pro zadání *směru zvětšení* máme tři možnosti:

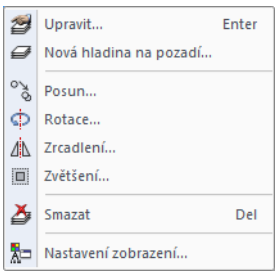
Rovnoměrně v X, Y, Z	**Všechny** souřadnice objektu (X, Y a Z) se upraví vzhledem k počátečnímu bodu definovanému v sekci *Souřadnice*.
Ve směru: X / Y / Z	Je třeba stanovit jednu z globálních os. **Pouze tyto** souřadnice objektů se upraví vzhledem k počátečnímu bodu definovanému v sekci *Souřadnice*.
Ve směru zadaném dvěma body	V sekci *Souřadnice* bude definován dvěma body vektor, v jehož směru bude zvětšení provedeno.

Tabulka 11.7 Sekce *Směr zvětšení*

Při kopírování objektů lze zadat *přírůstek číslování*, a tak ovlivnit číslování nových objektů.

Pokud klikneme na tlačítko , otevře se dialog s dalšími užitečnými možnostmi nastavení. Podrobně se jim věnujeme v kapitole 11.4.1.

Zvětšovat lze také hladiny na pozadí. Tuto funkci lze spustit z hlavní nabídky

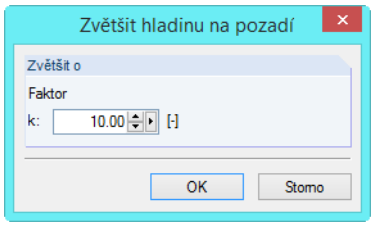


Místní nabídka hladin na pozadí

Úpravy → Hladiny na pozadí → Zvětšení...

nebo z místní nabídky hladin na pozadí v navigátoru *Data*.

V dialogu *Vybrat hladinu na pozadí* musíme nejdříve stanovit příslušnou hladinu. Faktor zvětšení pak zadáme v dialogu *Zvětšit hladinu na pozadí* (viz obr. 11.87).



Obrázek 11.87 Dialog *Zvětšit hladinu na pozadí*

11.4.6 Zkosení

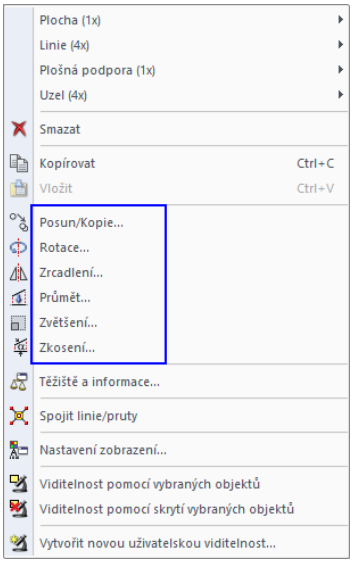
Tato funkce slouží k otáčení objektů okolo zadané osy. Přitom se mění pouze souřadnice v jednom směru. Tato funkce je velmi praktická při navrhování střešních konstrukcí, kdy se sklon střechy dodatečně upravuje. Délky prutů se upraví, vodorovné složky souřadnic zůstávají beze změny.

Před vyvoláním daného příkazu je třeba vybrat nejen pruty, ale také k nim náležející uzly.

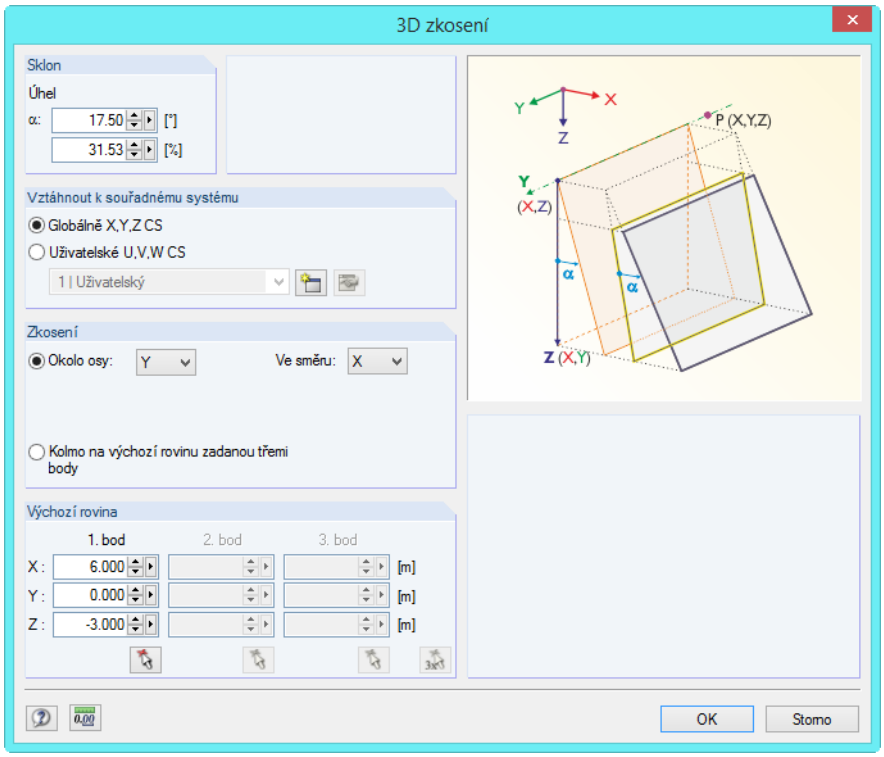
Dialog, v kterém lze zadat parametry pro zkosení, otevřeme příkazem z hlavní nabídky

Úpravy → Zkosení...

nebo z místní nabídky vybraných objektů.



Místní nabídka vybraných objektů



Obrázek 11.88 Dialog *3D zkosení*

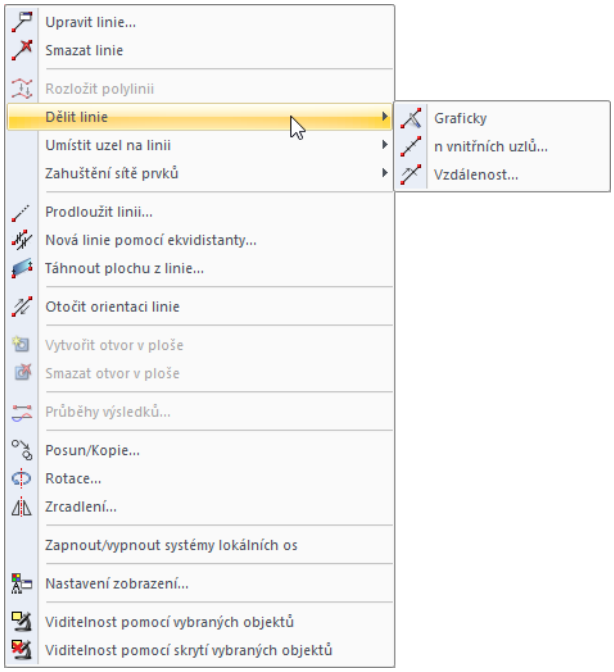
Nejdříve zadáme v sekci *Sklon* úhel natočení v [°] nebo [%].

Parametry v sekci *Zkosení* lze definovat dvěma způsoby:

- Osa rotace je rovnoběžná s jednou z rovin, které jsou vymezeny osami globálního souřadného systému XYZ. V takovém případě je třeba označit volbu *Okolo osy* a vybrat ze seznamu požadovanou osu. V seznamu *Ve směru* následně určíme globální osu, v jejímž směru se změní souřadnice uzlů. V sekci *Výchozí rovina* je třeba dále definovat bod osy rotace.
- Osa rotace leží v obecné poloze v prostoru. V tomto případě označíme druhou volbu. V sekci *Výchozí rovina* je pak třeba zadat dva body na ose rotace a další bod, který spolu s oběma předchozími body definuje výchozí rovinu. Body lze zadat i v grafickém okně.

11.4.7 Dělení linií a prutů

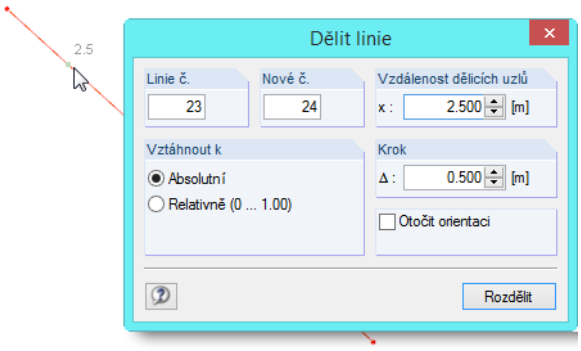
Linie a pruty poměrně jednoduše rozdělíme, pokud na ně klikneme pravým tlačítkem myši a následně v místní nabídce vybereme příkaz *Dělit linie*, resp. *Dělit prut*.



Obrázek 11.89 Příkaz *Dělit linie* v místní nabídce

Linii, resp. prut můžeme rozdělit třemi způsoby:

Graficky

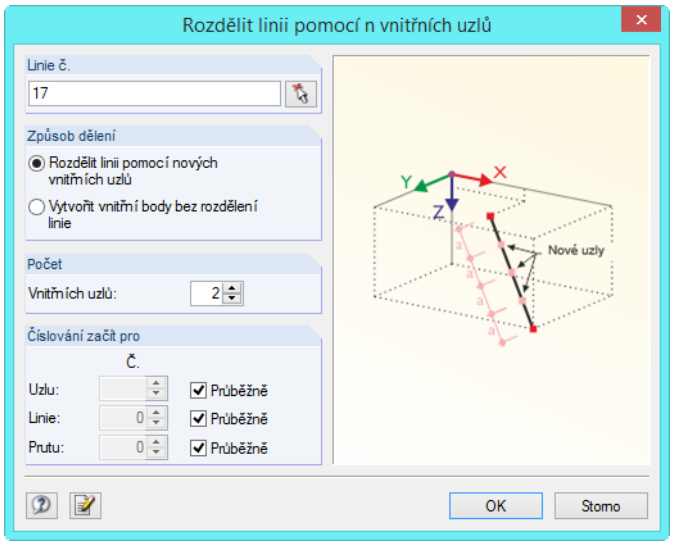


Obrázek 11.90 Dialog *Dělit linie*

Jestliže vybereme grafické dělení linií, otevře se dialog *Dělit linie*. Pokud se kurzor myši pohybuje po linii, zastaví se vždy ve vzdálenostech podle nastavené délky kroku. Dělicí bod pak jednoduše zadáme v grafickém okně kliknutím myší. mezi dělicími body lze nastavit v absolutních hodnotách nebo v poměru k celkové délce linie.

Vzdálenost dělicích uzlů lze zadat i přímo v dialogu. Nejdříve vyplníme v poli *Linie č.* číslo linie, kterou si přejeme rozdělit, a v poli *Nové č.* číslo nové linie. Pokud chceme vzdálenost dělicích bodů vztáhnout ke konci linie, zaškrtneme políčko *Orientace linie*.

n vnitřních uzlů



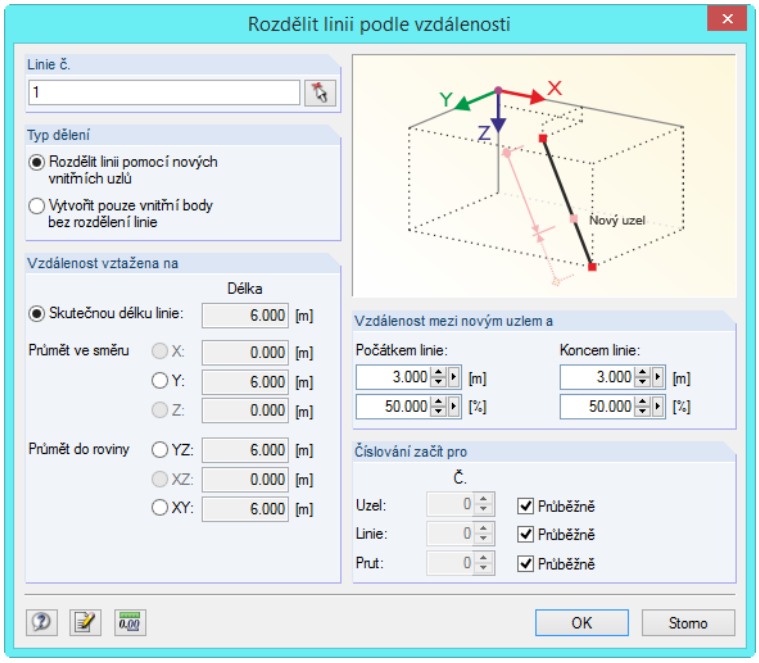
Obrázek 11.91 Dialog *Rozdělit linii pomocí n vnitřních uzlů*

Tato funkce slouží k rovnoměrnému rozdělení linie do několika částí. V sekci *Počet* můžeme nastavit počet *vnitřních uzlů*, kterými bude linie rozdělena.

Linii lze rozdělit pomocí *nových vnitřních uzlů* na „skutečné“ linie, nebo lze linii zachovat a vytvořit ve stejných rozestupech *vnitřní body* na linii. Zpravidla se upřednostňuje skutečné dělení. Pokud se však při dělení linie B-Spline změní průběh linie, je lepší zvolit druhou možnost.

V sekci *Číslování začít pro* lze zadat číslování nových uzlů, linií a prutů.

Vzdálenost



Obrázek 11.92 Dialog *Rozdělit linii podle vzdálenosti*

Touto funkcí vytvoříme dělicí uzel na určitém místě na linii.

Linii lze rozdělit pomocí *nového vnitřního uzlu* na „skutečné“ linie nebo lze linii zachovat a vytvořit pouze *vnitřní bod bez rozdělení linie*.

V sekci *Vzdálenost vztažena na* určíme, k čemu se má vztáhnout zadaná vzdálenost dělicího bodu. Vzdálenost může být definována vzhledem k celkové délce linie (což je obvyklý případ) nebo může být vztažena na průmět.

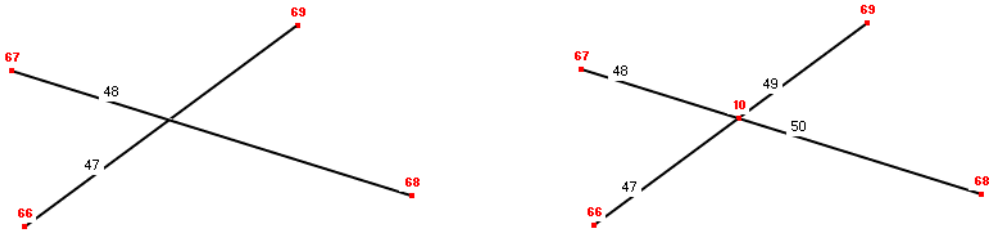
Vzdálenost nového uzlu lze zadat od počátečního nebo koncového uzlu linie. Vzdálenost můžeme definovat v absolutních hodnotách i poměrně k celkové délce linie v procentech. Všechna čtyři zadávací políčka v této sekci jsou interaktivní, tzn. že po zadání hodnoty v jednom políčku se automaticky spočítají hodnoty v ostatních polích.

Při zadávání vzdálenosti dělicího uzlu je důležité znát orientaci linie, resp. prutu. Zobrazení orientace nebo osových systémů linií a prutů lze zapnout z místní nabídky linie či prutu nebo v navigátoru *Zobrazit* (viz obr. 4.26 a obr. 4.165).

V sekci *Číslování začít pro* lze zadat číslování nových objektů.

11.4.8 Spojení linií a prutů

Tato funkce slouží ke spojení zkřížených linií a prutů, které nemají žádný společný uzel.

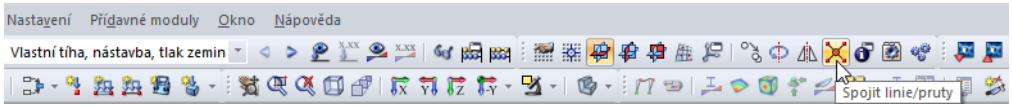


Obrázek 11.93 Původní stav (vlevo: zkřížené, nespojené linie) a výsledný stav (vpravo: spojené linie)

Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Spojit linie/pruty

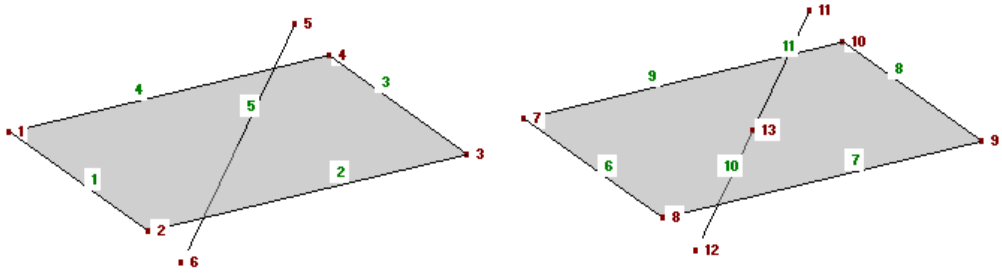
nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 11.94 Tlačítko *Spojit linie/pruty*

V grafickém okně následně stačí vybrat oknem linie nebo pruty, které chceme spojit. Objekty nemusí ležet ve výběru celé.

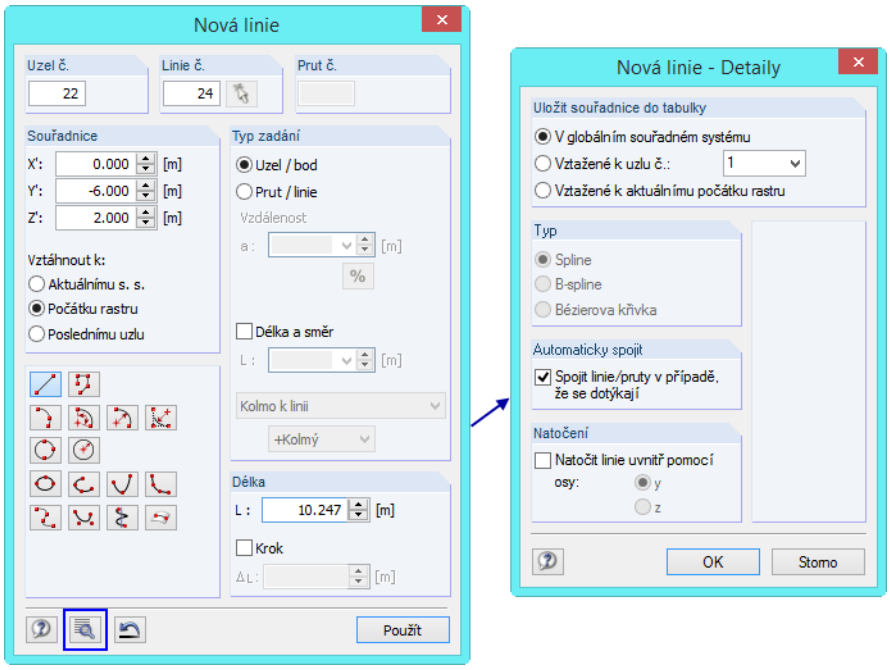
Pomocí této funkce lze také najít bod průniku linie plochou.



Obrázek 11.95 Vytvoření průsečíku linie s plochou: Originál (vlevo) a kopie s novým uzlem (vpravo)

Danou funkci lze použít také při grafickém zadávání nových linií nebo prutů (viz obr. 11.96). Spojovací uzly se ovšem vytvoří jen tehdy, kdy jsou linie/pruty napojeny na jiné linie/pruty, tj. v daném místě končí. Při zadání diagonálního ztužení se tak žádný průsečíkový uzel nevytvoří.

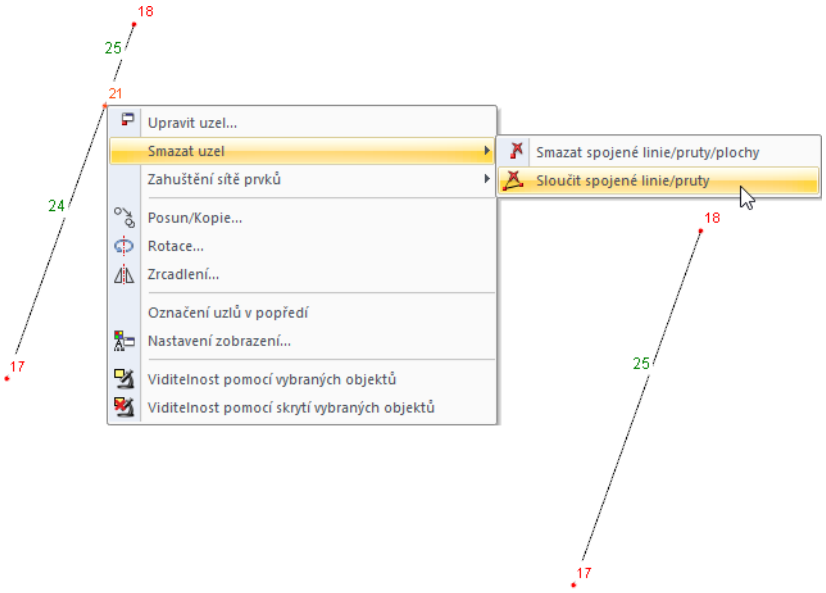
V dialogu *Nová linie*, resp. *Nový prut* lze pomocí tlačítka otevřít dialog, ve kterém můžeme určit, zda se linie, resp. pruty při zadání automaticky spojí.



Obrázek 11.96 Dialog *Nová linie - detaily*

11.4.9 Sloučení spojených linií a prutů

Na sebe navazující linie nebo pruty lze spojit, a vytvořit tak jedinou linii, příp. prut. Tato funkce je k dispozici pouze v místní nabídce uzlu, kterou otevřeme tak, že klikneme pravým tlačítkem myši na dělicí uzel.

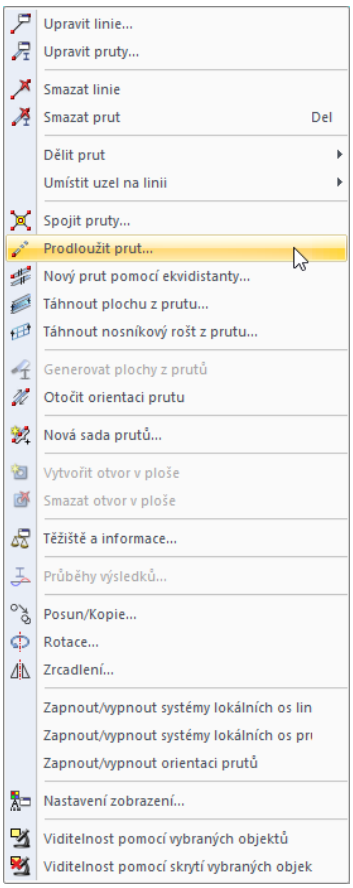


Obrázek 11.97 Příkaz v místní nabídce uzlu *Smazat uzel* → *Sloučit spojené linie/pruty* a výsledný stav (vpravo)

Zatímco pomocí klávesy [Delete] smažeme vybraný uzel, a tím i napojené linie, pruty a plochy, lze zvolit v místní nabídce uzlu tuto která je myšlena pro uzly, k nimž jsou připojeny právě dvě linie nebo pruty.

Pokud linie nebo pruty neleží na přímce, vytvoří RFEM po sloučení novou linii, resp. nový prut mezi oběma krajními uzly.

11.4.10 Prodloužení linií a prutů

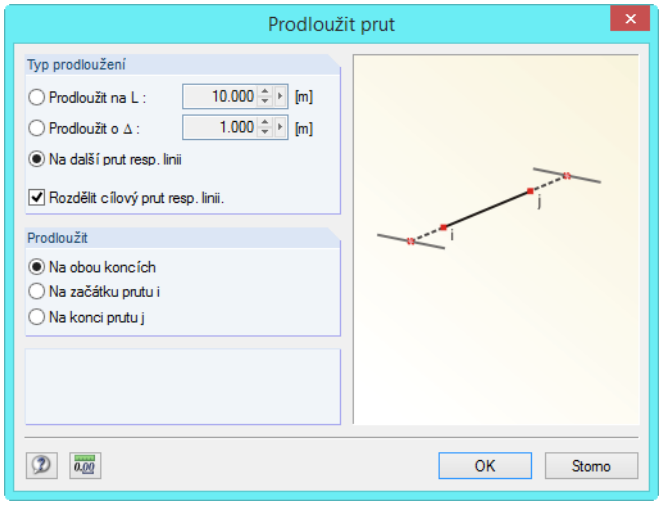


Místní nabídka prutu

Tato funkce slouží k obecným úpravám délky linie (resp. prutu) nebo k jejímu prodloužení až k jiné linii.

Funkci vyvoláme z místní nabídky linie (viz obr. 11.89) nebo prutu (viz levý okraj).

Otevře se dialog *Prodloužit linii*, resp. *Prodloužit prut*.



Obrázek 11.98 Dialog *Prodloužit prut*

Sekce *Typ prodloužení* nabízí tři možnosti.

- Volbou *Prodloužit na L* změníme celkovou délku prutu, resp. linie na hodnotu zadanou ve vstupním poli vpravo.
- Pokud vybereme možnost *Prodloužit*, prodlouží se prut na jedné nebo na obou stranách o určitou hodnotu (popř. se zkrátí, jestliže ve vstupním poli vpravo zadáme zápornou hodnotu).
- Po označení volby *Na další prut resp. linii* se prut prodlouží k nejblíže položenému prutu, který má průsečík s přímkou prutu. Pokud aktivujeme kontrolní políčko *Rozdělit cílový prut resp. linii*, oba pruty se automaticky spojí.

V sekci *Prodloužit* určíme výchozí bod prodloužení. Vybereme-li možnost *Na obou koncích*, prut se prodlouží na obou stranách: celková délka *L* bude přitom vztažena ke středu prutu nebo bude prut na obou stranách prodloužen o hodnotu Δ, popř. se protáhne k sousedícím prutům. Pokud chceme délku prutu upravit pouze z jedné strany, označíme volbu *Na začátku prutu i* nebo *na konci prutu j*.

Zobrazení orientace linie, resp. prutu lze zapnout v navigátoru *Zobrazit* (viz obr. 4.26).

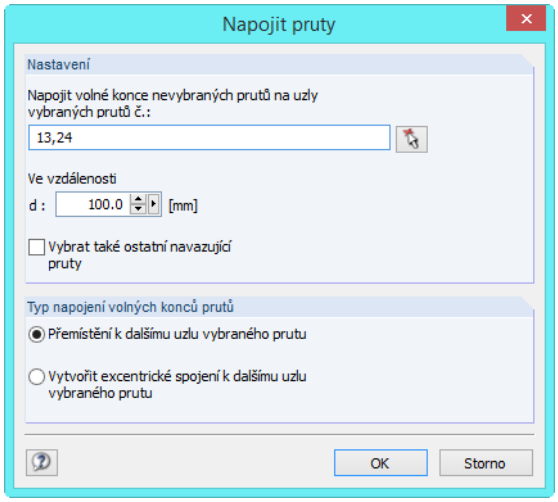
11.4.11 Napojení prutů

Na rozdíl od spojování prutů (viz kapitola 11.4.8) není v tomto případě třeba, aby se pruty v některém bodě protínaly. K uzlům vybraného prutu lze napojit i vzdálené pruty. Pokud má ovšem při napojení dojít k prodloužení prutu, doporučujeme použít funkci *Prodloužit prut* (viz kapitola 11.4.10).

Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Napojit pruty...

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.99 Dialog *Napojit pruty*

V sekci *Nastavení* uvedeme číslo prutu, k jehož uzlům mají být volně ležící pruty připojeny. Prut lze vybrat i graficky pomocí funkce . Ve vstupním poli *Ve vzdálenosti* nastavíme okruh, v němž budou vyhledány volné konce prutů. Pokud zaškrtneme políčko *Vybrat také ostatní navazující pruty*, budou do výběru zahrnuty i všechny pruty, které jsou již s některým vybraným prutem spojeny.

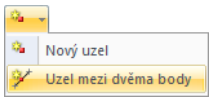
V sekci *Typ napojení volných konců prutů* lze nastavit způsob připojení volných konců prutů na vybrané pruty. Vybrat lze jednu ze dvou možností: jejich přemístění k uzlům vybraných prutů nebo excentrické připojení.

11.4.12 Vložení uzlu

Tato funkce umožňuje vytvořit nový uzel mezi dvěma libovolnými uzly. Není tak potřeba zadávat linii a pak ji rozdělit mezilehlým uzlem (viz kapitola 11.4.7).

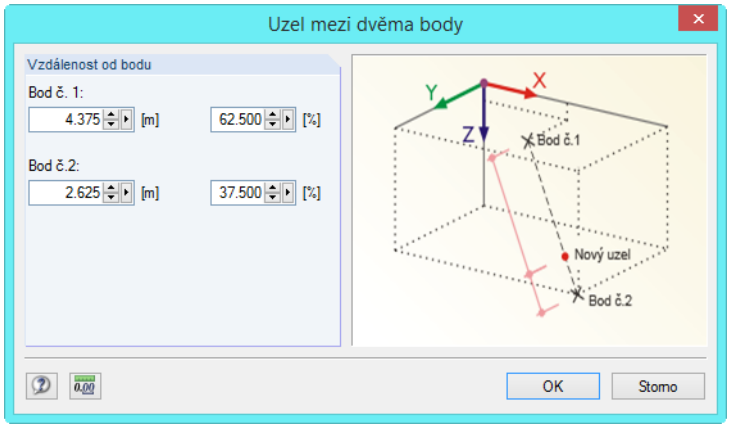
Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Uzly ⟶ Uzel mezi dvěma body



nebo pomocí rozbalovacího tlačítka [Nový uzel].

Příslušné dva body (uzly, body rastru nebo libovolné body) vybereme postupně kliknutím myší v pracovním okně. Poté se otevře následující dialog:



Obrázek 11.100 Dialog *Uzel mezi dvěma body*

Vzdálenost od bodu lze zadat v absolutních či relativních hodnotách. Změny se okamžitě projeví v

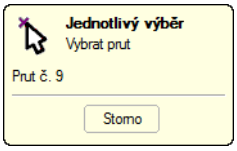
pracovním okně. Po kliknutí na [OK] se nový uzel vytvoří.

11.4.13 Vložení prutu

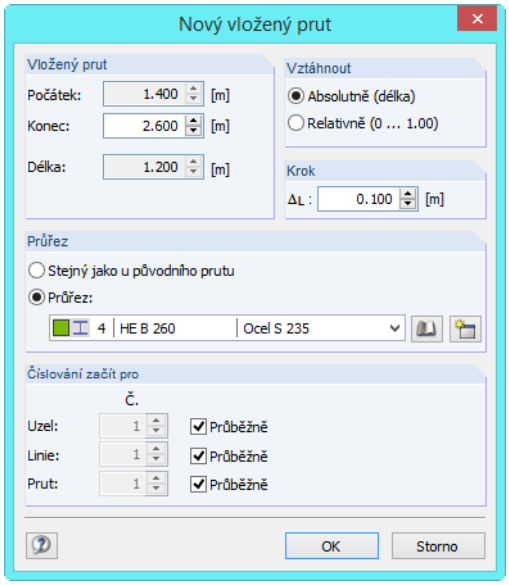
Tato funkce umožňuje na již existujícím prutu definovat úsek s jinými průřezovými charakteristikami. Do původního prutu se přitom vloží dva mezilehlé uzly.

Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Pruty ⟶ Graficky ⟶ Vložený prut...



Jakmile vybereme prut, zobrazí se následující dialog:



Obrázek 11.101 Dialog *Nový vložený prut*

Oba dělicí body stanovíme v pracovním okně kliknutím myší. Křížkem se vyznačí aktuální poloha kurzoru myši. Úseky, ve kterých se kurzor myši pohybuje podél prutu, se řídí údajem v poli *Krok*.

V políčkách v sekci *Vložený prut* se zobrazí místa x na prutu, v nichž jsme stanovili počáteční a koncový uzel. Můžeme je v nich případně ručně upravit. Pod těmito poli se uvede *délka* vloženého prutu.

V sekci *Vztáhnout* můžeme určit, zda se vzdálenost dělicích bodů od počátku prutu bude vztahovat k absolutní délce nebo jestli se bude jednat o poměrnou vzdálenost.

Průřez můžeme buď převzít z původního prutu nebo můžeme vloženému prutu přiřadit nový průřez. Vybrat ho lze ze seznamu již použitých profilů, příp. pomocí vlevo znázorněných tlačítek zvolíme jiný průřez z [databáze] nebo vytvoříme zcela [nový průřez].

V sekci *Číslování začít pro* lze zadat číslování nových objektů.

11.4.14 Grafické přiřazení vlastností prutu

Tato funkce slouží k převedení určujících kritérií jako průřezů, kloubů a excentricit v grafickém okně na již vytvořené pruty.

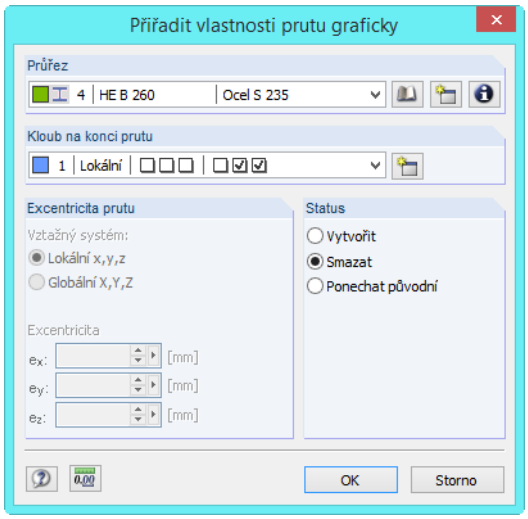
Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Pruty ⟶ Přiřadit vlastnosti prutů graficky...

příp.

Úpravy ⟶ Údaje o modelu ⟶ Pruty ⟶ Přiřadit vlastnosti prutů graficky...

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.102 Dialog *Přiřadit vlastnosti prutu graficky*

Průřez můžeme vybrat ze seznamu, příp. po kliknutí na vlevo znázorněná tlačítka [převzít z průřezové databáze] nebo můžeme [vytvořit nový průřez]. *Kloub na konci prutu* můžeme v případě potřeby také vybrat ze seznamu nebo můžeme zadat [nový] typ kloubu (viz kapitola 4.14).

Excentricitu prutu lze vztáhnout na lokální osový systém prutu x,y,z nebo na globální souřadný systém X,Y,Z a lze ji stanovit níže v příslušných polích (viz kapitola 4.15).

V sekci *Status* se určí, zda bude prutu nově přiřazena excentricita (volba *Vytvořit*) nebo zda mu bude naopak odebrána (volba *Smazat*). Pokud zvolíme možnost *Ponechat původní*, změní se pouze průřez a kloub na konci prutu, nikoli však již zadaná excentricita.

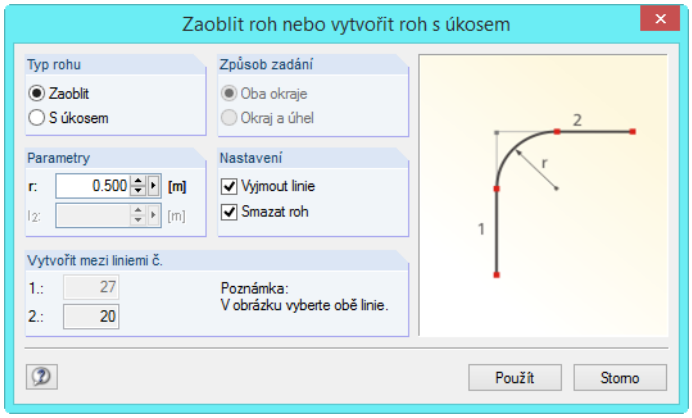
Po kliknutí na [OK] se pruty graficky rozdělí na třetiny (viz obr. 4.142). Nyní můžeme myší kliknout na tu stranu prutu, které se mají přiřadit zvolené vlastnosti (např. kloub). Pokud klikneme na prut v jeho střední části, přiřadí se kloub nebo excentricita oběma koncům prutu.

11.4.15 Zaoblení rohu

Rohy a hrany v modelu vedou občas k singularitám. Funkci pro realistické modelování rohů s poloměrem zaoblení vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Vytvořit zaoblený roh nebo roh s úkosem...

Obě linie není třeba předem vybírat. Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.103 Dialog *Zaoblit roh nebo vytvořit roh s úkosem*

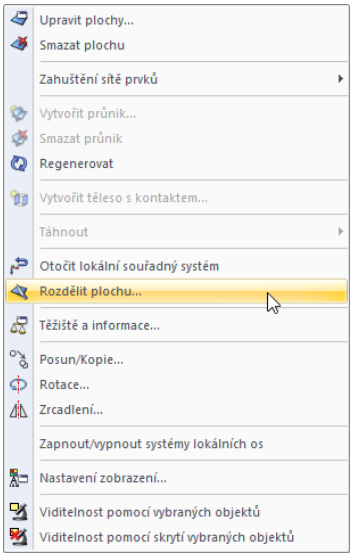
V sekci *Typ rohu* určíme, zda se má roh zaoblit nebo zkosit. V závislosti na výběru je pak v sekci *Parametry* třeba zadat buď poloměr zaoblení r nebo délky l_1 a l_2 pro zkrácení linií.

Aniž bychom zavírali dialog, obě linie pak vybereme kliknutím myší v grafickém zobrazení. V sekci *Vytvořit mezi liniemi č.* poté můžeme čísla linií zkontrolovat.

Pokud zaškrtneme políčko *Vyjmout linie*, vytvoří se v oblasti rohu nový oblouk, resp. nová přímka a přesahy původních linií v oblasti rohu se smažou. Zvolíme-li navíc možnost *Smazat roh*, zmizí také původní rohový uzel.

11.4.16 Rozdělení plochy

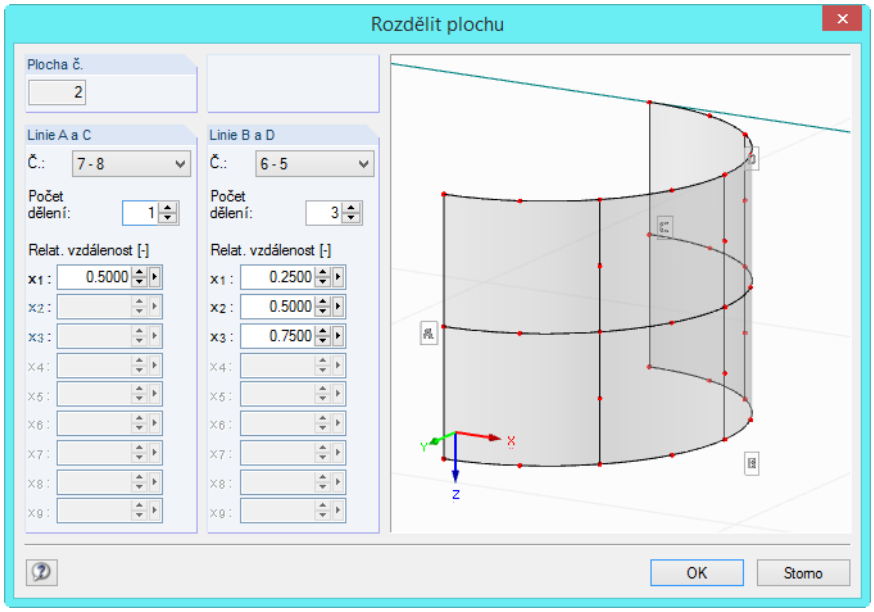
V průběhu modelování se může stát, že uživatel bude potřebovat rozdělit plochu na menší plochy.



Místní nabídka plochy

Rovinná plocha musí být dána čtyřmi liniemi. Nevykazuje žádný nekonvexní úhel. V případě linií se nesmí jednat o průniky, trajektorie apod.

Pokud chceme plochu rozdělit, klikneme na ni pravým tlačítkem myši a v místní nabídce pak vybereme funkci *Rozdělit plochu...* Danou funkci máme k dispozici nejen v případě rovinných ploch, ale také zobecnělých čtyřúhelníků, rotačních ploch, trubek atd.



Obrázek 11.104 Dialog *Rozdělit plochu*

V dialogu *Rozdělit plochu* si můžeme prohlédnout náhled s navrženým rozdělením plochy, v němž jsou znázorněny i příslušné parametry. Pokud změníme *počet dělení* pro oba páry okrajových linií A, C a B, D, zobrazí se v obrázku okamžitě nové rozdělení na dílčí plochy.

U každé dělicí linie lze stanovit *relativní vzdálenost*; lze tak docílit i nepravidelného rozčlenění.

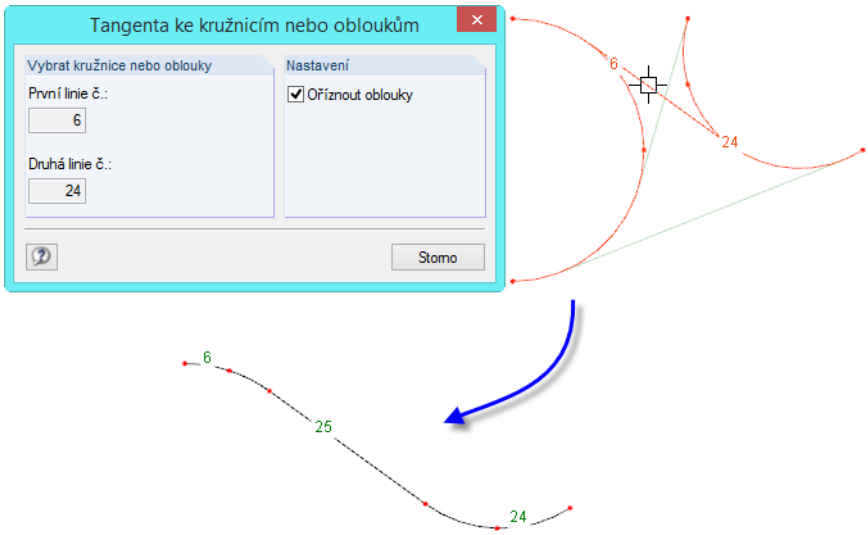
V grafickém zobrazení můžeme pro úpravu náhledu použít běžné funkce myši jako například zvětšení/zmenšení nebo natočení (viz kapitola 3.4.9).

11.4.17 Sestrojení tečny ke kružnicím

Tečnu k jednomu oblouku nebo k jedné kružnici lze jednoduše vytvořit prostřednictvím uchopení objektu (viz kapitola 11.3.3). Program ale nabízí dále speciální funkci, která umožňuje sestrojit tečnu (tečny) ke dvěma kružnicím či obloukům. Funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje → Tečna ke dvěma kružnicím/obloukům...

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.105 Dialog *Tangenta ke kružnicím nebo obloukům* (výše) s výsledkem (níže)

Nejdříve je třeba obě kružnicové či obloukové linie postupně vybrat kliknutím myší v pracovním okně. Potenciální tečny se načrtnou jako šedé čáry. Na požadovanou čáru nyní klikneme. RFEM rozdělí kružnicové nebo obloukové linie uzlem a tečnu vytvoří jako novou linii.

Volba *Oříznout oblouky* umožňuje přesahy linií, které po rozdělení vzniknou, automaticky odstranit (viz obrázek výše).

11.4.18 Úprava číslování

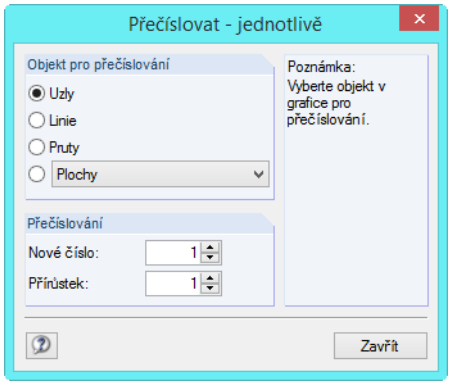
Pravidelné a logické číslování je velmi užitečné při modelování konstrukce i jejím vyhodnocení. Grafické zadávání objektů a dodatečné úpravy můžou vnést do číslování objektů určitý nepořádek.

RFEM nabízí tři možnosti, jak dodatečně číslování upravit. Funkce najdeme v hlavní nabídce

Nástroje → Přečíslovat.

Při přečíslování objektů není nutné starat se o zatížení. Přiřazená zatížení se při změně čísel objektů automaticky převedou.

Jednotlivě



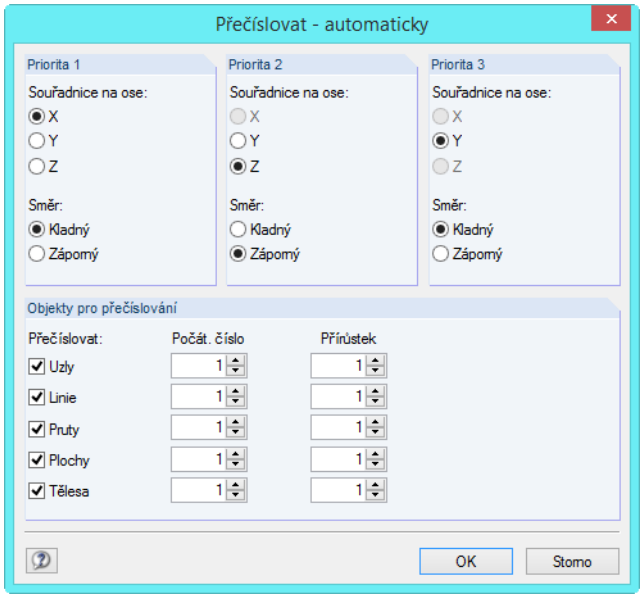
Obrázek 11.106 Dialog *Přečíslovat - jednotlivě*

V sekci *Objekt pro přečíslování* určíme, zda se mají přečíslovat uzly, linie, pruty nebo jiné objekty, které vybereme ze seznamu. Počáteční číslo nového číslování a přírůstek zadáme v sekci *Přečíslování*.

Po kliknutí na tlačítko [Zavřít] můžeme postupně příslušné objekty vybrat v grafickém okně. Je třeba si uvědomit, že jednotlivým objektům lze přitom přiřadit pouze dosud volná, neobsazená čísla.

Automaticky

Nejdříve je třeba vybrat uzly, linie a pruty (viz kapitola 11.2.1), jejichž čísla chceme změnit. Poté otevřeme následující dialog:



Obrázek 11.107 Dialog *Přečíslovat - automaticky* pro uzly, linie a pruty

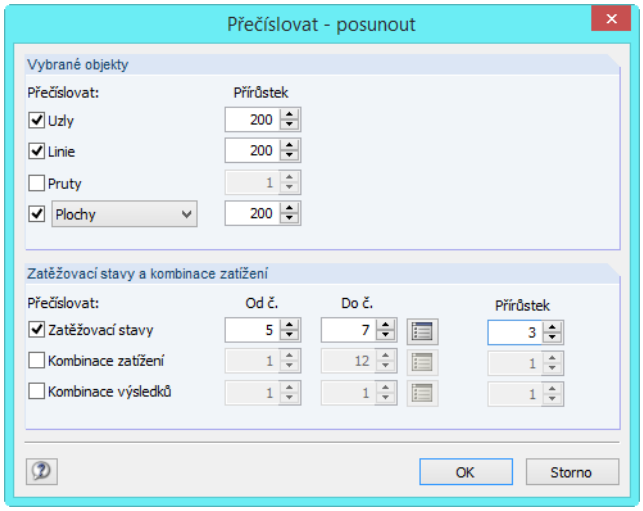
V tomto dialogu určíme, jakou *prioritu* budou mít při přečíslování jednotlivé globální směry X, Y a Z. Také rozhodneme, zda se budou čísla přidělovat postupně ve *směru* kladné nebo záporné osy.

V příkladu výše se nová čísla přiřadí nejdříve uzlům (a stejně tak liniím a prutům) s nejmenší souřadnicí X. Uzly se pak budou číslovat vzestupně ve směru kladné osy X. V případě, že dva uzly mají stejnou souřadnici X, rozhoduje 2. priorita: nižší číslo tak dostane uzel s menší souřadnicí Y. Pokud je stejná i souřadnice Y, pak se číslování řídí 3. prioritou.

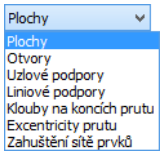
V sekci *Objekty pro přečíslování* určíme, které objekty budou přečíslovány, a zadáme počáteční čísla a přírůstky nového číslování. Již obsazená čísla nelze přiřadit. RFEM však umožňuje použít čísla, která před novým číslováním sice byla zadaná, přečíslováním se ale uvolní.

Posunout

Nejdříve je třeba vybrat objekty, jejichž čísla chceme změnit. Poté otevřeme z hlavní nabídky **Nástroje** → **Přečíslovat** → **Posunout...** následující dialog:



Obrázek 11.108 Dialog *Přečíslovat - posunout*



V sekci *Vybrané objekty* určíme, zda se má posunout číslování u uzlů, linií, prutů nebo jiných objektů, které vybereme v seznamu (viz obrázek vlevo). Ve sloupci *Přírůstek* zadáme, o jakou hodnotu se zvýší čísla příslušných objektů. Pokud zadáme záporný přírůstek, lze čísla i snížit. Je však třeba dát pozor, aby nevznikla čísla menší než 1.

V sekci *Zatěžovací stavy a kombinace zatížení* rozhodneme, zda se má upravit číslování zatěžovacích stavů, kombinací zatížení nebo kombinací výsledků. Pak zadáme čísla příslušných zatěžovacích stavů či kombinací v polích *Od č.* a *Do č.* Ve sloupci *Přírůstek* nastavíme, o jakou hodnotu se zvýší, popř. sníží čísla vybraných položek.

Po kliknutí na [OK] se přečíslování provede. Přitom je třeba si uvědomit, že jednotlivým objektům modelu konstrukce i zatížením lze přiřazovat pouze dosud neobsazená čísla.

11.5 Funkce v tabulkách

11.5.1 Editační funkce

Editační funkce jsou nástroje, které usnadňují zadávání dat v tabulkách (viz kapitola 3.4.4). Na rozdíl od výběrových operací, které se popisují v následující kapitole 11.5.2 , není třeba předem vybírat příslušné buňky. Editace proběhne pouze v buňce, v níž je umístěn kurzor.

Tabulky můžeme zobrazit, resp. skrýt z hlavní nabídky

Tabulka → **Zobrazit**

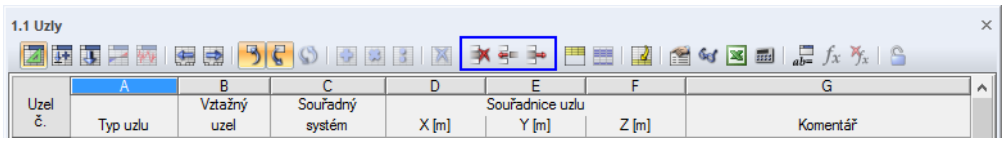
nebo pomocí vlevo znázorněného tlačítka v panelu nástrojů.

Vyvolání editačních funkcí

Pokud chceme provést editaci v tabulce, musí se kurzor nacházet v některé její buňce. Funkce pak vyvoláme z hlavní nabídky

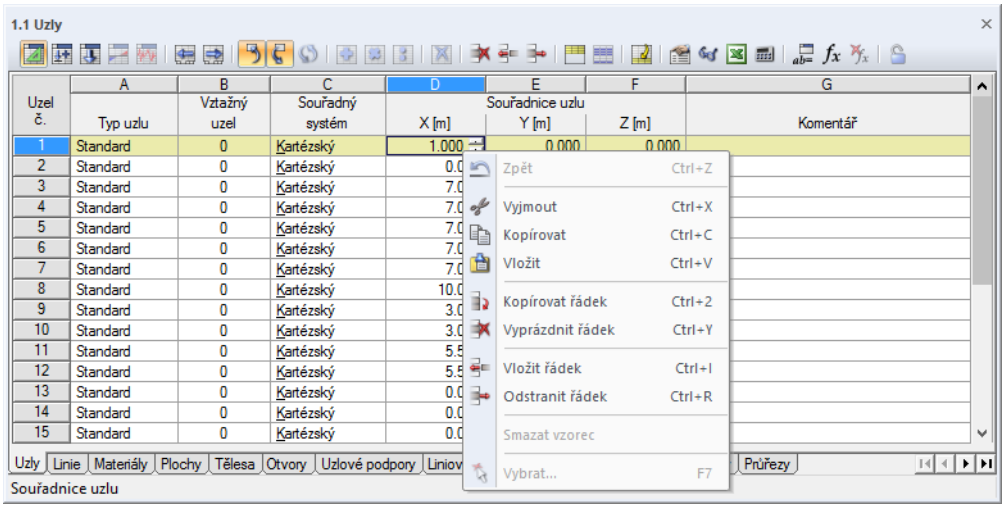
Tabulka → **Úpravy**.

Některé editační funkce najdeme i v panelu nástrojů v okně tabulky.



Obrázek 11.109 Tlačítka některých editačních funkcí v panelu nástrojů v okně tabulky

Funkce lze také vyvolat z místní nabídky buněk v tabulce.



Obrázek 11.110 Editační funkce v místní nabídce v tabulce

Funkce a řídící příkazy

Funkce	Účinek
Vyjmout [Ctrl+X]	Obsah buňky se odstraní a uloží do schránky.
Kopírovat [Ctrl+C]	Obsah buňky se zkopíruje do schránky.
Vložit [Ctrl+V]	Obsah uložený ve schránce se vloží do buňky. Pokud je obsah ve schránce větší než vybraná buňka, přepíšou se i buňky následujících sloupců a řádků. Předtím se však objeví varovná hláška.
Kopírovat řádek [Ctrl+2]	Následující řádek se přepíše obsahem aktuálně vybraného řádku.
Vyprázdnit řádek [Ctrl+Y]	Obsah řádku se smaže, řádek přitom zůstane zachován.
Vložit řádek [Ctrl+I]	Do tabulky se vloží nový, prázdný řádek. Následující řádky se posunou dolů.
Odstranit řádek [Ctrl+R]	Aktuální řádek se smaže. Následující řádky se posunou nahoru.

Hledat [Ctrl+F]	V tabulce proběhne hledání určitého čísla nebo znakového řetězce.
Nahradit [Ctrl+H]	V tabulce se vyhledá určité číslo nebo znakový řetězec a nahradí jiným.
Smazat tabulku	Obsah aktuální tabulky se kompletně smaže. Nezobrazí se žádná hláška.
Smazat všechny tabulky	Obsah všech tabulek se smaže.
Vybrat [F7]	V buňce se rozbalí celý seznam položek k výběru.
Aktualizovat zobrazení	Změny provedené v tabulce se převezmou do grafického zobrazení.
Upravit pomocí dialogu	Otevře se dialog, v němž lze upravit údaje aktuálního řádku.

Tabulka 11.8 Editační funkce

11.5.2 Výběrové operace

Výběrové operace jsou nástroje, které usnadňují zadávání dat v tabulkách. Na rozdíl od editačních funkcí, které jsou popsány v kapitole 11.5.1, je třeba nejdříve označit několik sousedících buněk — takzvaný *výběr*.

Souřadný systém	Souřadnice uzlu X [m]	Y [m]	Z [m]
Kartézský	1.000	0.000	0.000
Kartézský	0.000	6.000	0.000
Kartézský	7.000	6.000	0.000
Kartézský	7.000	0.000	0.000
Kartézský	7.000	0.000	0.000
Kartézský	7.000	6.000	4.000
Kartézský	7.000	0.000	4.000

Obrázek 11.111 Označení výběru

Není důležité, zda jsou buňky prázdné nebo vyplněné. Výběrové operace se provedou ve všech vybraných buňkách najednou.

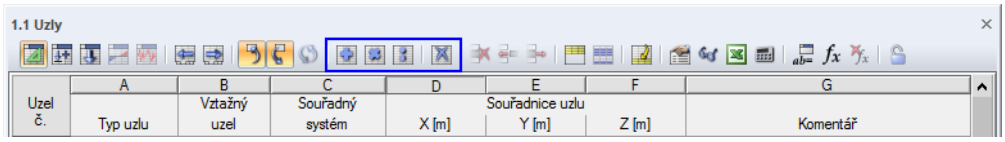
Vyvolání výběrových funkcí

V tabulce musíme nejdříve vybrat určitý souvislý blok buněk. Blok vybereme pohybem myši přes několik řádků se stisknutým levým tlačítkem. Pokud klikneme na záhlaví sloupce (A, B, C...), vybere se celý sloupec; kliknutím na číslo řádku v tabulce vybereme celý řádek.

Výběrové funkce vyvoláme z hlavní nabídky

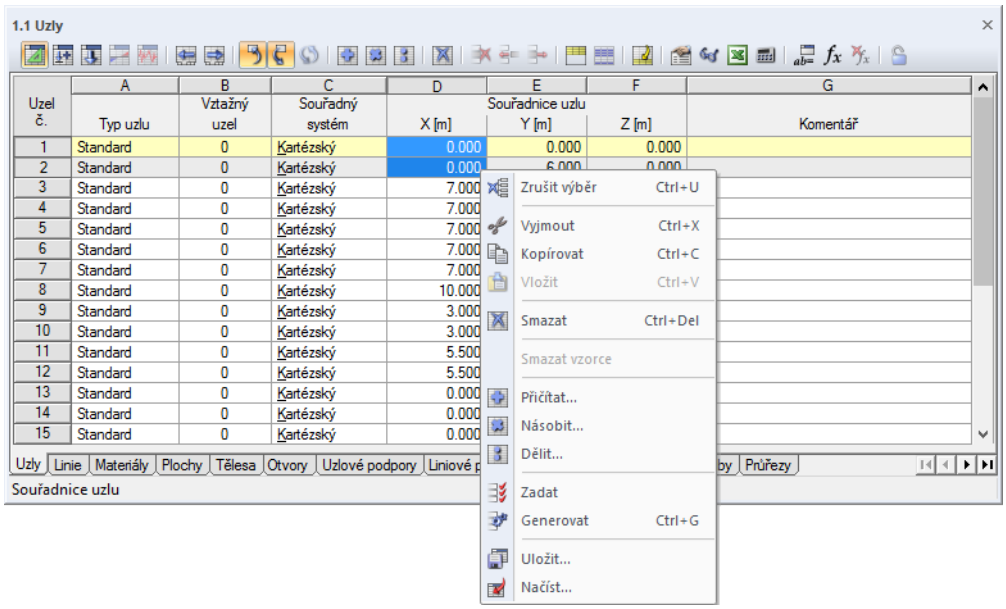
Tabulka → Výběr.

Některé výběrové funkce najdeme i v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 11.112 Tlačítka některých výběrových operací v panelu nástrojů v okně tabulky

Blokové funkce lze vyvolat i z místní nabídky bloku v tabulce.



Obrázek 11.113 Výběrové funkce v místní nabídce v tabulce

Funkce a řídící příkazy

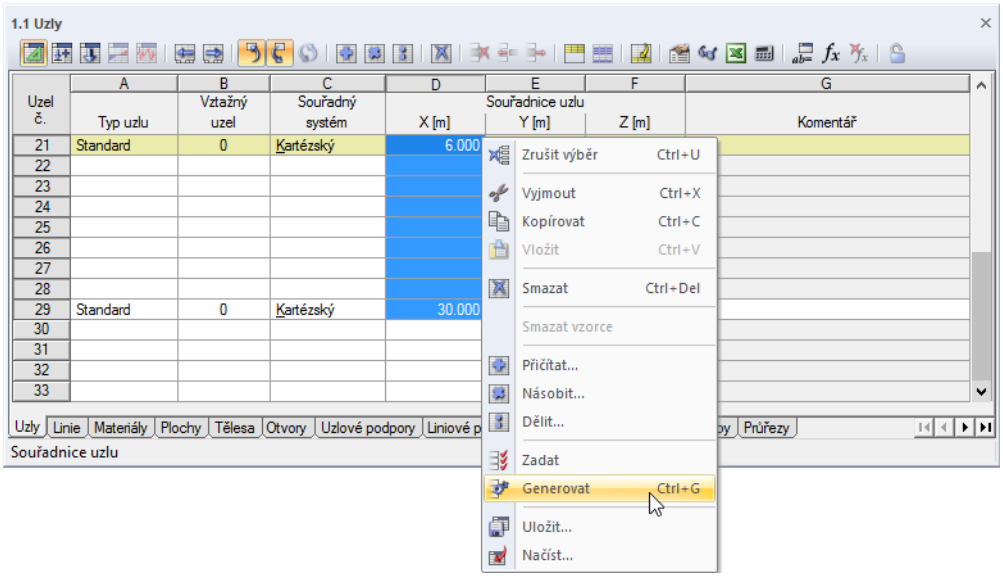
Funkce	Účinek
Zrušit výběr [[Ctrl+D]	Označení řádku nebo sloupce se zruší.
Vyjmout [Ctrl+X]	Obsah vybraných buněk se odstraní a uloží do schránky.
Kopírovat [Ctrl+C]	Obsah výběru se zkopíruje do schránky.
Vložit [Ctrl+V]	Obsah uložený ve schránce se vloží do tabulky. Tato funkce je k dispozici pouze v případě, že ve schránce jsou uloženy vhodné údaje (např. z Excelu).
Smazat [Ctrl+Del]	Obsah všech vybraných buněk se smaže.
Přičítat	K číselným hodnotám ve vybraných buňkách se přičte zadaná hodnota, popř. se od nich odečte.
Násobit	Číselné hodnoty ve vybraných buňkách se vynásobí zadaným číslem.

Dělit	Číselné hodnoty ve vybraných buňkách se vydělí zadaným číslem.
Dosadit	Všechny buňky výběru obdrží hodnotu z buňky vybrané nejvýše.
Generovat [Ctrl+G]	Do buněk s číselnou hodnotou mezi prvním a posledním řádkem ve výběru se vloží hodnoty interpolované mezi hodnotou v první a poslední buňce (viz následující příklad).
Uložit	Výběr se uloží jako soubor.
Načíst výběr	Načte se výběr uložený do souboru.

Tabulka 11.9 Funkce výběru

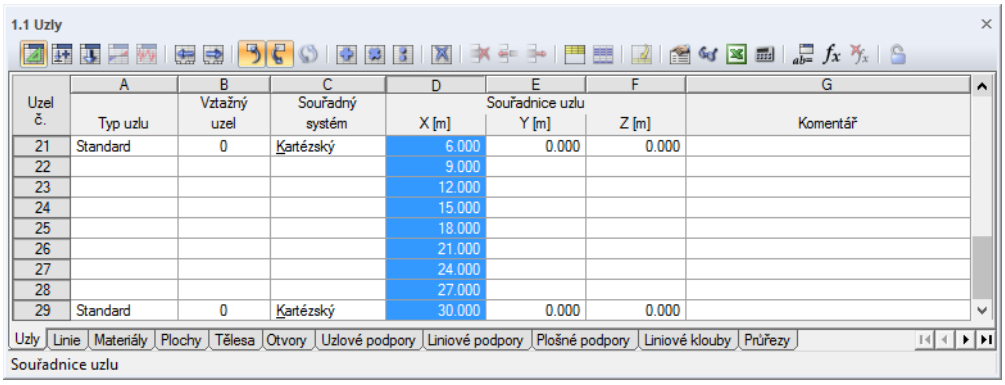
Příklad: Generování hodnot v buňkách

Tato funkce slouží k rychlému vyplnění prázdných buněk. Mezihodnoty se stanoví na základě lineární interpolace z počáteční hodnoty v nejvyšší buňce (např. 6,000) a konečné hodnoty v poslední buňce (např. 30,000).



Obrázek 11.114 Místní nabídka výběru

Po skončení operace *Generovat* obsahují buňky mezi první a poslední buňkou daného bloku interpolované hodnoty.



Obrázek 11.115 Výsledek

11.5.3 Funkce pro zobrazení

Pomocí těchto funkcí lze ovlivnit zobrazení dat v tabulkách.

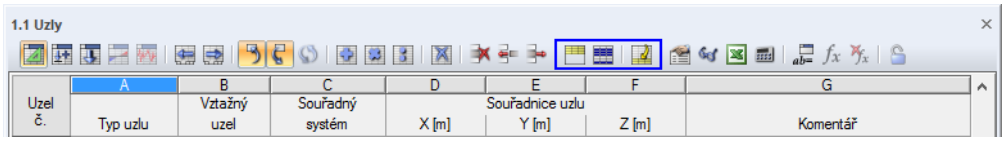
Vyvolání funkcí pro zobrazení

Zobrazovací funkce jsou obsaženy v hlavní nabídce

Tabulka → Zobrazit a

Tabulka → Optimalizovat údaje o zatížení.

Některé zobrazovací funkce najdeme i v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 11.116 Tlačítka některých zobrazovacích funkcí v panelu nástrojů v okně tabulek

Funkce

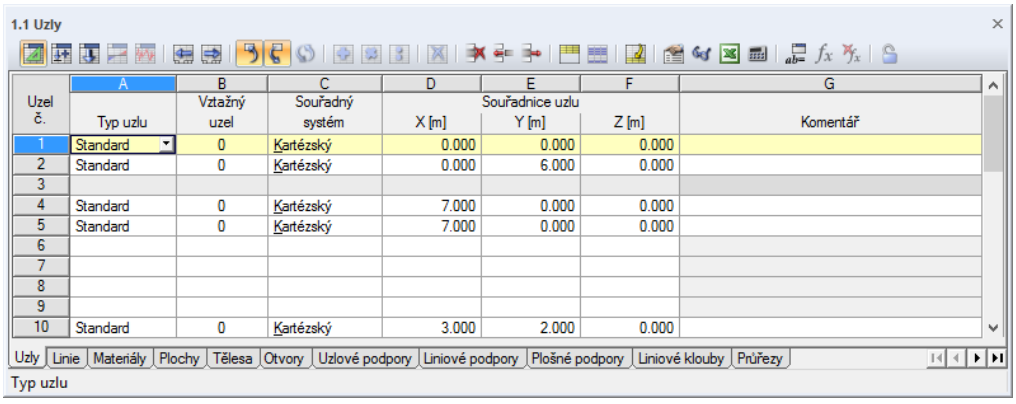
Funkce	Účinek
Pouze vyplněné řádky	Prázdné řádky v tabulce se nezobrazí.
Pouze označené řádky	Zobrazí se pouze označené řádky.
Pouze vybrané objekty	Zobrazí se pouze objekty vybrané v grafickém okně.
Vybrat zatížení a objekty s nimi související	V grafickém okně se spolu se zatíženími vyberou i související objekty daného modelu konstrukce (uzly, pruty, sady prutů). Funkce je k dispozici pouze v tabulce 3. Zatížení.
Sloučit řádky tabulky	V tabulkách s údaji o zatížení se objekty se stejným zatížením zobrazí v jednom řádku.
Dekomprimovat data aktuální tabulky	Zatížení se zobrazí pro každý objekt zvlášť.

Filtr výsledků	Výstup v tabulce lze omezit na určité typy výsledků (viz kapitola 11.5.5).
Informace o průřezu	Zobrazí se charakteristické hodnoty aktuálního průřezu.
Průběhy výsledků	Výsledky vybraného prutu se graficky zobrazí v novém okně (viz kapitola 9.5).
Barevné znázornění hodnot	Po aktivaci funkce se záporné hodnoty v tabulce podbarví červeně, kladné modře.
Záhlaví tabulky	Po aktivaci funkce se zobrazí nadpisy tabulek.
Panel nástrojů	Po aktivaci funkce se zobrazí panel nástrojů v okně tabulek.
Záhlaví sloupců	Po aktivaci funkce se zobrazí záhlaví sloupců (A, B, C...).
Stavový řádek	Po aktivaci funkce se zobrazí stavový řádek v okně tabulek.
Zvýraznit řádky tabulky	Řádek v tabulce, v němž se nachází kurzor myši, se po aktivaci funkce barevně zvýrazní.

Tabulka 11.10 Funkce pro zobrazení

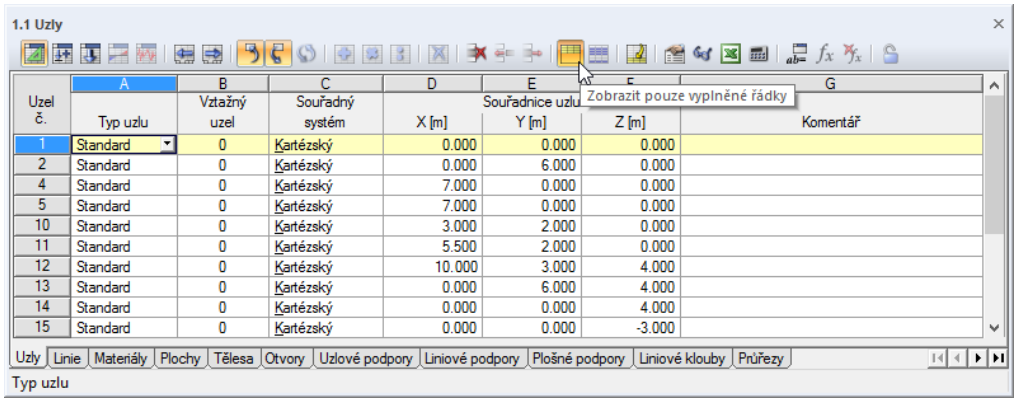
Příklad: Pouze vyplněné řádky

Tabulka obsahuje prázdné řádky, které snižují přehlednost dat.



Obrázek 11.117 Tabulka s prázdnými řádky

Po výběru funkce *Pouze vyplněné řádky* se prázdné řádky nezobrazí.



Obrázek 11.118 Tabulka bez prázdných řádků

11.5.4 Nastavení tabulek

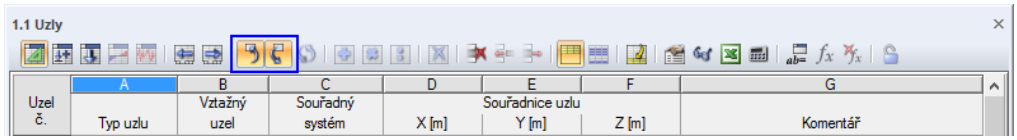
Těmito funkcemi lze upravovat písmo a barevný vzhled tabulek. Nastavit lze také synchronizaci výběru dat v tabulkách a v grafickém okně.

Vyvolání nastavení tabulky

Všechny možnosti nastavení vzhledu tabulek lze vyvolat z hlavní nabídky

Tabulka → Nastavení.

Synchronizaci výběru můžeme aktivovat nebo naopak vypnout i pomocí tlačítek v panelu nástrojů v okně tabulek.

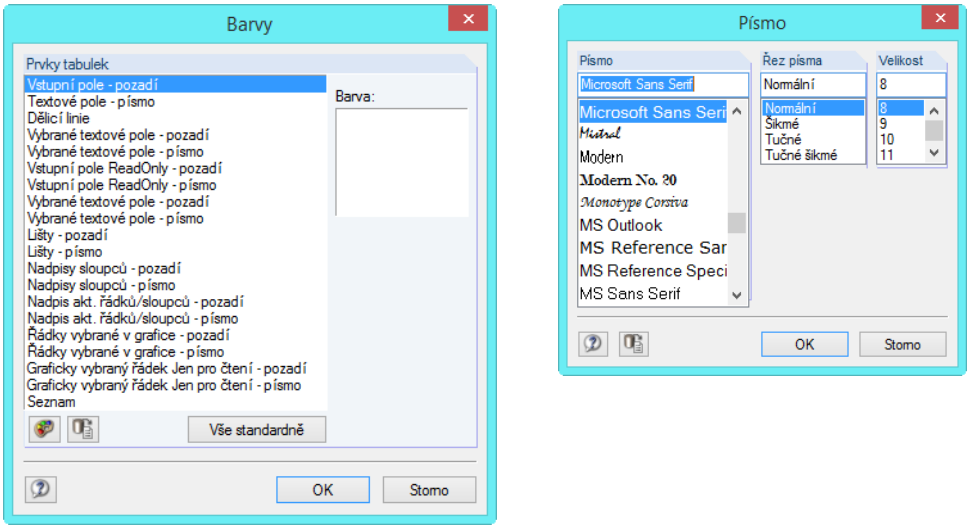


Obrázek 11.119 Tlačítka pro *synchronizaci výběru*

Funkce

Funkce	Účinek
Barvy	Slouží k otevření dialogu *Barvy* (viz obr. 11.120), v němž lze samostatně nastavit barvu jednotlivých prvků v tabulkách.
Typ písma	Slouží k otevření dialogu *Písmo* (viz obr. 11.120), ve kterém lze nastavit typ, řez a velikost písma jednotně u všech prvků v tabulkách.
Označit vybraný objekt z tabulek v grafice	Při aktivaci této funkce (funkce je zapnuta již ve výchozím nastavení) se v grafickém okně vybere objekt, který právě zpracováváme v tabulce.
Označit vybraný objekt z grafiky v tabulce	Při aktivaci této funkce (funkce je zapnuta již ve výchozím nastavení) se v tabulkách barevně vyznačí objekty aktuálně vybrané v grafickém okně.

Tabulka 11.11 Nastavení tabulek



Obrázek 11.120 Dialogy *Barvy* a *Písmo*

11.5.5 Funkce pro filtrování

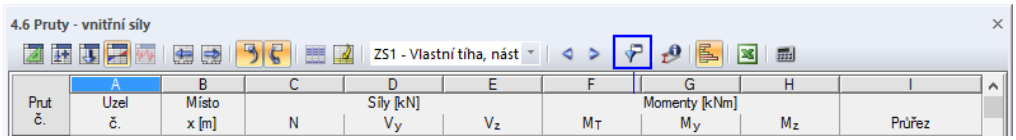
V tabulkách výsledků na prutech jsou k dispozici funkce pro filtrování vnitřních a kontaktních sil i deformací, které umožňují cílené vyhodnocení dat. Dále lze filtrovat reakce na uzlech a liniích v případě kombinací výsledků (viz kapitola 8.1 a kapitola 8.3).

Vyvolání filtrů

Funkce pro filtrování výsledků lze vyvolat z hlavní nabídky

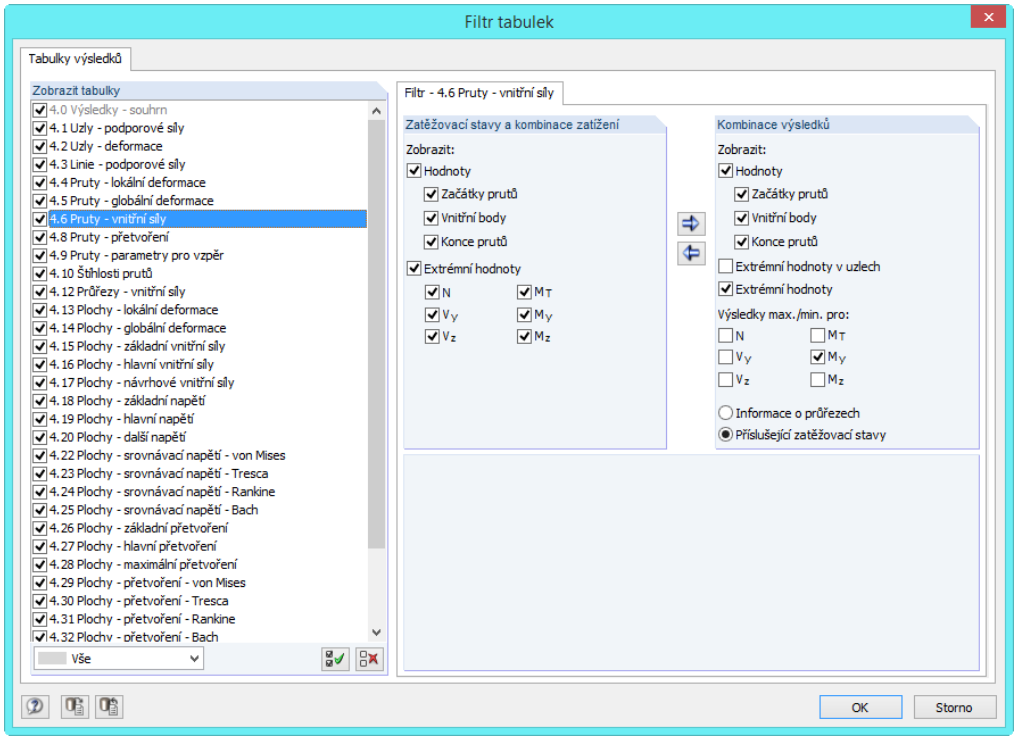
Tabulka → Zobrazit → Filtr výsledků...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek.



Obrázek 11.121 Tlačítko *Filtr výsledků...*

Otevře se následující dialog:



Obrázek 11.122 Dialog *Filtr tabulek*

V sekci *Zobrazit tabulky* vybereme požadovanou výstupní tabulku. V záložce vpravo pak nastavíme, které hodnoty se mají zobrazit.

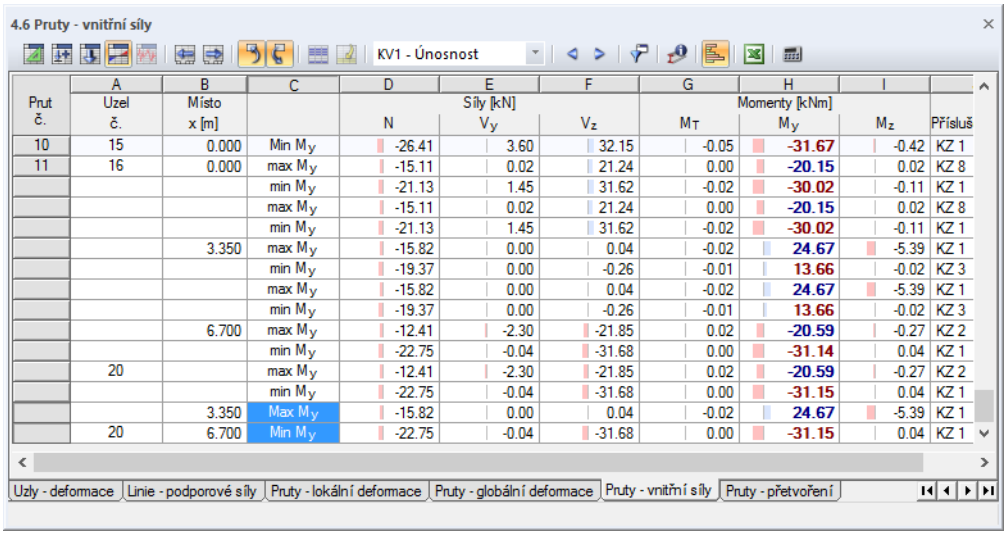
U vnitřních sil prutů je možné pro zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků samostatně definovat, zda se hodnoty pro *začátky prutů* a *konce prutů* (hodnoty v uzlech), pro *vnitřní body* (místa x uživatelského dělení prutu, viz kapitola 4.16) a pro *extrémní hodnoty* prutů zobrazí v tabulce. Typ vnitřních sil pro extrémní hodnoty lze zadat pomocí šesti zaškrtávacích políček.

V případě kombinací výsledků se pak zobrazí pro každé místo dvě hodnoty - minimální a maximální hodnota vybraných vnitřních sil.

Pomocí vlevo znázorněných tlačítek lze nastavené filtry převést z jedné sekce do druhé.

Příklad

Pro prut dlouhý 6,7 m bylo definováno dělení prutu se dvěma vnitřními body. Po nastavení filtrů pro kombinace výsledků podle obr. 11.122 bude výstupní tabulka 4.6 *Pruty — vnitřní síly* vypadat následovně:



Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN] N	Síly [kN] V_y	Síly [kN] V_z	Momenty [kNm] M_T	Momenty [kNm] M_y	Momenty [kNm] M_z	Přísluš
10	15	0.000	Min M_y	-26.41	3.60	32.15	-0.05	-31.67	-0.42	KZ 1
11	16	0.000	max M_y	-15.11	0.02	21.24	0.00	-20.15	0.02	KZ 8
			min M_y	-21.13	1.45	31.62	-0.02	-30.02	-0.11	KZ 1
			max M_y	-15.11	0.02	21.24	0.00	-20.15	0.02	KZ 8
			min M_y	-21.13	1.45	31.62	-0.02	-30.02	-0.11	KZ 1
		3.350	max M_y	-15.82	0.00	0.04	-0.02	24.67	-5.39	KZ 1
			min M_y	-19.37	0.00	-0.26	-0.01	13.66	-0.02	KZ 3
			max M_y	-15.82	0.00	0.04	-0.02	24.67	-5.39	KZ 1
			min M_y	-19.37	0.00	-0.26	-0.01	13.66	-0.02	KZ 3
		6.700	max M_y	-12.41	-2.30	-21.85	0.02	-20.59	-0.27	KZ 2
			min M_y	-22.75	-0.04	-31.68	0.00	-31.14	0.04	KZ 1
	20		max M_y	-12.41	-2.30	-21.85	0.02	-20.59	-0.27	KZ 2
			min M_y	-22.75	-0.04	-31.68	0.00	-31.15	0.04	KZ 1
		3.350	Max M_y	-15.82	0.00	0.04	-0.02	24.67	-5.39	KZ 1
	20	6.700	Min M_y	-22.75	-0.04	-31.68	0.00	-31.15	0.04	KZ 1

Obrázek 11.123 Výsledky filtrované podle hodnot v uzlech, ve vnitřních bodech a podle extrémních hodnot M_y

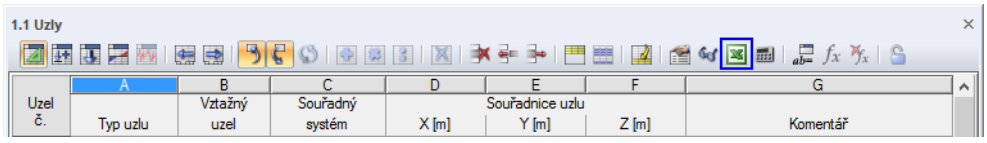
Ve sloupci H se tučně zobrazí vždy maximální a minimální ohybové momenty **M_y** na uzlech, ve vnitřních bodech a na místech s absolutními extrémními hodnotami. Absolutní extrémní hodnoty se zobrazí na konci seznamu hodnot pro daný prut s velkým počátečním písmenem jako *Max* M_y a *Min* M_y (na obrázku výše jsou tyto hodnoty vyznačeny). V ostatních sloupcích se zobrazí příslušné vnitřní síly.

11.5.6 Import a export tabulek

Tabulku ve formátu MS Excel lze importovat přímo do aktuální tabulky v RFEMu. Aplikace Excel nebo Calc musí přitom běžet na pozadí. A opačně lze celou aktuální tabulku z RFEMu, popř. její část uložit do tabulky v Excelu.

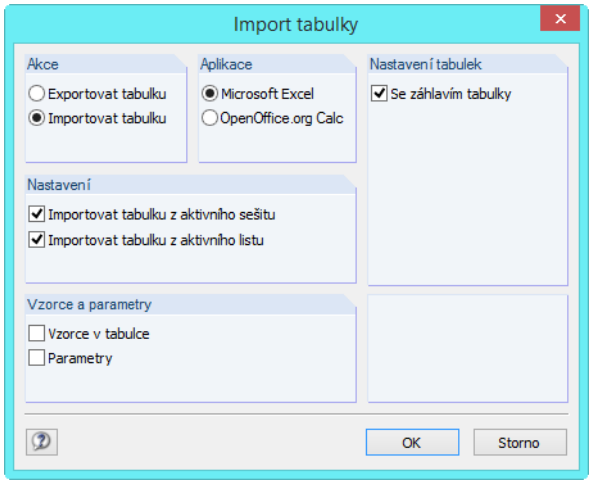
Vyvolání funkce pro import a export

Tuto funkci vyvoláme kliknutím na tlačítko [Export/import tabulky] v panelu nástrojů v okně tabulek.

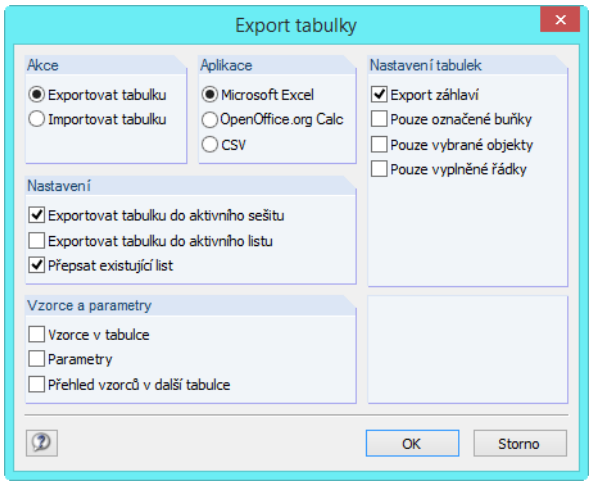


Obrázek 11.124 Tlačítko *Export/import tabulky* v panelu nástrojů v okně tabulek

Otevře se dialog, v jehož první sekci vybereme buď možnost *Exportovat tabulku* nebo *Importovat tabulku* (viz následující obrázky).



Obrázek 11.125 Dialog *Import tabulky*



Obrázek 11.126 Dialog *Export tabulky*

Import tabulky

Před importem je třeba otevřít pracovní sešit Excel. Pokud mají listy nadpisy, aktivujeme políčko *Se záhlavím tabulky*. Do RFEMu se pak převede pouze tabulka bez záhlaví.

V sekci *Aplikace* můžeme pak vybrat pouze tabulkový program MS Excel.

V sekci *Nastavení* lze určit, zda se načte celý aktivní sešit nebo pouze aktivní list. Při importu celého sešitu musí pořadí a uspořádání listů zcela odpovídat tabulkám v RFEMu.

V sekci *Vzorce a parametry* lze stanovit, zda budou při datové výměně mezi RFEMem a Excelem převedeny i uložené vzorce.

Import spustíme kliknutím na tlačítko [OK].

Pokud chceme importovat pouze část listu, označíme daný blok v tabulce a zkopírujeme ho do schránky pomocí kláves [Ctrl]+[C]. Následně umístíme kurzor do příslušné buňky v tabulce v RFEMu a stisknutím kláves [Ctrl]+[V] vložíme obsah ze schránky.

Export tabulky

Při exportu tabulek z RFEMu nemusí být aplikace Excel otevřena na pozadí.

V sekci *Aplikace* můžeme pak vybrat tabulkový program MS Excel. Dále pak máme možnost vytvořit soubor v obecném tabulkovém formátu CSV (viz kapitola 4.13).

V sekci *Nastavení tabulek* lze určit, zda se má tabulka exportovat i se záhlavím. Pokud příslušné políčko zaškrtneme, bude výsledek exportu do Excelu vypadat následovně:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Uzel		Vztažný	Souřadný	Souřadnice uzlu			
2	č.	Typ uzlu	uzel	systém	X [m]	Y [m]	Z [m]	Komentář
3	1	Standard	0	Kartézský	0,000	0,000	0,000	
4	2	Standard	0	Kartézský	0,000	6,000	0,000	
5	3	Standard	0	Kartézský	7,000	6,000	0,000	
6	4	Standard	0	Kartézský	7,000	0,000	0,000	
7	5	Standard	0	Kartézský	10,000	3,000	0,000	
8	6	Standard	0	Kartézský	7,000	6,000	4,000	
9	7	Standard	0	Kartézský	7,000	0,000	4,000	
10	8	Standard	0	Kartézský	10,000	3,000	4,000	
11	9	Standard	0	Kartézský	3,000	1,000	0,000	
12	10	Standard	0	Kartézský	3,000	2,000	0,000	
13	11	Standard	0	Kartézský	5,500	2,000	0,000	
14	12	Standard	0	Kartézský	5,500	1,000	0,000	
15	13	Standard	0	Kartézský	0,000	6,000	4,000	Podepřen
16	14	Standard	0	Kartézský	0,000	0,000	4,000	Podepřen
17	15	Standard	0	Kartézský	0,000	0,000	-3,000	

Obrázek 11.127 Tabulka Excel s exportovaným záhlavím

Pokud toto políčko neoznačíme, bude do Excelu převeden pouze obsah tabulky.

Volba *Pouze označené buňky* umožňuje exportovat jen vybrané části tabulky (viz kapitola 11.5.2).

Pokud označíme políčko *Pouze vybrané objekty*, exportují se vstupní data či výsledky z vybraných čísel řádků. Výběr je snazší, jestliže aktivujeme synchronizaci výběru mezi grafickým znázorněním a tabulkou (viz kapitola 11.5.4).

Pokud si nepřejeme exportovat prázdné řádky v tabulce, označíme políčko *Pouze vyplněné řádky*.

V sekci *Nastavení* lze určit, zda se má tabulka exportovat do aktuálního sešitu (pokud máme Excel nebo Calc právě otevřen). Jestliže toto políčko nezaškrtneme, vytvoří se nový sešit. Totéž platí pro volbu *Exportovat tabulku do aktivního listu*: pokud políčko zaškrtneme, uloží se tabulka do aktuálního listu, resp. ho přepíše. Pokud aktivujeme políčko *Přepsat existující list*, vyhledá program v pracovním sešitu tabulku se stejným názvem jako v RFEMu a tu přepíše.

V sekci *Vzorce a parametry* můžeme stanovit, zda se mají exportovat také vzorce uložené v RFEMu.

Export aktuálně otevřené tabulky v RFEMu spustíme kliknutím na tlačítko [OK].

Pokud chceme do Excelu převést několik tabulek najednou, doporučujeme vybrat v hlavní nabídce příkaz **Soubor → Exportovat...** (viz kapitola 12.5.2). Příslušné tabulky je potom možné vybrat v dialogu.

11.6 Parametrické zadávání

11.6.1 Koncept

Parametrické zadávání umožňuje definovat údaje o konstrukci a zatížení v závislosti na určitých proměnných hodnotách. Tyto proměnné (např. délka, šířka, provozní zatížení atd.) označujeme jako „parametry“. Ukládají se do **seznamu parametrů**.

Parametry lze použít ve vzorcích pro výpočet konečných hodnot. Vzorce zpracovává **editor vzorců**. Pokud bude v seznamu parametrů změněn některý parametr, upraví se i výsledek všech vzorců, které daný parametr obsahují.

Parametrické zadávání je velmi výhodné, pokud očekáváme, že v projektu nastane řada změn. Uložené vzorce zajišťují lepší přehlednost v případě rozsáhlých konstrukcí a lze je snadno překontrolovat. Parametrické zadávání lze samozřejmě doporučit i při opakovaném zpracování velmi podobných konstrukcí. V takovém případě stačí načíst vzorovou úlohu a upravit parametry.

Tento technický článek popisuje, jak lze zatížení na plochu aplikovat při parametrizaci:
https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000922

Polotuhé spojení mezi plochami lze zohlednit pomocí liniových kloubů a liniových uvolnění.

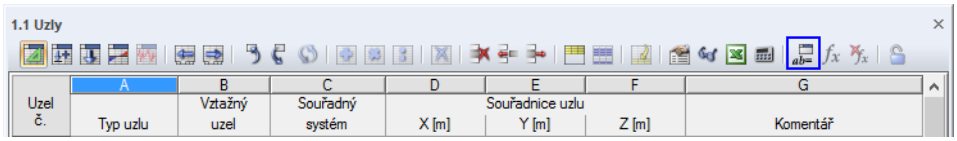
11.6.2 Seznam parametrů

Všechny parametry, které potřebujeme pro modelování konstrukce, se ukládají do seznamu parametrů.

Vyvolání seznamu parametrů

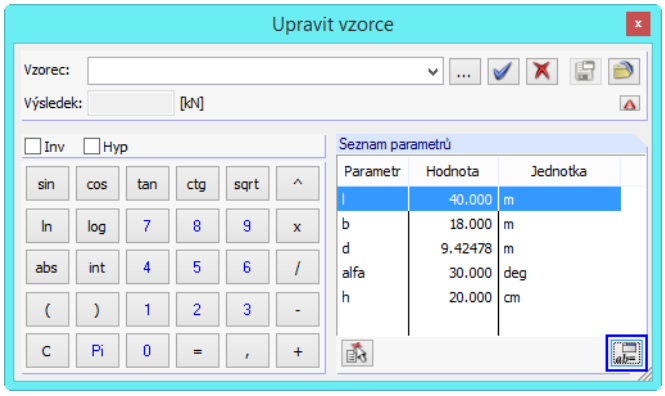
Seznam parametrů otevřeme kliknutím na tlačítko [Upravit parametry]

- v panelu nástrojů v okně vstupních tabulek



Obrázek 11.128 Tlačítko *Upravit parametry* v panelu nástrojů v okně tabulek

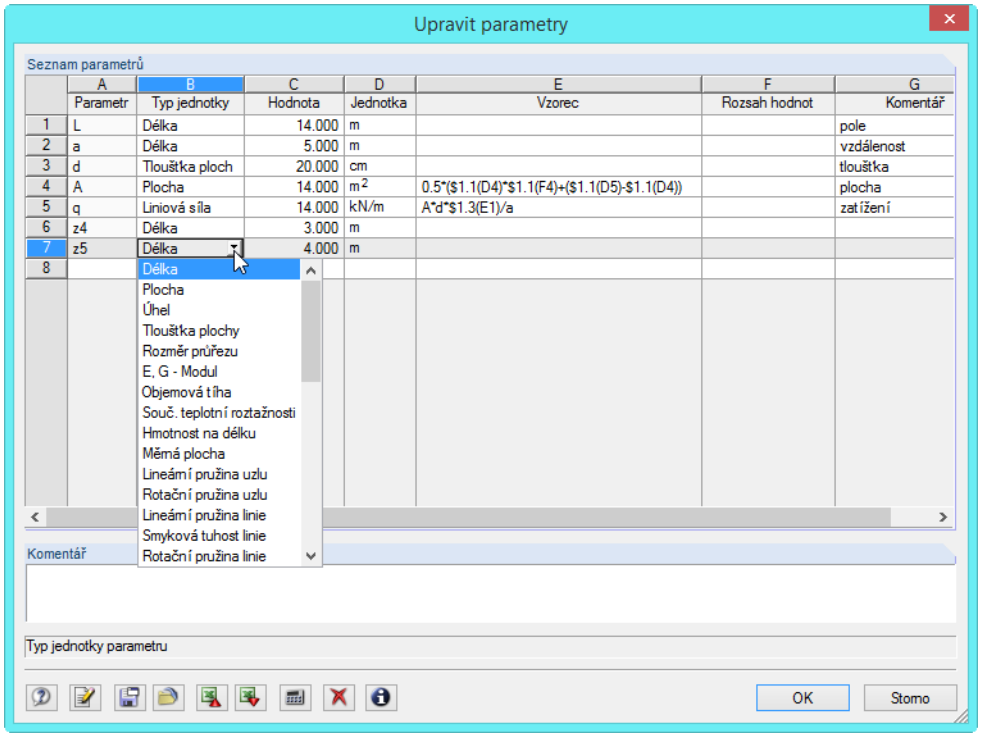
- v editoru vzorců



Obrázek 11.129 Tlačítko *Upravit parametry* ... v editoru vzorců

Popis

Zobrazí se dialog *Upravit parametry*.



Obrázek 11.130 Dialog *Upravit parametry*

V každém řádku tabulky se definuje jeden *parametr*. Ve sloupci **A** se zadá název parametru, který musí sestávat ze znaků ASCII a nesmí obsahovat mezeru. Podle názvu se pak parametry vyhledávají ve vzorcích. Každý název můžeme zadat pouze jednou.

Ve sloupci **B** se určí *typ jednotky*, tzn. zda se jedná o parametr délky, zatížení, objemové tíhy apod. Typy jednotek jsou již předem pevně dané. Jejich seznam otevřeme kliknutím na tlačítko na konci vstupních polí v tomto sloupci nebo stisknutím klávesy [F7].

Ve sloupci **C** zadáme číselnou *hodnotu* parametru.

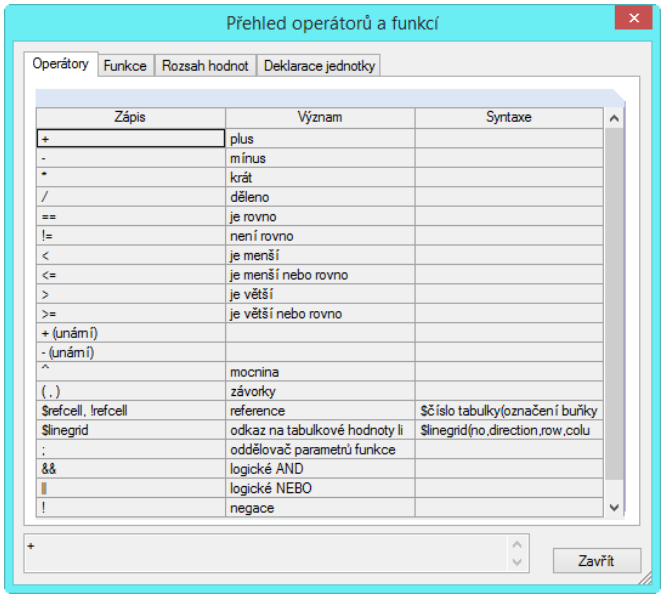
Jednotku uvedeme ve sloupci **D**. Seznam jednotek otevřeme kliknutím na tlačítko na konci vstupních polí v tomto sloupci nebo stisknutím klávesy [F7].

Ve sloupci **E** lze pro každý parametr zadat *vzorec*. Kromě běžných matematických operací lze použít i pravděpodobnostní definice pomocí **If** a také funkce **max**/**min**. Pomocí příkazu **$** lze zadat odkaz na určitou tabulku (například **$1.1(A1)** používá hodnotu z buňky *A1* z tabulky *1.1*).

Příklady

if(A<B;10;B)	Pokud je parametr A menší než parametr B, dosadí se hodnota 10. V opačném případě se použije parametr B.
max(A;B)	Z parametrů A a B se použije větší hodnota.
min(max(A;B);C)	Z parametrů A a B se vybere větší hodnota. Tato hodnota bude následně porovnána s hodnotou parametru C. Menší hodnota se pak použije.

Pomocí tlačítka ve sloupci E otevřeme *přehled operátorů a funkcí*.



Obrázek 11.131 Dialog *Přehled operátorů a funkcí*

Ve sloupci **F** lze zadat *rozsah* pro hodnoty ve sloupci C.

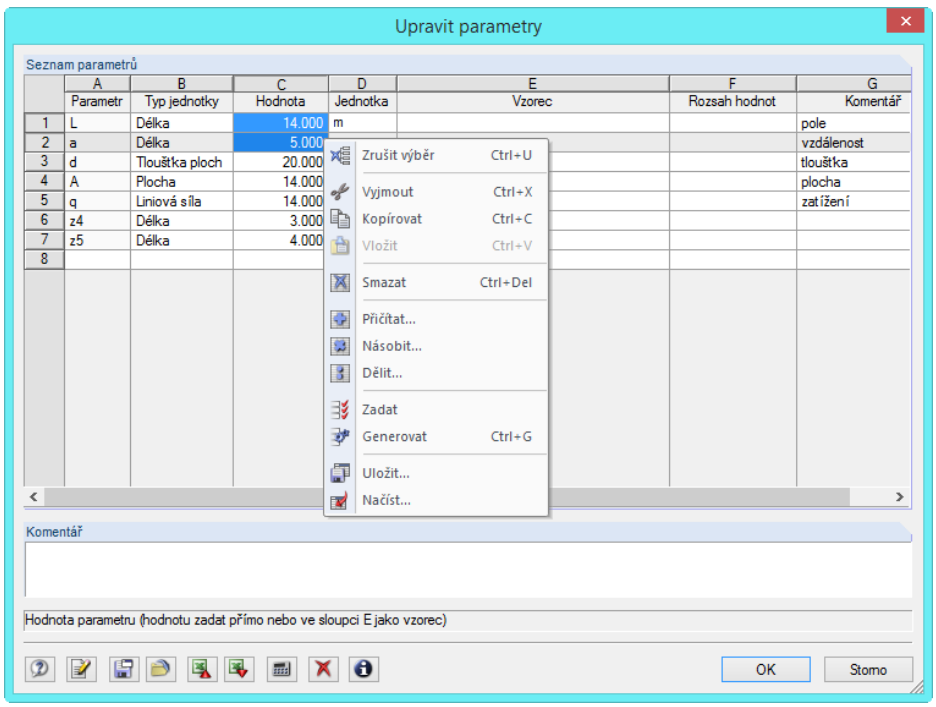
Ve sloupci **G** lze uvést libovolný *komentář*.

Funkce pro zadávání

Při definici parametrů lze postupovat buňku po buňce.

K racionálnímu zadávání má uživatel k dispozici různé nástroje, které lze vyvolat kliknutím pravým tlačítkem myši na buňku v tabulce. Tyto editační funkce (vyprázdnění nebo doplnění řádku, nahrazení atd.) popisujeme v kapitole 11.5.1.

Pokud jsme vybrali několik buněk jako blok, otevře se následující místní nabídka:



Obrázek 11.132 Místní nabídka výběru v seznamu parametrů

Funkce, které obsahuje, popisujeme v kapitolách 11.5.1 a 11.5.2.

Tlačítka

V seznamu parametrů jsou kromě standardních tlačítek k dispozici následující funkce:

Tlačítko	Popis
	Seznam parametrů se uloží do souboru.
	Uložený seznam parametrů se načte.
	Seznam parametrů se exportuje do MS Excelu.
	Importují se údaje z právě otevřené tabulky v Excelu.
	Vyvolá se kalkulačka a výsledná hodnota se převezme do aktuální buňky.
	Celý obsah seznamu parametrů se smaže.
	Zobrazí se podrobné informace o průřezech v daném modelu.

Tabulka 11.12 Tlačítka v dialogu *Upravit parametry*

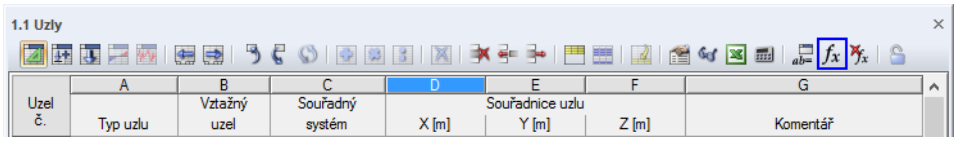
11.6.3 Editor vzorců

V editoru vzorců lze zapisovat rovnice pro parametrické zadávání hodnot.

Vyvolání editoru vzorců

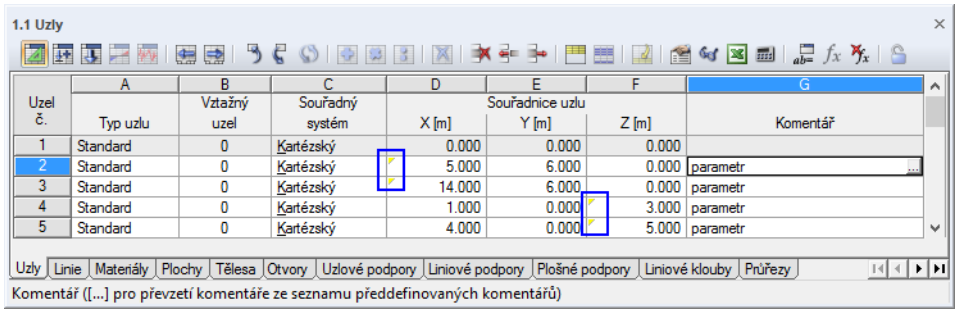
Editor vzorců lze vyvolat

- kliknutím na tlačítko v panelu nástrojů v okně tabulek



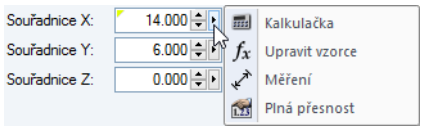
Obrázek 11.133 Tlačítko *Upravit vzorce* v panelu nástrojů v okně tabulek

- kliknutím na žlutý nebo červený roh v buňce tabulky (červený roh poukazuje na chybu ve vzorci) nebo



Obrázek 11.134 Vyznačené rohy buněk v tabulce 1.1 *Uzly*

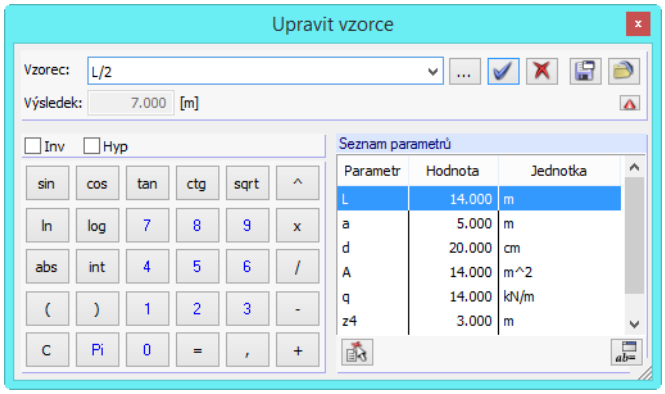
- kliknutím na tlačítka vedle vstupních polí v dialozích (viz obr. 11.139).



Obrázek 11.135 Tlačítka s místní nabídkou v dialogu *Upravit uzel*

Vzorce lze také importovat z Excelu. A naopak vzorce z RFEMu je možné exportovat do Excelu. Další informace k datové výměně mezi RFEMem a Excelem najdeme v kapitole 12.5.2 .

Popis



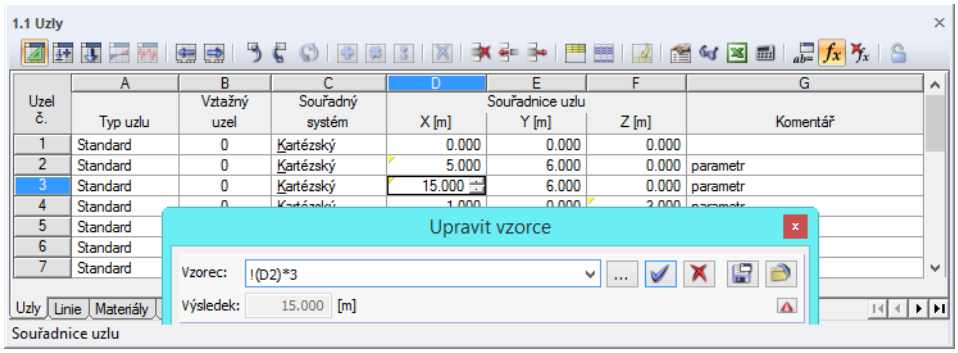
Obrázek 11.136 Dialog *Upravit vzorce*

V poli *Vzorec* lze ručně zadat libovolný vzorec. Pokud použijeme kalkulačku, výsledek se automaticky převezme.

Vzorec může obsahovat konstantní číselné hodnoty, parametry nebo funkce. Výsledek rovnice se okamžitě zobrazí v poli níže. Pomocí tlačítka na konci vstupního pole *Vzorec* otevřeme seznam všech dosud zadaných vzorců. Některý z nich můžeme vybrat a opětovně použít.

Kliknutím na tlačítko lze vzorec převzít do buňky v tabulce nebo do vstupního pole v dialogu. Tlačítko slouží ke smazání vzorce ve vstupním poli. Pokud je vzorec zadán chybně, vyznačí se

Do vzorců lze zahrnout i hodnoty v jiných buňkách.



Obrázek 11.137 Vzorec s odkazem na jinou buňku

Odkaz na jinou buňku začíná vykřičníkem, referenční buňka je vložena do závorky. Na obrázku výše vidíme příklad, kdy hodnota buňky **D3** odpovídá trojnásobku hodnoty v buňce **D2**.

Vzorce lze také vkládat přímo do buněk tabulky s rovnítkem na začátku (např. =2,5*PI). Pokud vzorec obsahuje hodnoty (např. =**22,1**+A*H), pak jsou uvedeny v jednotkách SI [m, N].

Kalkulačka v editoru vzorců nabízí následující funkce:

Funkce	Popis
sin	Sinus
cos	Kosinus
tan	Tangens
ctg	Kotangens
sqrt	Odmocnina
^	Mocnina
ln	Přirozený logaritmus
log	Dekadický logaritmus
abs	Absolutní hodnota
int	Celočíselná část, např. int(5.638) = 5
C	Smazání vzorce ve vstupním poli
Inv	Inverzní funkce, např. inv√(5) znamená 5^2
Hyp	Hyperbolická funkce

Tabulka 11.13 Funkce kalkulačky

Sekce *Seznam parametrů* v editoru vzorců obsahuje všechny parametry s aktuálními hodnotami. Do pole se vzorcem lze určitý parametr převzít tak, že na něj dvakrát klikneme nebo ho vybereme a klikneme na tlačítko [Použít vybraný parametr do vzorce].

Tlačítkem [Upravit parametry...] lze vyvolat seznam parametrů (viz kapitola 11.6.2), ve kterém můžeme parametry upravovat nebo doplňovat.

Tlačítka

Tlačítka v editoru vzorců mají následující funkce:

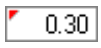
Tlačítko	Popis
	Vzorec se převezme do buňky v tabulce nebo do vstupního pole v dialogu.
	Vzorec ve vstupním poli se smaže.
	Obsah editoru vzorců se uloží jako soubor.
	Uložený soubor se načte.
	Kalkulačka a seznam parametrů se skryje nebo zobrazí.

Tabulka 11.14 Tlačítka v dialogu *Upravit vzorec*

11.6.4 Vzorce v tabulkách a dialozích

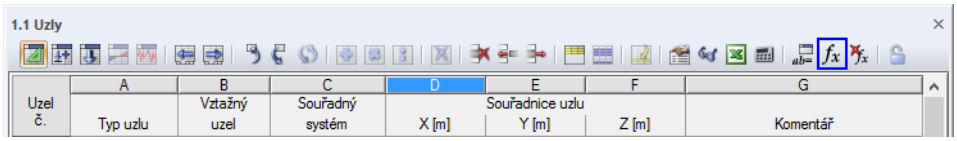
Rovnice zapsané do editoru vzorců lze ihned převzít do buněk v tabulce nebo také do příslušných vstupních polí v dialozích. Vzhledem k interakci mezi tabulkami a dialogy jsou vzorce přístupné v obou zadávacích režimech.

Vzorce v tabulkách



Pokud mají buňky v levém horním rohu žlutý nebo červený trojúhelník, je hodnota buňky dána vzorcem (viz obr. 11.134). Kliknutím na tento trojúhelník otevřeme editor vzorců.

Pokud chceme vzorec zadat do nové buňky, umístíme kurzor do této buňky a kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů vyvoláme editor vzorců.



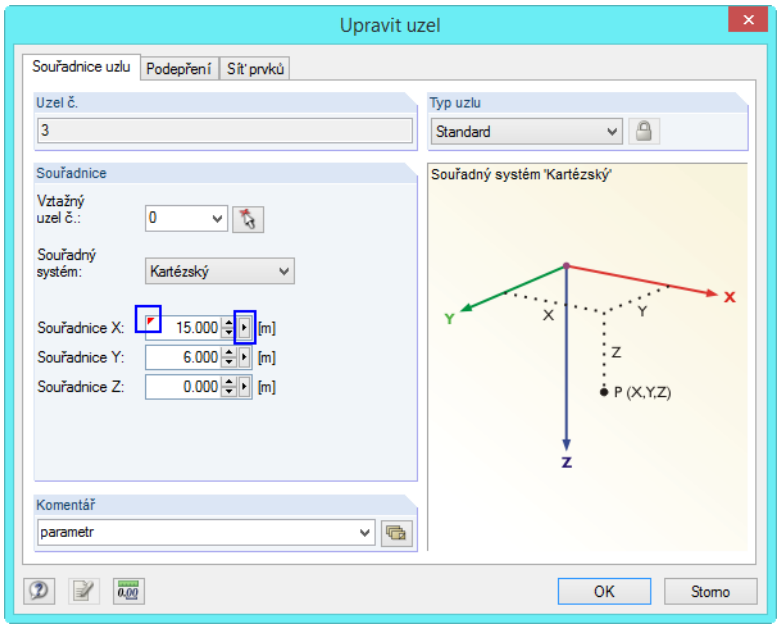
Obrázek 11.138 Tlačítko *Upravit vzorec* v panelu nástrojů v okně tabulek

Pokud je trojúhelník červený, znamená to, že ve vzorci je chyba. Odpovídá červeně označenému řádku se vzorcem v editoru vzorců. V takovém případě je třeba vzorec opravit.

Vzorce v dialozích

Parametrické zadání je v první řadě určeno pro zadávání hodnot v tabulkách. Vzorce lze ovšem použít i při zadávání v dialozích.

Pokud lze hodnotu ve vstupním poli v dialogu zadat pomocí vzorce, nachází se vpravo vedle vstupního pole příslušné funkční tlačítko.



Obrázek 11.139 Tlačítko k vyvolání editoru vzorců v dialogu

Pokud je již ve vstupním poli vzorec uložen, je toto pole označeno stejně jako buňka v tabulce žlutým (nebo v případě chybného zadání červeným) trojúhelníkem.

Kliknutím na tlačítko se otevře místní nabídka zobrazená na obr. 11.135. V této nabídce je možné potom vyvolat editor vzorců.

11.7 Generátory modelu

RFEM nabízí různé nástroje pro rychlé vytváření modelů konstrukcí nebo jejich částí. Kromě funkcí pro kopírování a tažení objektů jsou k dispozici speciální dialogy pro generování prutových a plošných konstrukcí.

11.7.1 Kopírování a tažení objektů

11.7.1.1 Vytvoření linií a prutů pomocí ekvidistanty

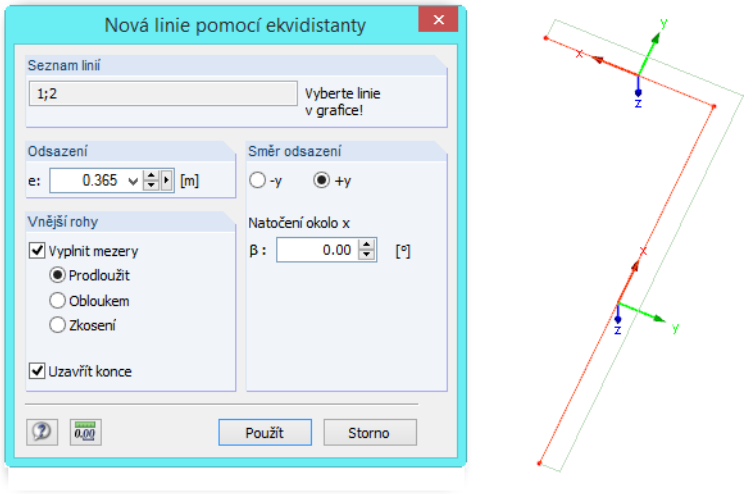
Vybrané linie či pruty lze jednoduše graficky kopírovat tak, že je při současném stisknutí klávesy [Ctrl] přesuneme na požadované místo. Tato funkce odpovídá běžným standardům OS Windows.

Ve zvláštním dialogu pak máme ovšem další možnost vytvářet rovnoběžné linie, resp. pruty. Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Nová linie pomocí ekvidistanty..., resp.

Nástroje ⟶ Nový prut pomocí ekvidistanty...

nebo z místní nabídky linie, resp. prutu (viz obr. 11.149).



Obrázek 11.140 Dialog *Nová linie pomocí ekvidistanty*

Vybraná linie se zobrazí v *seznamu linií*. V případě potřeby lze do seznamu přidat další linie tak, že na ně klikneme v grafickém okně. Přitom je třeba dbát na to, aby všechny linie ze seznamu ležely v jedné rovině.

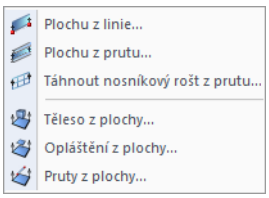
V sekci *Odsazení* stanovíme vzdálenost kopie od původní linie nebo prutu.

Pokud budeme vytvářet pomocí ekvidistanty několik linií, pak máme v sekci *Vnější rohy* několik možností, jak zkopírované linie doupravit. Na obrázku výše jsme zkopírované linie (znázorněny bez os) prodloužily do společného průsečíku. Oba koncové body jsme dále pomocí volby *Uzavřít konce* spojily s původními liniemi.

V sekci *Směr odsazení* lze stanovit, na kterou stranu se linie zkopírují. Směry +y a −y se zobrazí přímo v grafickém okně. Používají se speciálně pro tento dialog nezávisle na aktuálně nastavené pracovní rovině a nemusí bezpodmínečně odpovídat osám linie. Políčko níže *Natočení okolo x* umožňuje kopírovat linie, resp. pruty vně dané roviny.

11.7.1.2 Tažení linií a prutů

Tato funkce umožňuje jednoduše vytvářet plochy, mřížky nebo nosníkové rošty jejich tažením z linií nebo z prutů. Pokud chceme ovšem vytvořit nepravidelný nosníkový rošt, doporučujeme použít pro detailní nastavení dialog *Generovat nosníkový rošt* (viz kapitola 11.7.2).



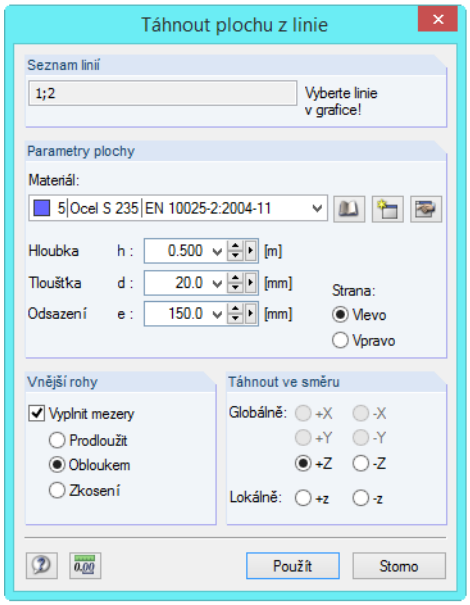
Nabídka *Táhnout*

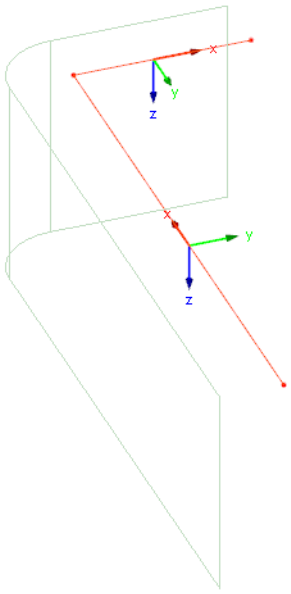
Funkci pro tažení objektů z linií nebo prutů vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje → Táhnout.

Alternativně je možné použít místní nabídku linie resp. prutu.

Tažení plochy z linie / prutu





Obrázek 11.141 Dialog *Táhnout plochu z linie*

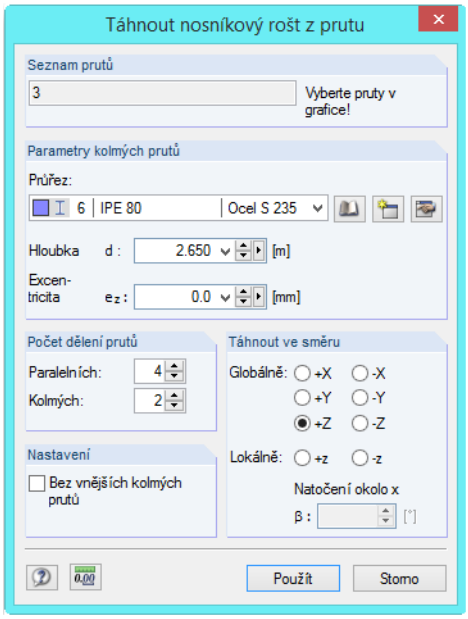
Vybraná linie se zobrazí v *seznamu linií*. V případě potřeby lze do seznamu přidat další linie tak, že na ně klikneme v grafickém okně. Přitom je třeba dbát na to, aby všechny linie ze seznamu ležely v jedné rovině.

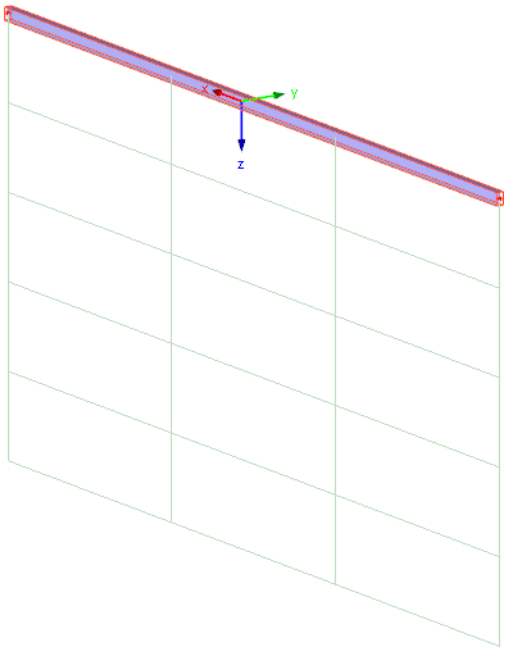
V sekci *Parametry plochy* zadáme materiál, hloubku a tloušťku nové plochy. Pokud zadáme *odsazení*, vytvoří se plocha v bočním odstupu ve stanoveném směru tažení. Je přitom třeba zadat příslušnou *stranu*. Změna parametrů se okamžitě projeví v grafickém okně.

Pokud budeme táhnout plochu z několika linií, pak máme v sekci *Vnější rohy* několik možností, jak výsledek doupravit. Na obrázku výše jsme tažené, odsazené linie (znázorněny bez os) spojili obloukem.

V sekci *Táhnout ve směru* uvedeme globální nebo lokální směr tažení. Směr se zobrazí v grafickém okně. Používá se speciálně pro tento dialog a je nezávislý na aktuální pracovní rovině.

Tažení nosníkového roštu z prutu





Obrázek 11.142 Dialog *Táhnout nosníkový rošt z prutu*

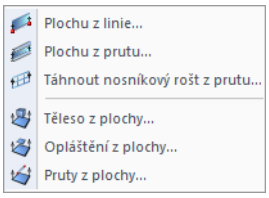
Vybraný prut se zobrazí v *seznamu prutů*. V případě potřeby lze do seznamu přidat další pruty tak, že na ně klikneme v grafickém okně. Přitom je třeba dbát na to, aby všechny pruty ze seznamu ležely v jedné rovině.

V sekci *Parametry kolmých prutů* je třeba zadat průřez kolmých prutů a hloubku jako celkovou výšku roštu. Můžeme také stanovit excentricitu pro excentrické připojení prutů (viz kapitola 4.15).

V závislosti na údajích v sekci *Počet dělení prutů* se vytvoří pravidelná mřížka z rovnoběžných a kolmých prutů. V sekci *Nastavení* lze dále z generování vyloučit vnější kolmé pruty.

V sekci *Táhnout ve směru* uvedeme globální, resp. lokální směr, v kterém se pruty v nosníkovém roštu vytvoří. Směr se zobrazí v grafickém okně. Používá se speciálně pro tento dialog a je nezávislý na aktuální pracovní rovině. Políčko *Natočení okolo x* umožňuje kopírovat vně dané roviny.

11.7.1.3 Tažení z plochy



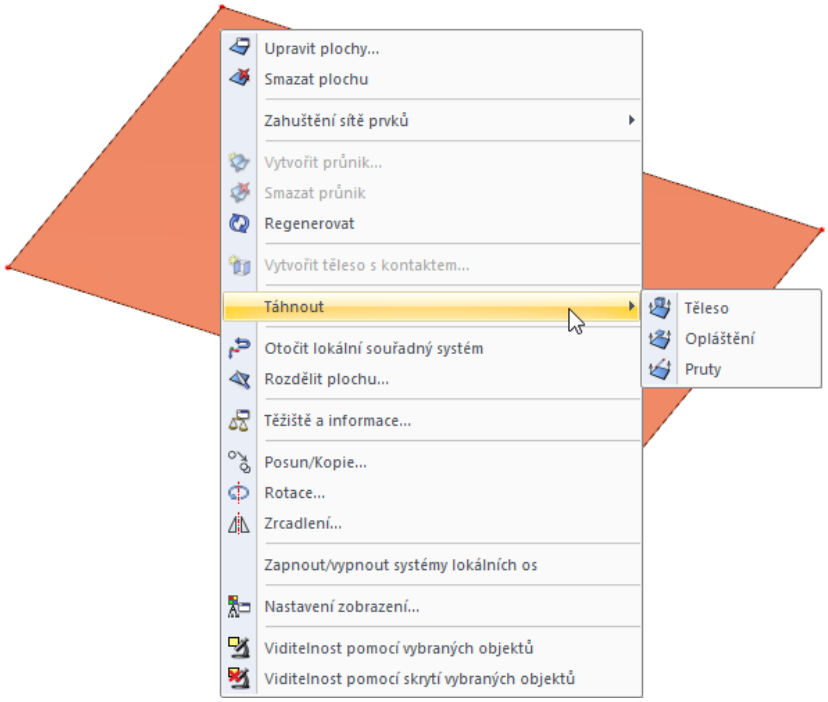
Nabídka *Táhnout*

Pomocí této funkce lze z rovinných ploch jednoduše vytvořit prostorová tělesa.

Funkci spustíme pomocí jedné z podpoložek v hlavní nabídce

Nástroje ⟶ Táhnout.

Alternativně je možné použít místní nabídku plochy.

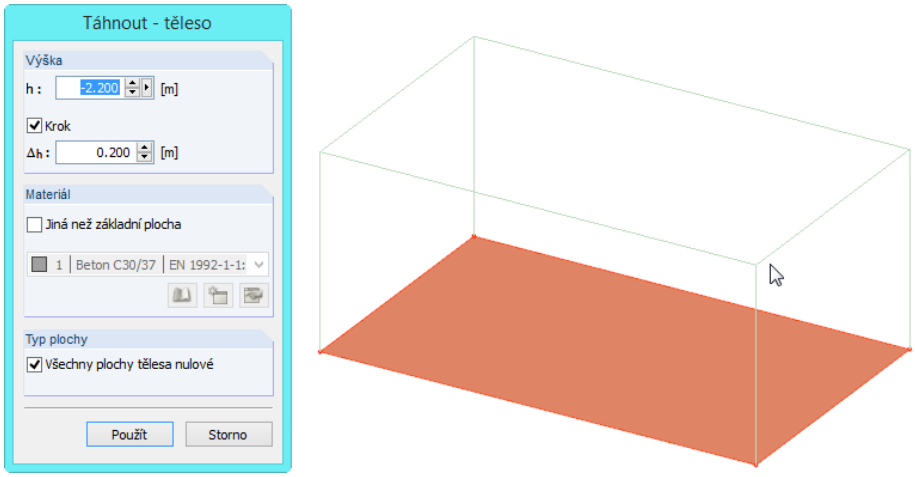


Obrázek 11.143 Místní nabídka plochy

Jednotlivé volby určují, jaké objekty se v prostoru tažením z plochy vytvoří:

- **Těleso**: vytvoří se 3D těleso (viz kapitola 4.5).
- **Obálka**: vygenerují se pouze plochy, které obklopují prostorové těleso.
- **Pruty**: na spojovacích liniích mezi uzly a jejich kopiemi se vytvoří pruty. Volitelně se zkopíruje základní plocha.

V závislosti na zvolené možnosti se zobrazí dialog, v němž stanovíme příslušné parametry. *Výšku d* zadáme přímo ručně nebo ji určíme myší v grafickém okně.



Obrázek 11.144 Dialog *Táhnout - těleso*

11.7.1.4 Generování tělesa

V předchozí kapitole popisujeme, jak lze k vytváření těles a opláštění využít již existující plochy. Pokud má ale vzniknout od základu nové těleso, můžeme použít speciální funkce, které nám program pro tvorbu 3D těles nabízí: nejdříve se vytvoří plochy (obdélník se zaoblenými rohy, půlkruh atd.). V

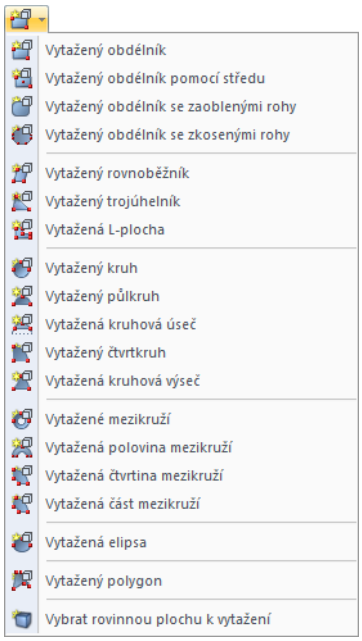
druhém kroku se pak tyto plochy vytáhnou do určitého bodu nebo roviny.

Tažení plochy do rovnoběžné roviny

Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Tělesa ⟶ Graficky... ⟶ Vytáhnout

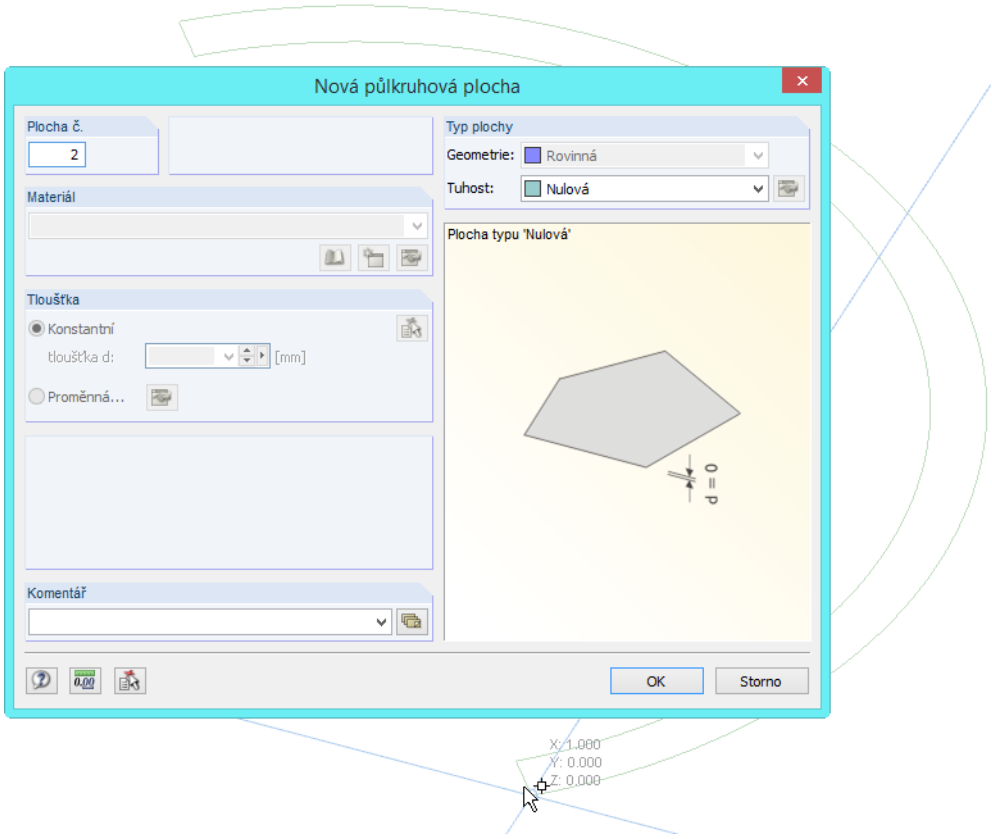
nebo pomocí příslušného tlačítka z rozbalovacího seznamu v panelu nástrojů.



Obrázek 11.145 Rozbalovací tlačítko *Vytažená plocha*

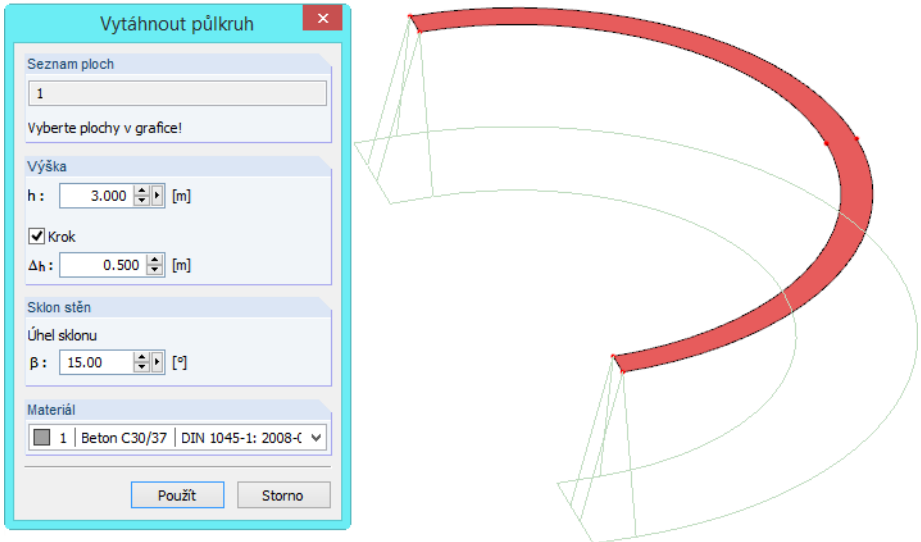
Nabídka obsahuje značný počet rovinných ploch různých tvarů, které lze zadat graficky a následně vytáhnout do rovnoběžné roviny.

Princip funkčně odpovídá grafickému zadání ploch (viz kapitola 4.4): nejdříve se otevře dialog, v němž je třeba stanovit materiál a tuhost. Poté můžeme v pracovním okně kliknout na příslušné body, a plochy tak vytvořit.



Obrázek 11.146 Dialog *Nová půlkruhová plocha* při grafickém zadání plochy

Jakmile zadáme základní plochu, je třeba stanovit parametry pro vytvoření tělesa v dialogu *Vytáhnout*.

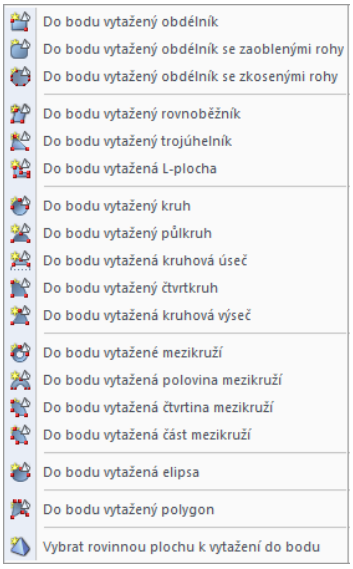


Obrázek 11.147 Dialog *Vytáhnout půlkruh* se šikmými bočními plochami

Výšku h zadáme přímo ručně v dialogu nebo ji určíme myší v grafickém okně. Směr promítání je vždy kolmý na rovinu základní plochy.

Sekce *Sklon stěn* uživateli umožňuje vytvořit rovnoběžnou krycí, resp. základní desku s nakloněnými bočními plochami. Úhel β udává sklon ke směru průmětu.

Nakonec je třeba uvést *materiál* nového tělesa.



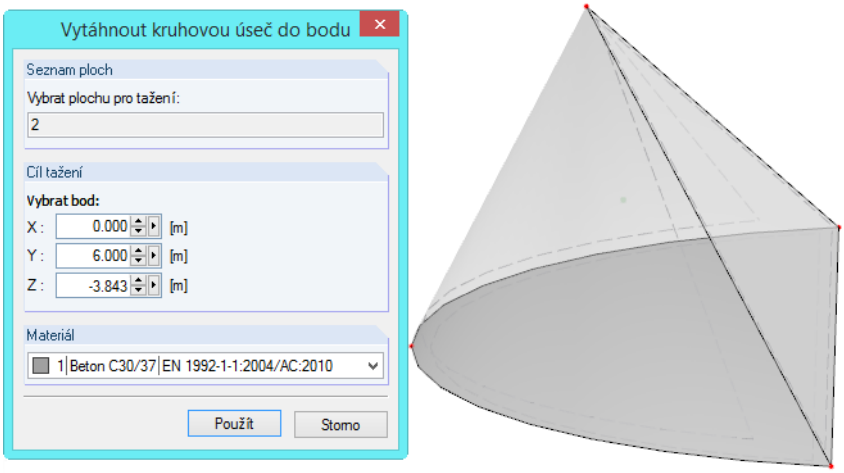
Vytažení plochy do bodu

Příslušnou funkci vyvoláme příkazem z hlavní nabídky

Vložit ⟶ Údaje o modelu ⟶ Tělesa ⟶ Graficky... ⟶ Vytáhnout do bodu.

Nabídka obsahuje značný počet rovinných ploch různých tvarů, které lze zadat graficky a následně vytáhnout do určitého bodu.

Princip funkčně odpovídá vytažení plochy do rovnoběžné roviny (viz výše): nejdříve zadáme v grafickém okně základní plochu. V dialogu *Vytáhnout* následně zadáme bod, do něhož bude plocha tažena, nebo ho stanovíme v grafickém okně.



Obrázek 11.148 Dialog *Vytáhnout kruhovou úseč do bodu* s výsledkem

11.7.1.5 Generování ploch z prutů

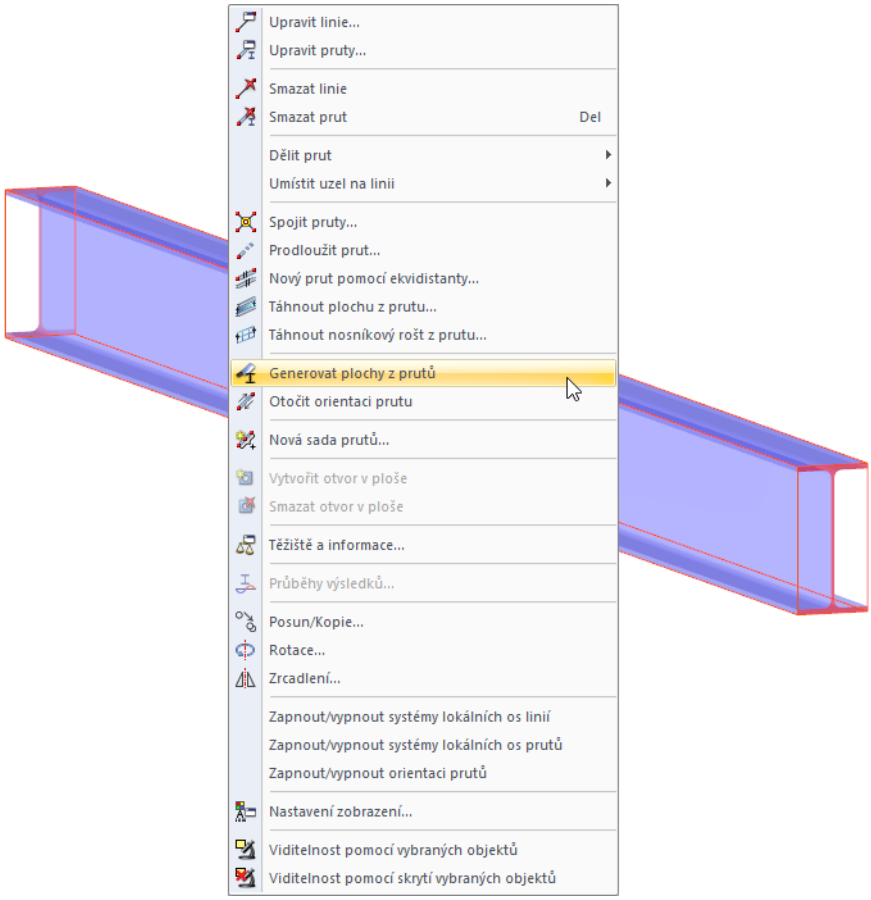
V určitých případech může uživatel potřebovat přesnější posouzení některých oblastí prutové konstrukce (např. vyhodnocení na podporách nebo analýzu rámového rohu jako plošného modelu). Zadat ručně profil v podobě plošných prvků je samozřejmě možné, ovšem relativně pracné. Proto doporučujeme v těchto případech použít funkci pro rozložení 1D prutového na 2D plošné prvky.

Tato funkce je k dispozici pouze v případě, že model konstrukce je typu 3D (viz obr. 12.23).

Vybereme daný prut a spustíme příslušnou funkci z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Generovat plochy z prutů ⟶ Generovat.

Tuto funkci najdeme i v místní nabídce prutu, kterou otevřeme kliknutím na prut pravým tlačítkem myši (viz obr. 11.149).

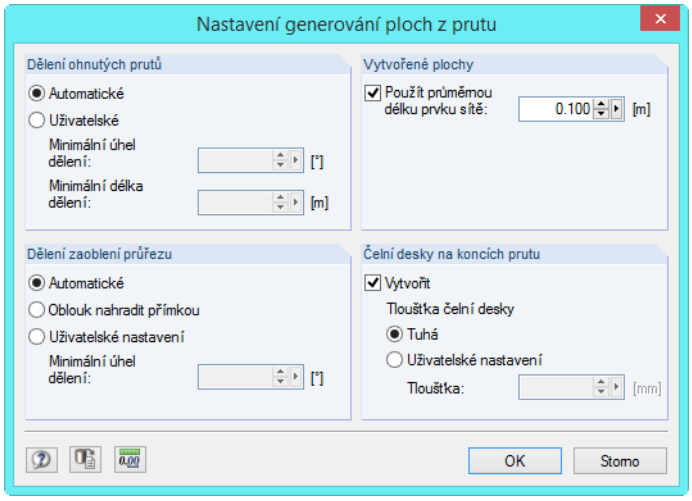


Obrázek 11.149 Místní nabídka prutu

Údaje o prutu se tím neztratí. Vedle ploch se v těžišťové ose vytvoří nulový prut, který obsahuje všechna data daného prutu, při výpočtu se ale nezohlední.

Funkce *Generovat plochy z prutů* nabízí i řadu dalších možností, které jsou přístupné z hlavní nabídky

Nástroje → Generovat plochy z prutů → Nastavení...



Obrázek 11.150 Dialog *Nastavení generování ploch z prutu*

V sekci *Dělení ohnutých prutů* určíme způsob dělení prutu ležícího na obloukové linii. Pokud při *automatickém* dělení vznikne velmi hrubý polygonový pořad, pak lze zmenšit *úhel dělení*, popř. *délku dělení*.

V sekci *Dělení zaoblení průřezu* se nastavuje dělení zakřivených ploch, např. u prutů s typem průřezu „Trubka“. I v tomto případě lze dělení zjemnit pomocí uživatelsky nastaveného úhlu dělení.

V sekci *Vytvořené plochy* se zadává zahuštění sítě prvků na generovaných plochách (viz kapitola 4.23).

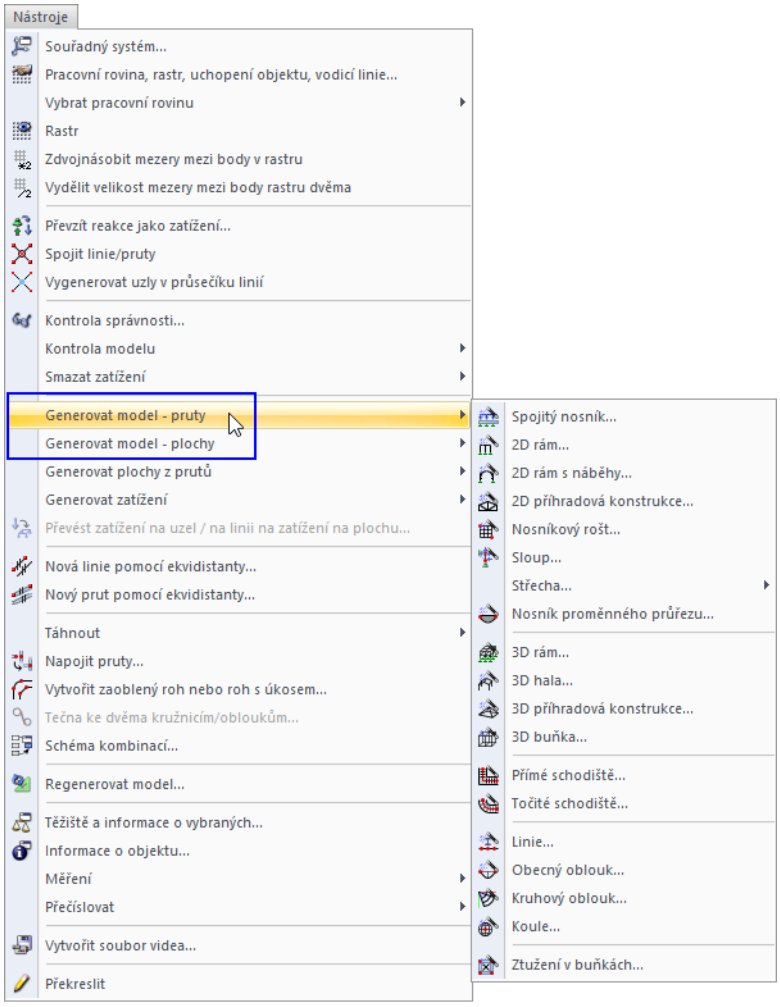
Při konverzi prutu na plochy lze navíc vytvořit *čelní desky na koncích prutu*. Vlastnosti těchto ploch lze dodatečně upravit v dialogu *Upravit plochu* (viz kapitola 4.12).

11.7.2 Generátory modelu

Dialogy, které slouží k vytváření konstrukčních prvků, lze vyvolat příkazem z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Generovat model - pruty, resp.

Nástroje ⟶ Generovat model - plochy.



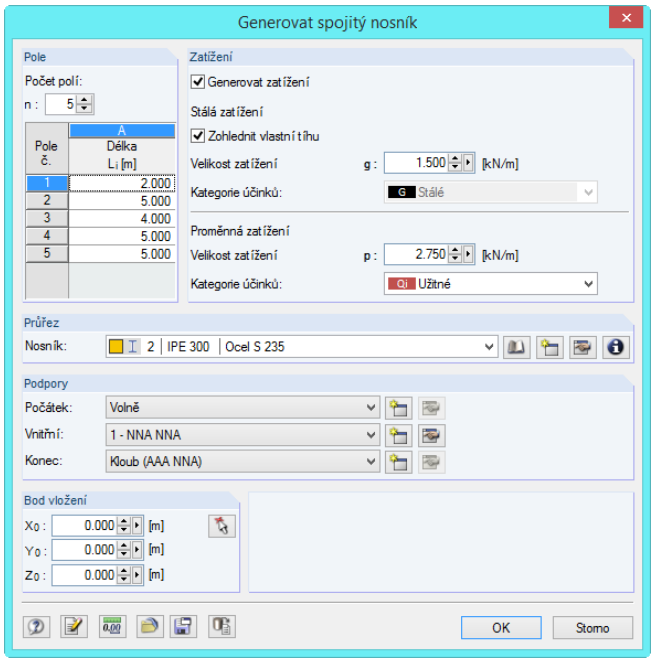
Obrázek 11.151 Hlavní nabídka Nástroje ⟶ Generovat model - *pruty*, resp. *plochy*

Jednotlivé funkce představíme postupně na následujících stránkách. Příslušné dialogy pro generování prvků přitom nebudeme podrobně popisovat, v grafickém zobrazení jsou totiž v těchto dialozích jednotlivé parametry vždy názorně ukázány.

Každé zadání v dialogu lze uložit jako předlohu a tuto předlohu pak později znovu použít. Tlačítka, která vidíme na levém okraji, umožňují [uložit] a [načíst] data.

11.7.2.1 Pruty

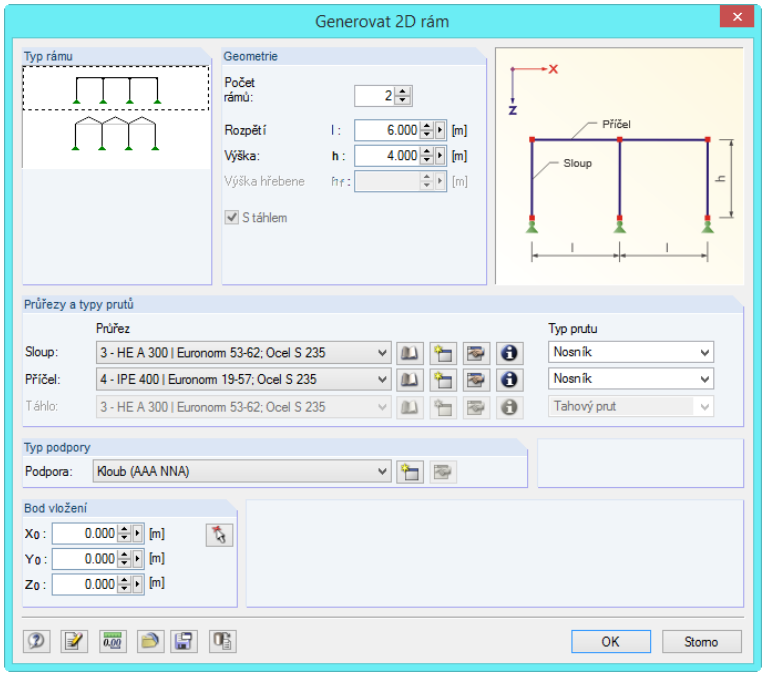
Spojitý nosník



Obrázek 11.152 Dialog *Generovat spojitý nosník*

V tomto dialogu lze vytvořit spojitý nosník s konstantním průřezem, podporami a nepravidelnými poli. Pro nosník lze také vygenerovat zatěžovací stavy a kombinace výsledků.

2D rám

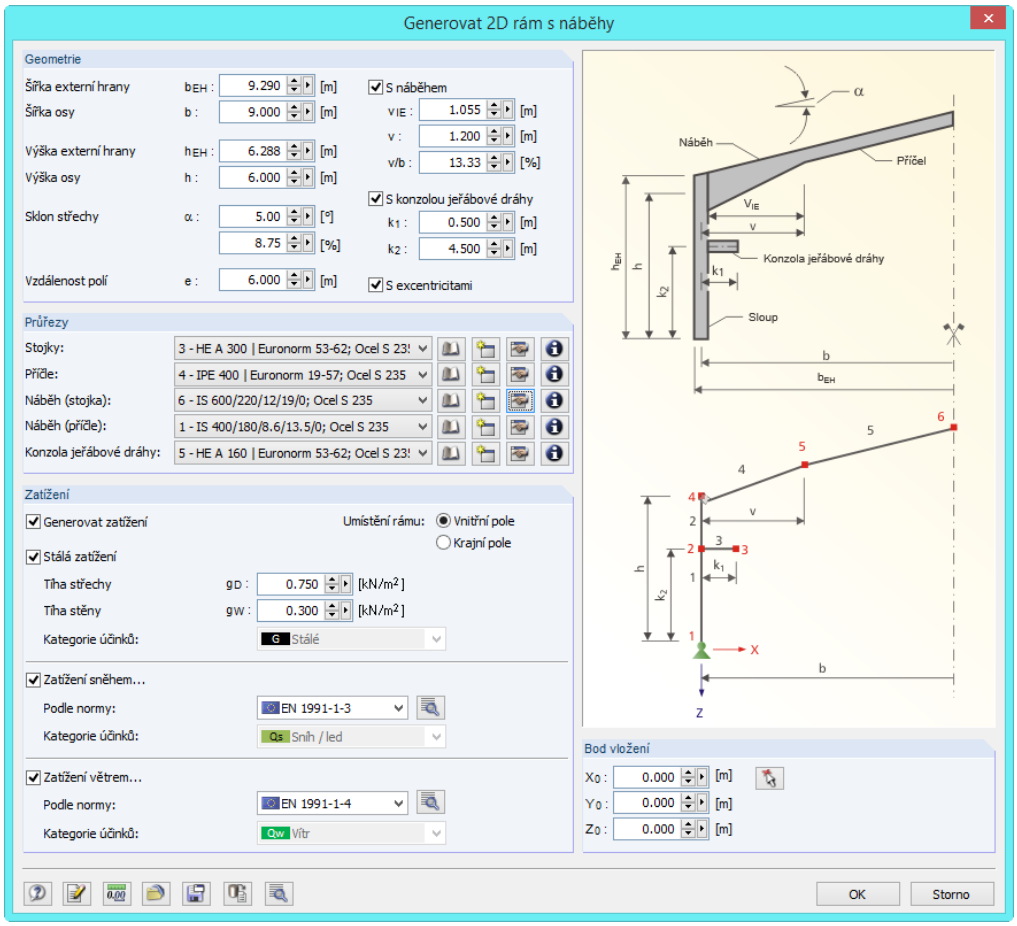


Obrázek 11.153 Dialog *Generovat 2D rám*

Před zadáním geometrie a průřezů bychom měli vybrat *typ rámu*. Pro sloupy rovinného rámu se

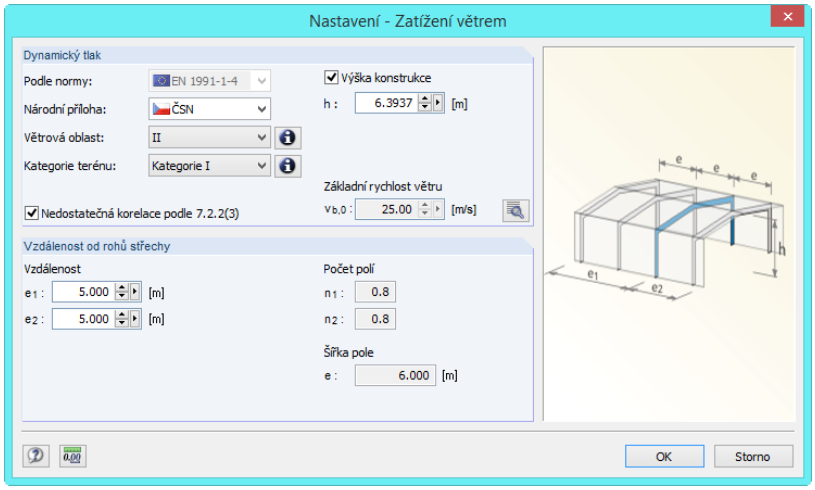
jednotně definuje podepření.

2D rám s náběhy



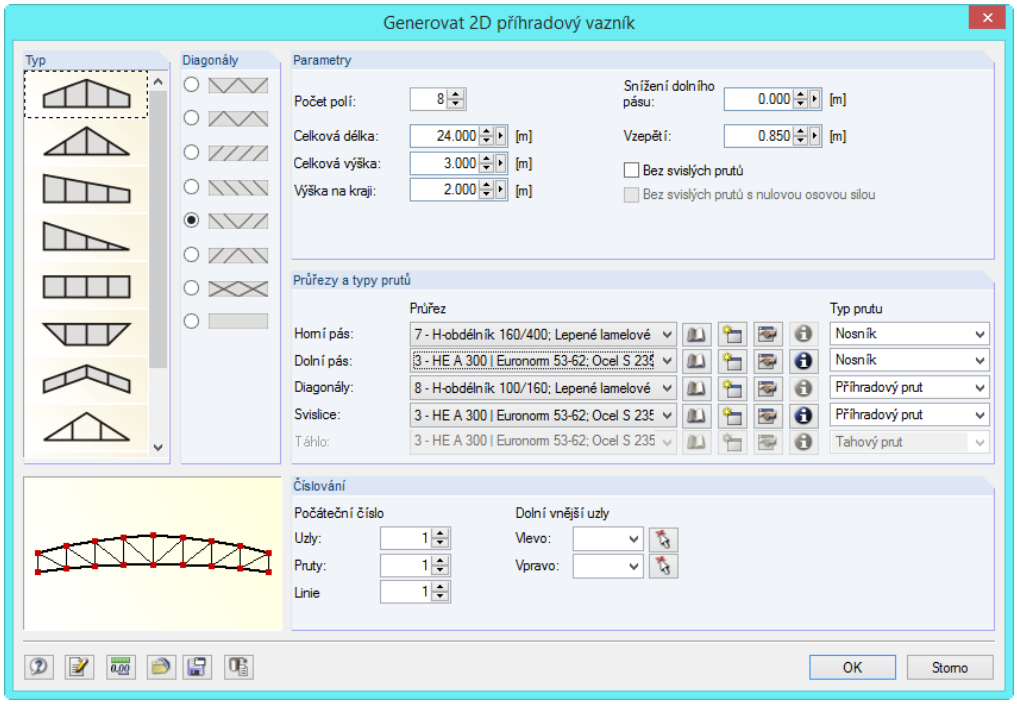
Obrázek 11.154 Dialog *Generovat 2D rám s náběhy*

Při zadání rovinného rámu definujeme jeho *geometrii* a *průřezy*. Zadat lze náběh, konzolu jeřábové dráhy či excentrické přípoje. Vytvořit můžeme dále i *zatížení*. Tlačítka přitom slouží k otevření dialogů s parametry pro generování. *Umístění rámu* je důležité pro výpočet zatížení.



Obrázek 11.155 Dialog *Nastavení - Zatížení větrem*

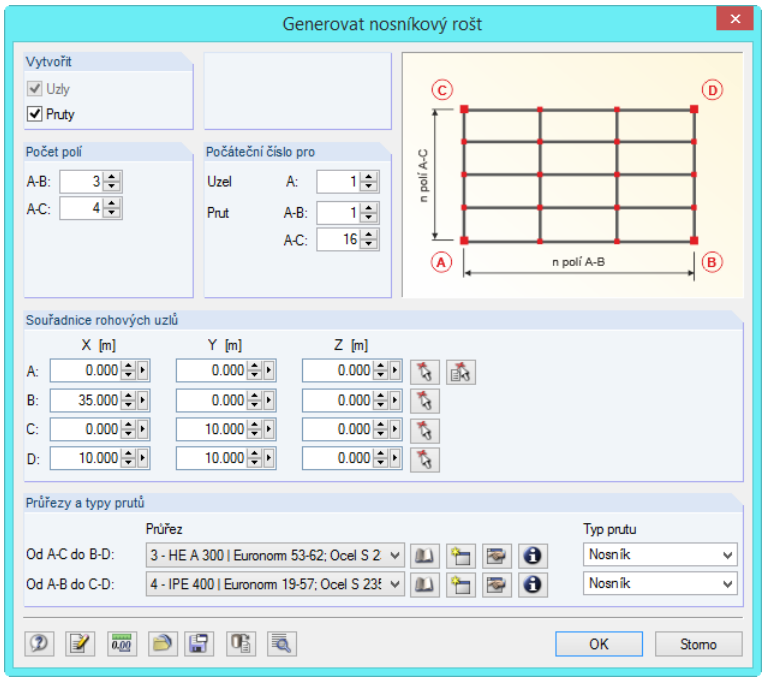
2D příhradová konstrukce



Obrázek 11.156 Dialog *Generovat 2D příhradový vazník*

V dialogu vybereme ze seznamu *typ* vazníku a uspořádání *diagonál*. Následně můžeme definovat *parametry*, *průřezy a typy prutů*.

Nosníkový rošt



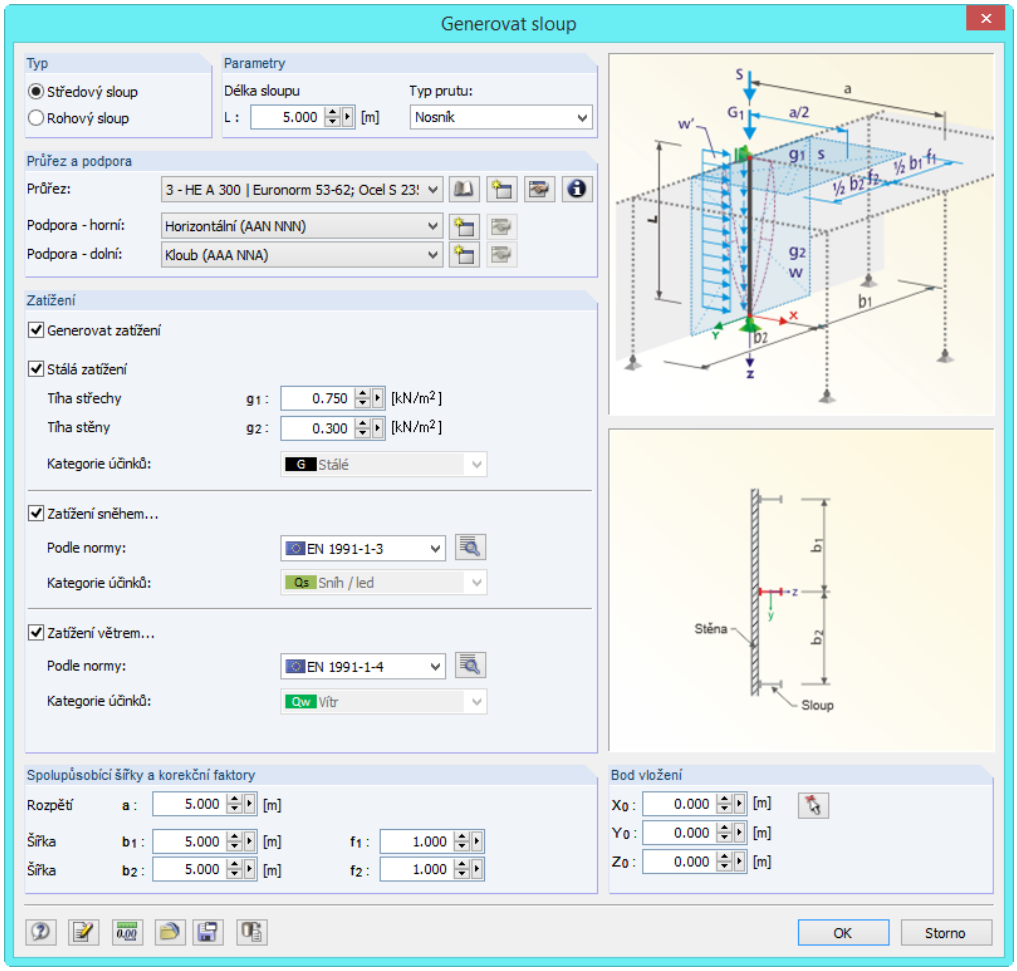
Obrázek 11.157 Dialog *Generovat nosníkový rošt*

Příslušný generátor umožňuje vytvářet konstrukce s pravidelnou mřížkou (např. nosníkové rošty). Tyto objekty nemusí být vždy pravoúhlé jako na obrázku. Zadat lze libovolné čtyřhranné prostorové konstrukce se 4 rohovými body. Pokud chceme vytvořit „pravý“ nosníkový rošt, musíme v základních

údajích úlohy nastavit *typ modelu* na **2D - XY** (viz kapitola 12.2).

Pomocí tlačítka lze generovat i nepravidelné rošty.

Sloup



Obrázek 11.158 Dialog *Generovat sloup*

V sekci *Typ* sloupu nejdříve určíme, zda se jedná o středový nebo rohový sloup. V případě, že se bude generovat i *zatížení*, je třeba zadat *spolupůsobící šířky a korekční faktory*.

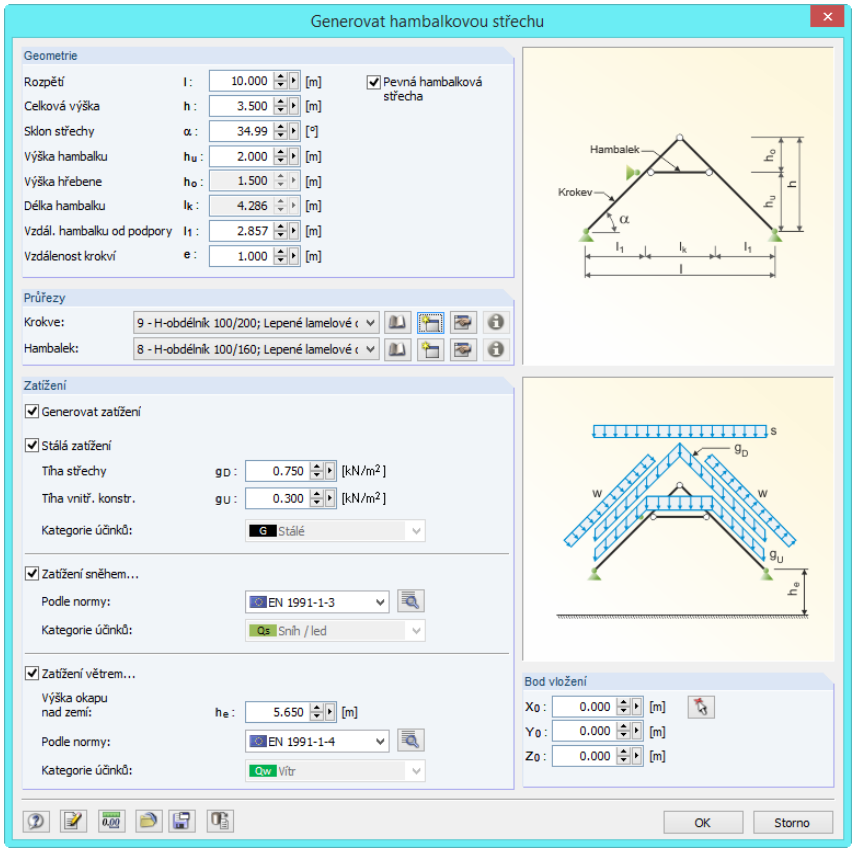
Rozpětí *a* je nezbytné definovat např. u štítové stojky pro oblast působení v podélném směru haly. Faktory f_1 af_2 lze ovlivnit geometrické šířky b_1 a b_2 pro statický model nebo je lze použít pro zohlednění speciálních norem (např. faktory přírůstků zatížení pro jednotlivá posouzení).

Generátory střech

V položce *Střecha* v hlavní nabídce jsou k dispozici tři různé generátory střech, které lze použít pro vytvoření rovinných střešních konstrukcí včetně zatížení (viz následující obrázky).

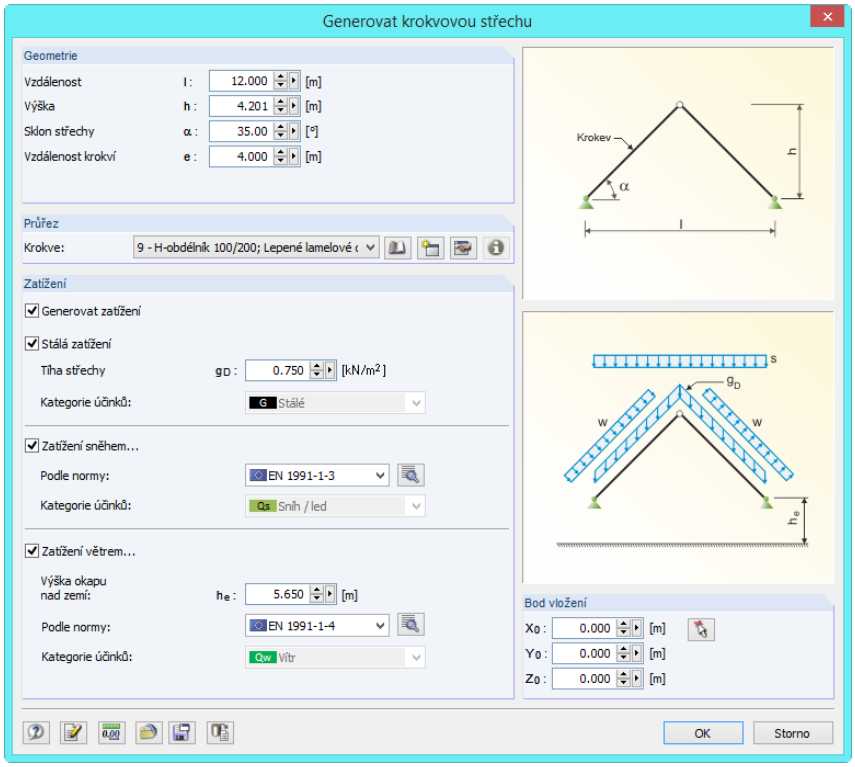
Výpočet zatížení větrem a sněhem značně usnadňují tlačítka [Nastavení pro zatížení...] v těchto dialozích (viz obr. 11.155).

Střecha → Hambalková střecha



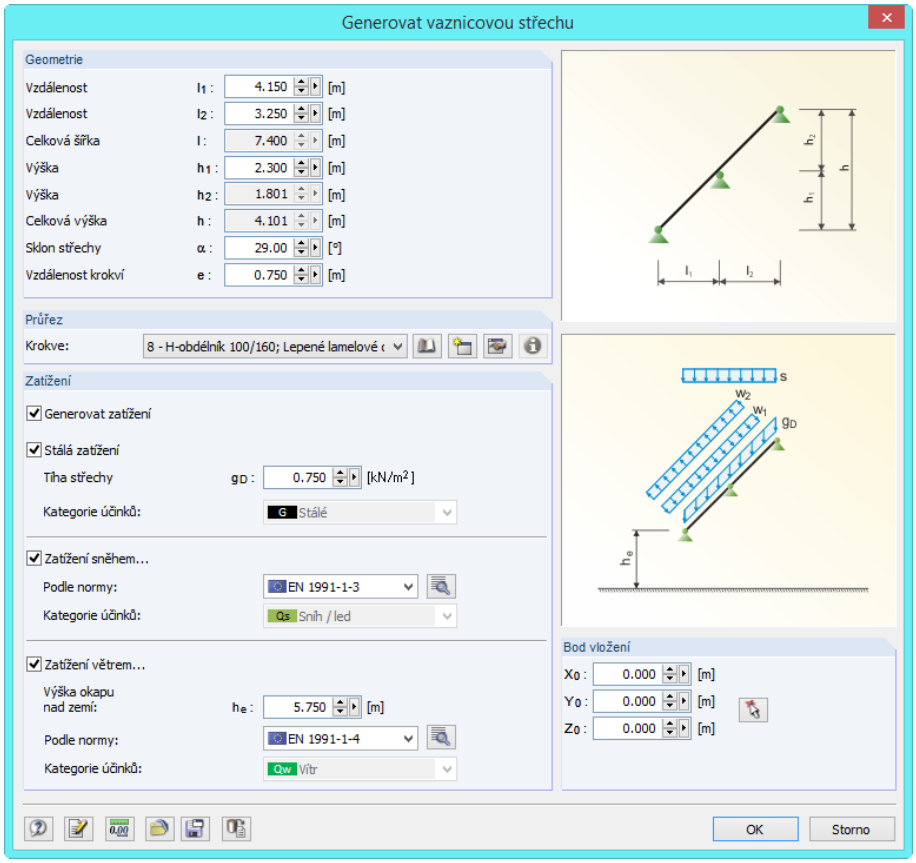
Obrázek 11.159 Dialog *Generovat hambalkovou střechu*

Střecha → Krokvová střecha



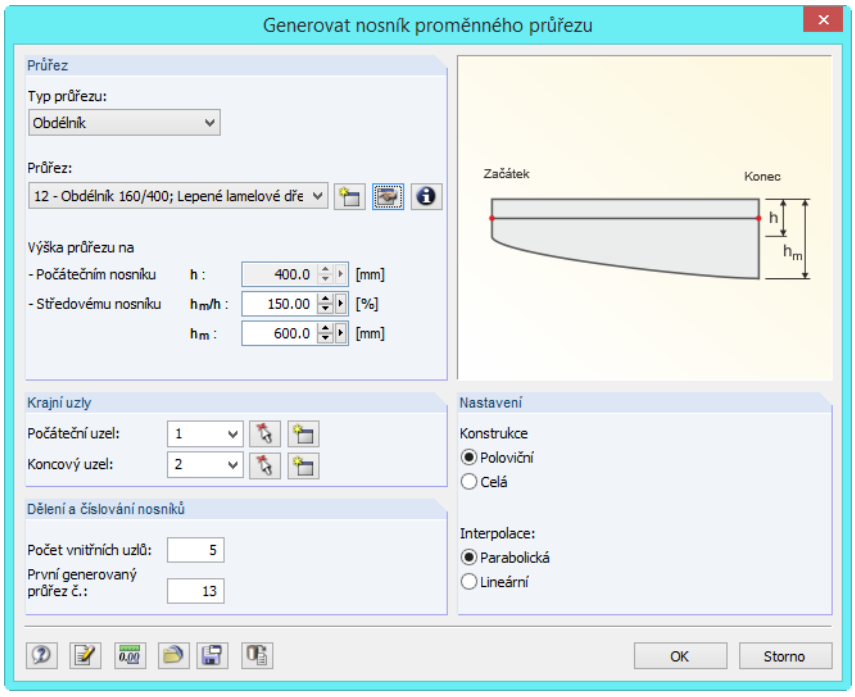
Obrázek 11.160 Dialog *Generovat krokvovou střechu*

Střecha → Vaznicová střecha



Obrázek 11.161 Dialog *Generovat vaznicovou střechu*

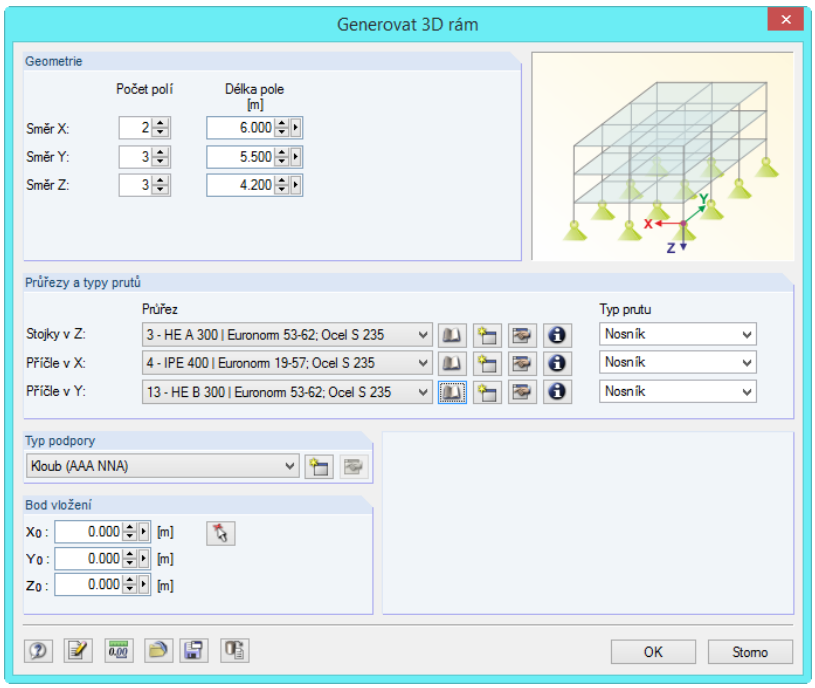
Nosník proměnného průřezu



Obrázek 11.162 Dialog *Generovat nosník proměnného průřezu*

K vygenerování nosníku proměnného průřezu, který se používá především u dřevostaveb, lze v sekci *Typ průřezu* vybrat ze seznamu obdélníkový průřez nebo ITS průřez (symetrické I nosníky).

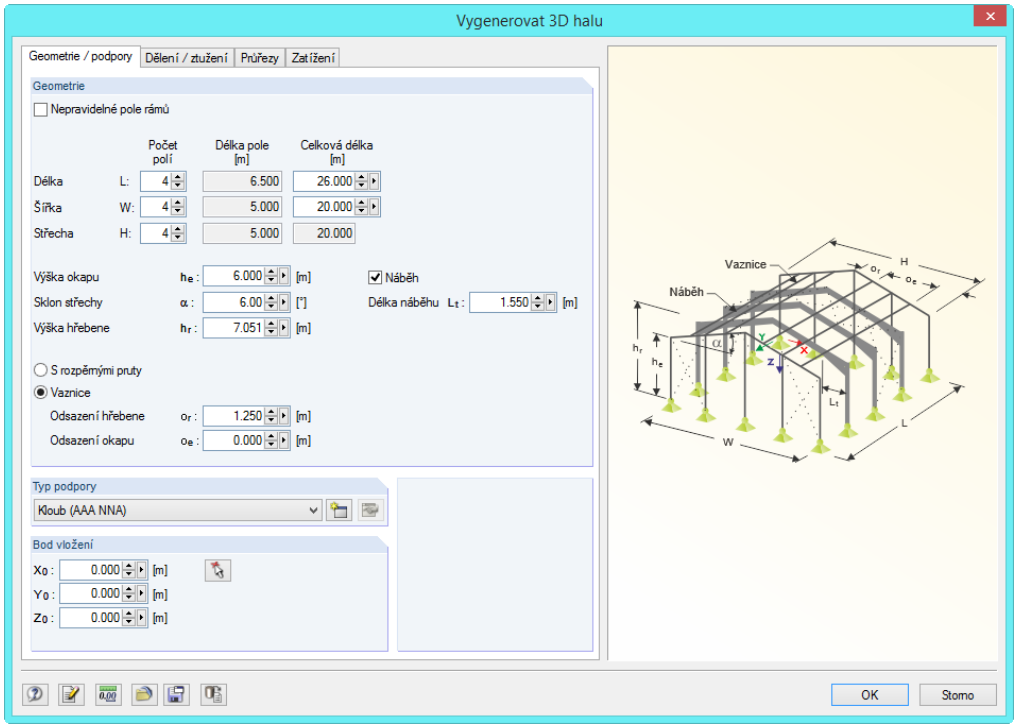
3D rám



Obrázek 11.163 Dialog *Generovat 3D rám*

Tento generátor umožňuje vytvářet pravidelné rámové konstrukce. U sloupů rámu se jednotně definuje podepření.

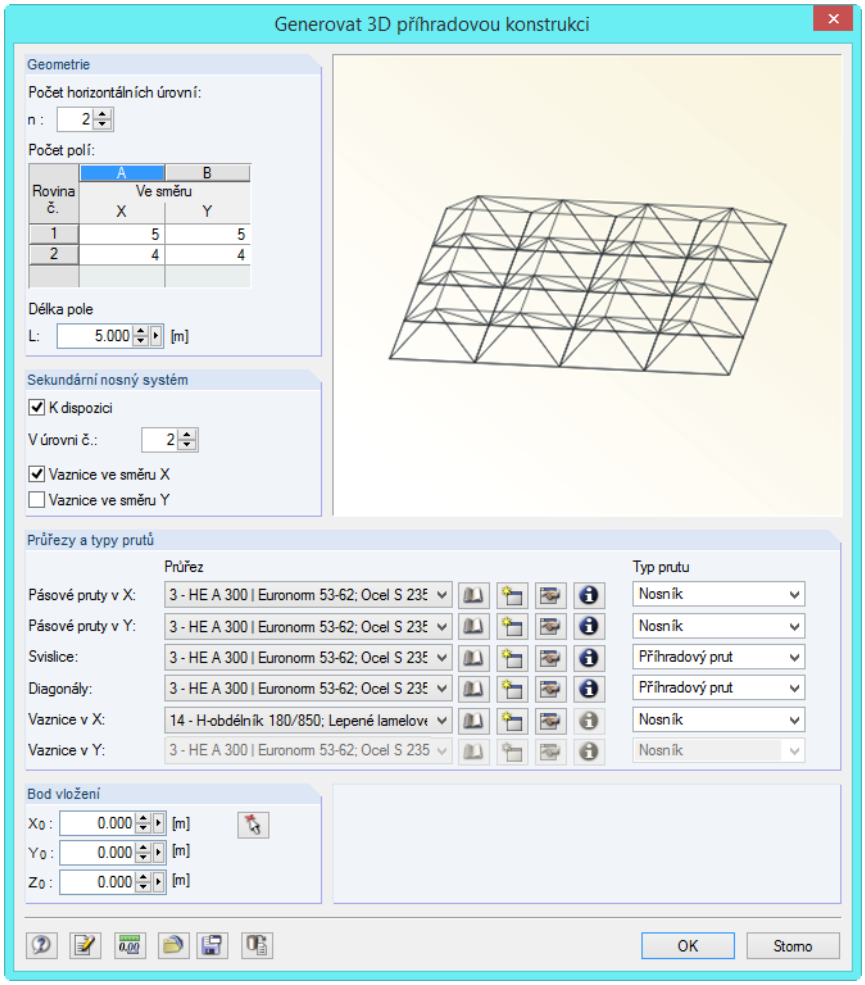
3D hala



Obrázek 11.164 Dialog *Vygenerovat 3D halu*

Tento rozsáhlý generátor umožňuje vytvořit celou halu i se zatížením. Dialog se skládá ze čtyř záložek: v záložce *Geometrie / podpory* se zadává geometrie konstrukce, v záložce *Dělení / ztužení* počet a délky jednotlivých polí a uspořádání ztužidel. V posledních dvou záložkách se definují *průřezy* a *zatížení*.

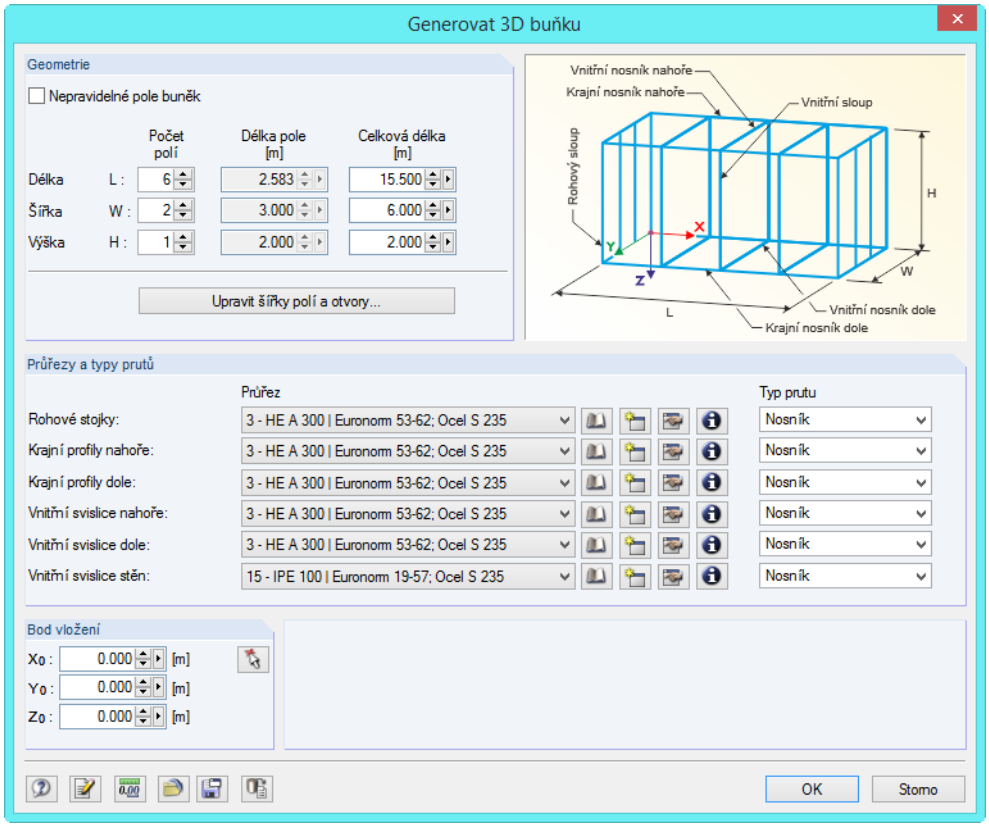
3D příhradová konstrukce



Obrázek 11.165 Dialog *Generovat 3D příhradovou konstrukci*

Tento generátor umožňuje vytvořit prostorovou příhradovou konstrukci systému *Bernauer*.

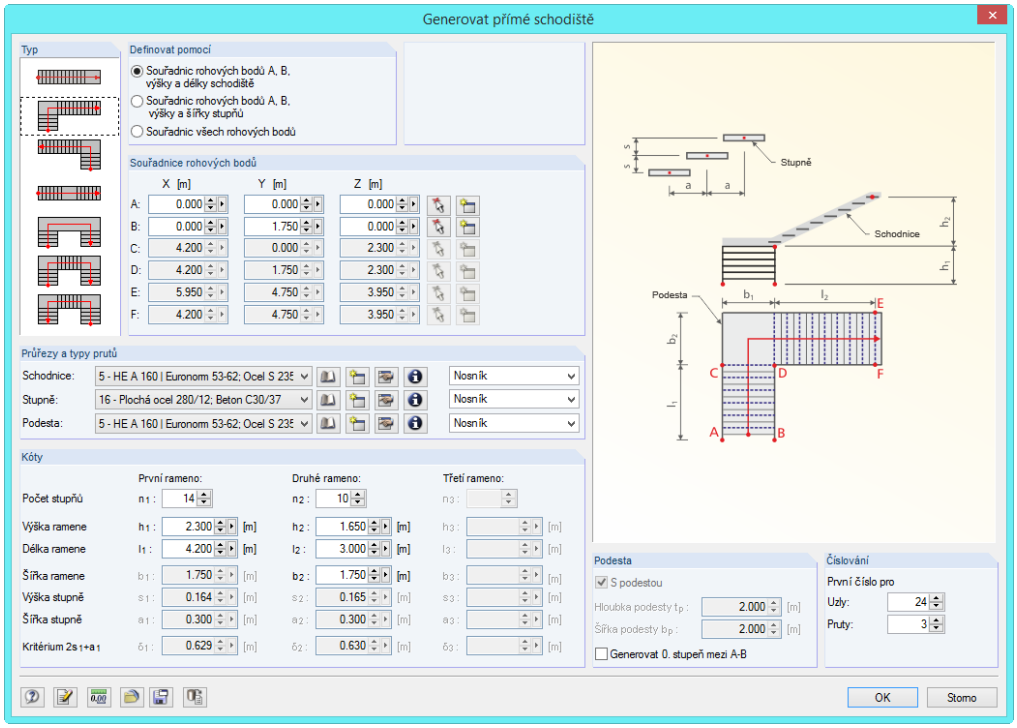
3D buňka



Obrázek 11.166 Dialog *Generovat 3D buňku*

Tento generátor vytvoří prostorovou buňku složenou z několika polí. Vlevo znázorněným tlačítkem otevřeme dialog, v němž lze zadat otvory a uspořádání buňky při nepravidelných vzdálenostech mezi poli.

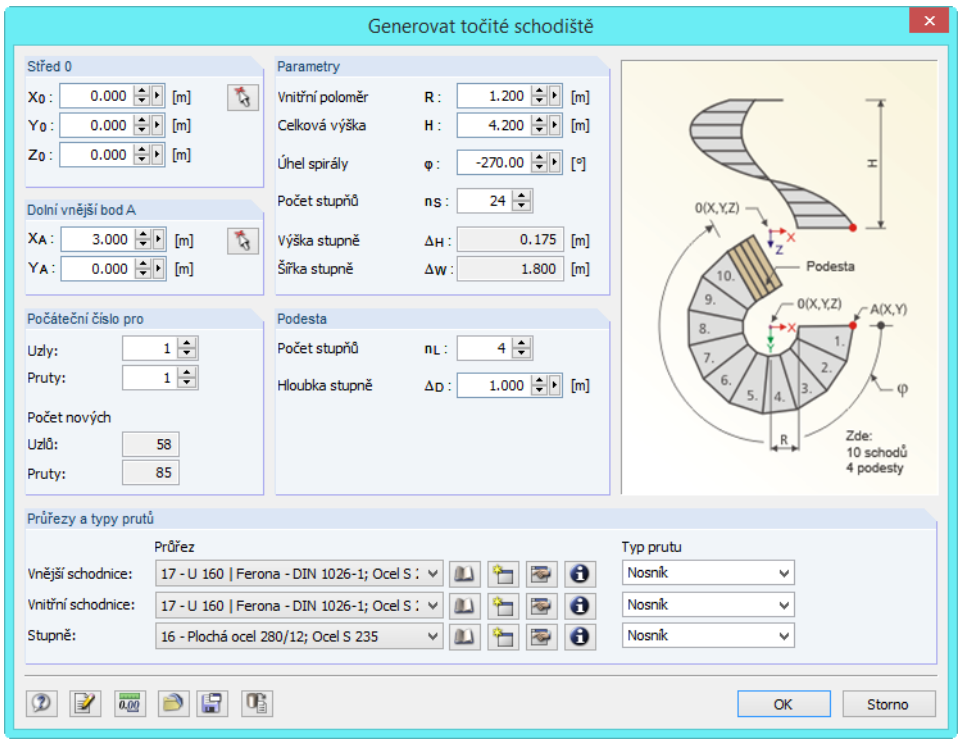
Přímé schodiště



Obrázek 11.167 Dialog *Generovat přímé schodiště*

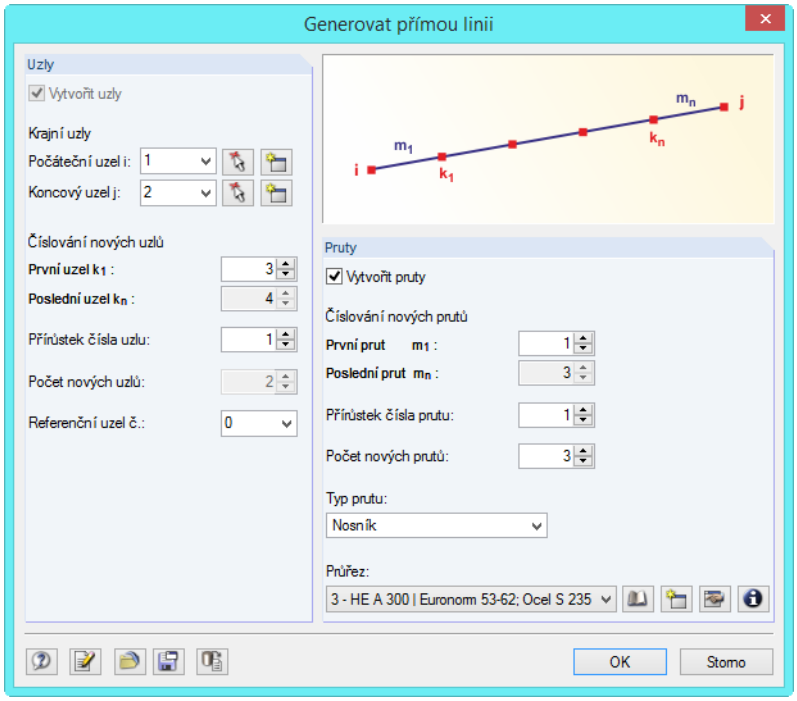
Nejdříve vybereme ze seznamu *typ* schodiště, který má vliv na ostatní parametry.

Točité schodiště



Obrázek 11.168 Dialog *Generovat točité schodiště*

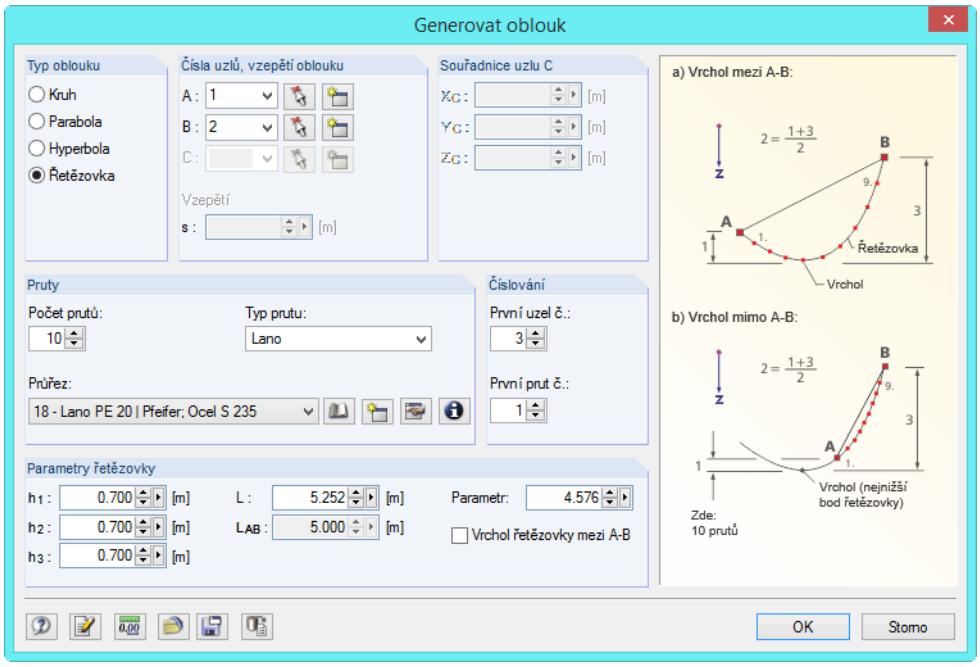
Linie



Obrázek 11.169 Dialog *Generovat přímou linii*

Tato funkce umožňuje vygenerovat přímé linie na základě nových nebo stávajících uzlů. Vytvořit lze také pouze uzly, které pak leží na pomyslné linii.

Obecný oblouk



Obrázek 11.170 Dialog *Generovat oblouk*

Nejdříve je třeba určit *typ oblouku*: kruh, parabolu, hyperbolu nebo řetězovku. Body *A* a *B* představují okrajové uzly oblouku. Bod C určuje směr a rovinu oblouku. Průvěs nebo vzepětí se nastaví v poli *vzepětí* s. Pokud jsme vybrali řetězovku, parametr *L* udává její délku. Pole pro výšku h_1, h_2 a h_3 jsou

interaktivní.

Parametr udává konstantu *a* na základě následující rovnice pro řetězovku:

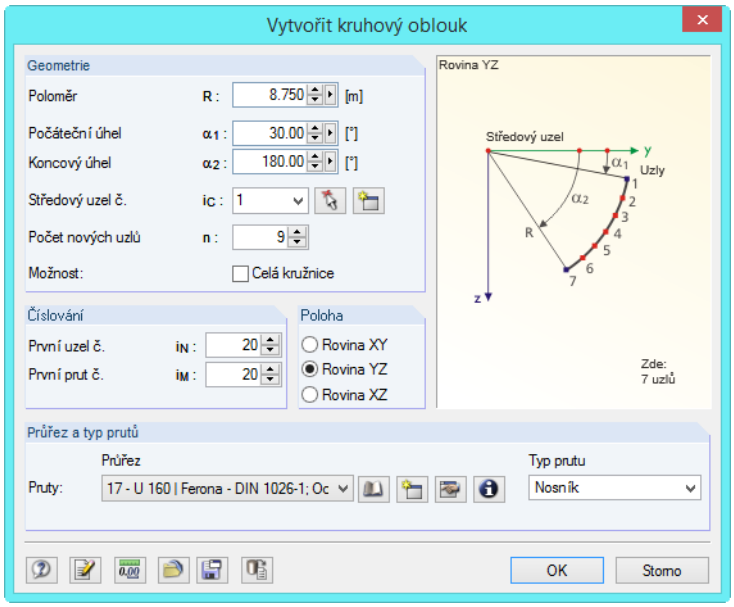
$$y(x) = a\cosh\left(\frac{x - v_x}{a}\right) + v_y$$

Rovnice 11.1

kde v_x resp. v_y: posuny v x resp. y

Čím větší bude počet prutů, tím přesněji bude oblouk modelován jako polygonový pořad.

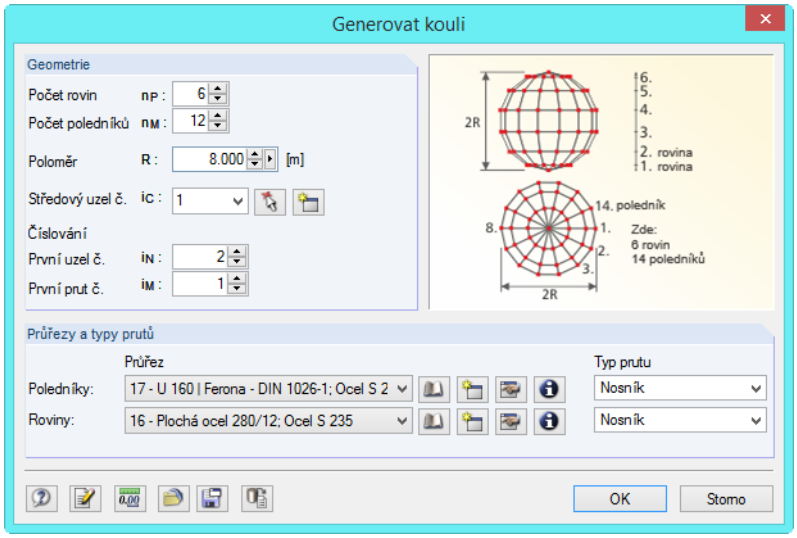
Kruhový oblouk



Obrázek 11.171 Dialog *Vytvořit kruhový oblouk*

Poloměrem a *úhly* je definován kruhový oblouk, resp. plná kružnice, která se vytvoří okolo libovolného středového bodu v jedné z globálních rovin.

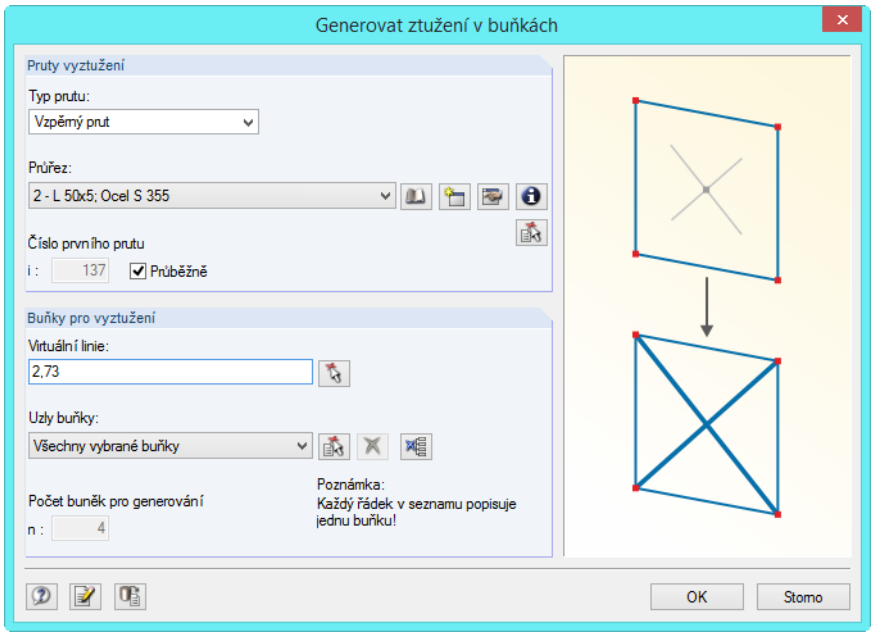
Koule



Obrázek 11.172 Dialog *Generovat kouli*

Čím větší počet *rovin* a *poledníků* zvolíme, tím bude výsledný objekt kulatější. Tvaru koule se přiblížíme prostřednictvím polygonových pořadů, kdy každý segment bude odpovídat jednomu prutu.

Ztužení v buňkách



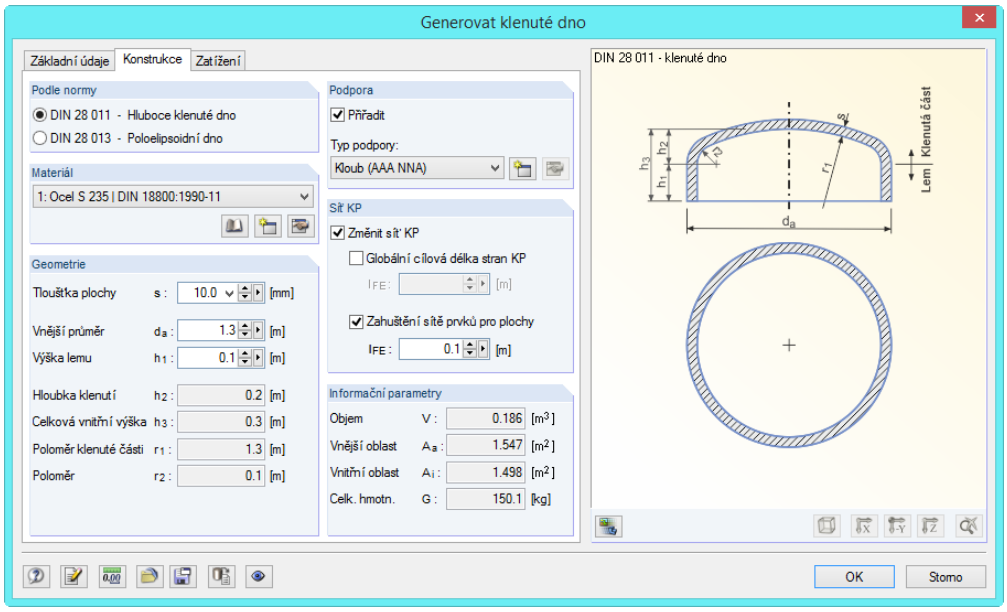
Obrázek 11.173 Dialog *Generovat ztužení v buňkách*

Buňky jsou oblasti se čtyřmi rohovými uzly, které leží v určité rovině a jsou ze všech stran ohraničené pruty. V dialogu zadáme *pruty pro vyztužení* a příslušné *buňky*, popř. je pomocí funkce vybereme v grafickém okně kliknutím myší.

Virtuální linie umožňují buňky uzavřít; lze tak např. vytvořit ztužení také mezi stěnovými sloupy.

11.7.2.2 Plochy

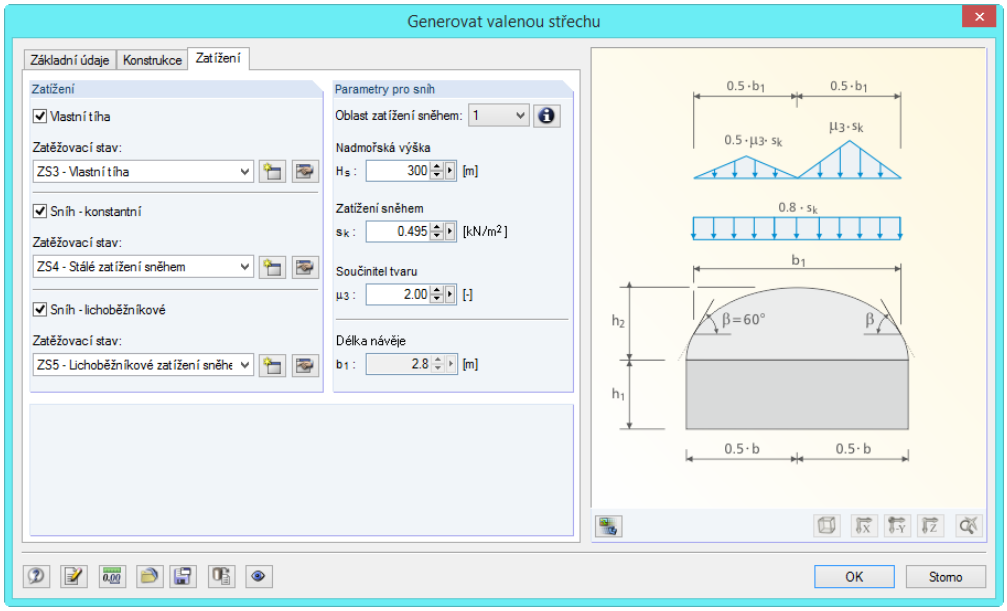
Hluboce klenuté dno podle DIN 28011 resp. DIN 28013



Obrázek 11.174 Dialog *Generovat klenuté dno*, záložka *Konstrukce*

V dialogu se uživateli nabízejí dvě možnosti: *hluboce klenuté dno* a *poloelipsoidní dno*. Pokud jsme v záložce *Základní údaje* stanovili polohu referenčního bodu pro umístění dna, zadáme v záložce *Konstrukce* materiál, tloušťku plochy, vnější průměr a výšku lemu. V poslední záložce *Zatížení* můžeme definovat zatížení na plochu přetlakem.

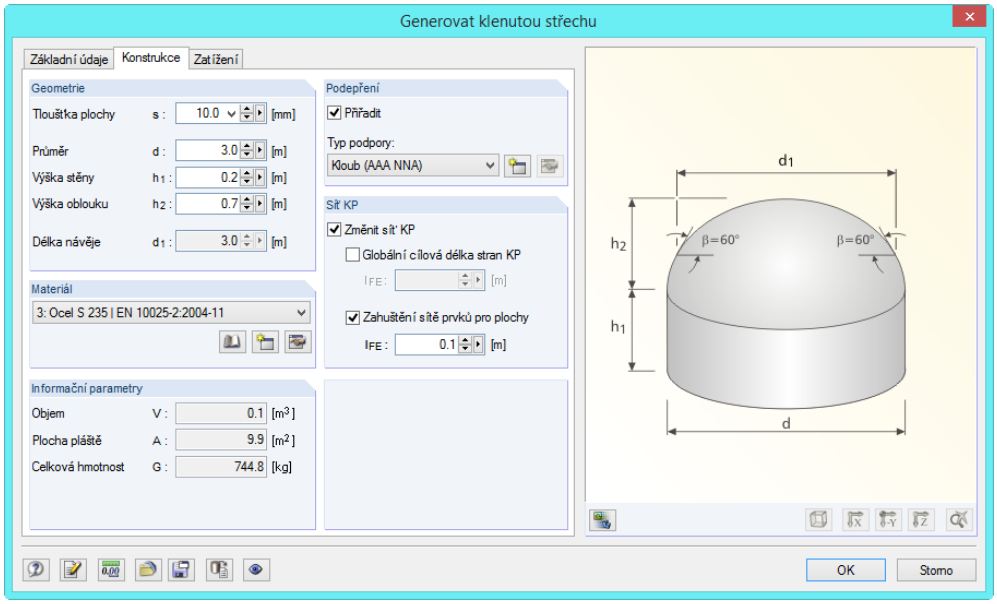
Valená střecha



Obrázek 11.175 Dialog *Generovat valenou střechu*, záložka *Zatížení*

Parametry valené střechy se definují v záložkách *Základní údaje* a *Konstrukce*. V záložce *Zatížení* se zadávají údaje pro generování zatížení sněhem.

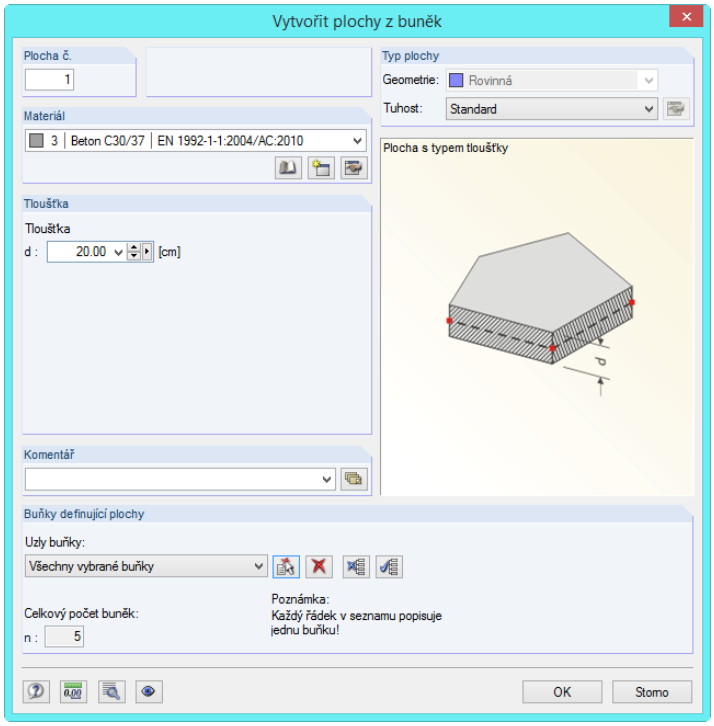
Klenutá střecha



Obrázek 11.176 Dialog *Generovat klenutou střechu*, záložka *Konstrukce*

Parametry klenuté střechy se definují v záložkách *Základní údaje* a *Konstrukce*. V záložce *Zatížení* se zadávají údaje pro generování zatížení sněhem.

Plochy z buněk



Obrázek 11.177 Dialog *Vytvořit plochy z buněk*

Buňky jsou tvořeny alespoň třemi rohovými uzly, jsou ze všech stran ohraničeny liniemi nebo pruty a leží v jedné rovině. Pokud si přejeme vyplnit buňky plochami, stanovíme *materiál* a *tloušťku*. Buňky lze pak vybrat pomocí funkce v grafickém pracovním okně kliknutím myší.

11.8 Generátory zatížení

Další skupina generátorů slouží ke snazšímu zadání prutových a plošných zatížení: tyto generátory umožňují převést plošná zatížení působící na konstrukci (např. zatížení sněhem nebo větrem) nebo také volná zatížení na linii a zatížení z opláštění např. v důsledku námrazy na zatížení na prut.

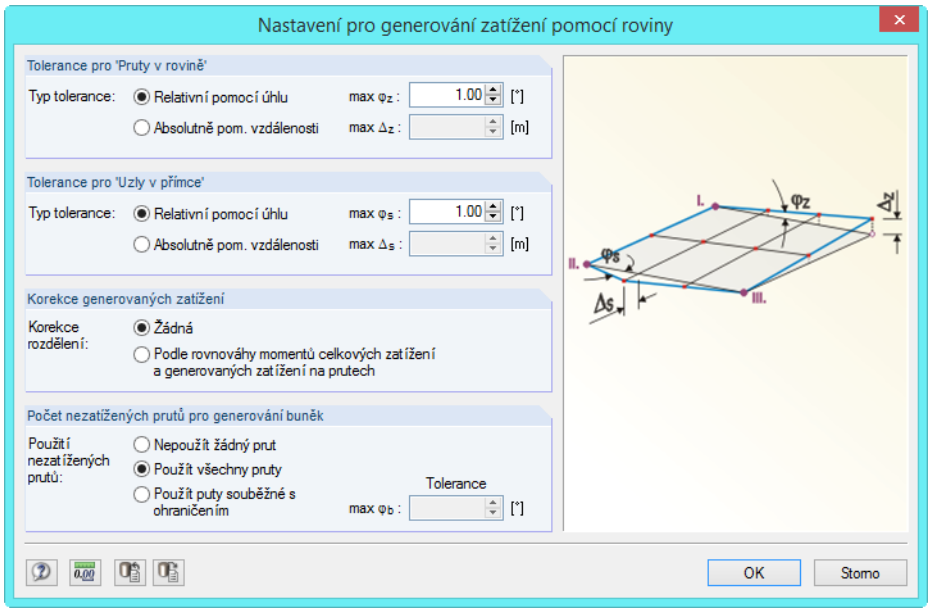
Dialogy pro generování zatížení na prut, příp. také zatížení na plochu vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje ⟶ Generovat zatížení.

11.8.1 Obecně

Nastavení pro generování zatížení

V mnoha dialozích pro generování zatížení je k dispozici tlačítko (viz obr. 11.184). To slouží k otevření dialogu *Nastavení pro generování zatížení*, kde lze nastavit toleranci pro integraci uzlů do roviny zatížení nebo provést korekci generovaných zatížení.



Obrázek 11.178 Dialog *Nastavení pro generování zatížení pomocí roviny*

Nastavení v tomto dialogu jsou platná pro všechny generátory zatížení na pruty. V sekci *Tolerance* stanovíme kritérium tolerance pro zahrnutí prutů do určité roviny, resp. uzlů do přímky. K dispozici je možné zadání pomocí úhlu nebo vzdálenosti. Pokud uzly splňují zadané kritérium, program buňky rozpozná a vygeneruje zatížení.

Korekce generovaných zatížení nabízí možnost porovnat spočítaná zatížení na prutech se stávajícími plošnými zatíženími. Kontrolní součty se zobrazí před definitivním převedením plošného zatížení na zatížení na pruty po ukončení procesu generování (viz obr. 11.188). Při této kontrole se porovnávají síly a ověřuje *rovnováha momentů*. V případě drobných odchylek lze provést korekci generovaných zatížení.

Přitom platí:

$$\int_{L_{cell}} (q_{member} + q_{correct}) dL = \int_{C_{cell}} q \, dC$$ rovnováha sil

$$\int_{L_{cell}} (q_{member} + q_{correct}) r \, dL = \int_{C_{cell}} qr \, dC$$

rovnováha momentů

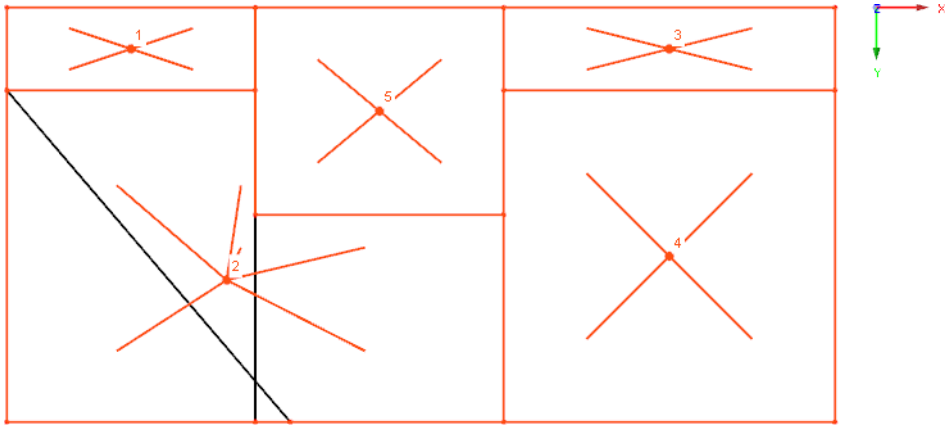
kde r = (x, y)

vzdálenost k těžišti buňky

Při korekci generovaných zatížení podle *rovnováhy momentů* se zjišťuje moment z plošných zatížení k těžišti a srovnává se s momentem z prutových zatížení k těžišti. Zjednodušeně si lze korekci momentů představit jako nový výpočet reakcí. Daná reakce se pak uvažuje jako liniové zatížení na prutu. Tato korekce například umožňuje vytvořit lichoběžníková zatížení na prutech z proměnných plošných zatížení.

Sekce *Počet nezatížených prutů pro generování buněk* se týká v první řadě prutů v šikmé poloze v modelu konstrukce. Během procesu generování zatížení se nejdříve spočítá celková zatížená plocha. Následně RFEM zjišťuje, kterými pruty jsou buňky vymezeny. Dané buňky se pak z celkové plochy odečtou. Pokud některý prut ze zatížení vyloučíme (volba *Odstranit vliv z jednotlivých prutů*, viz níže), rozloží se jeho zatížení na ostatní pruty v rovině, resp. buňce.

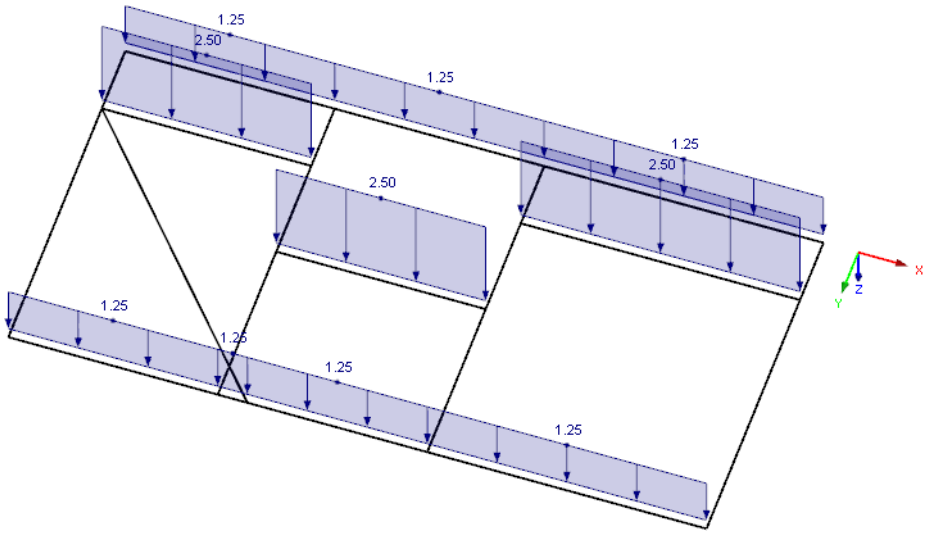
Dané tři možnosti si názorně předvedeme na příkladu konstrukce lešení. Provozní zatížení se mají vytvořit pouze na prutech probíhajících ve směru X. Prut v šikmé poloze bude stejně jako pruty rovnoběžné s osou Y z přenosu zatížení vyloučen, v závislosti na nastavení může ovšem ovlivnit generování prutových zatížení.



Obrázek 11.179 Konstrukce lešení s buňkami pro generování zatížení

Nepoužít žádný prut

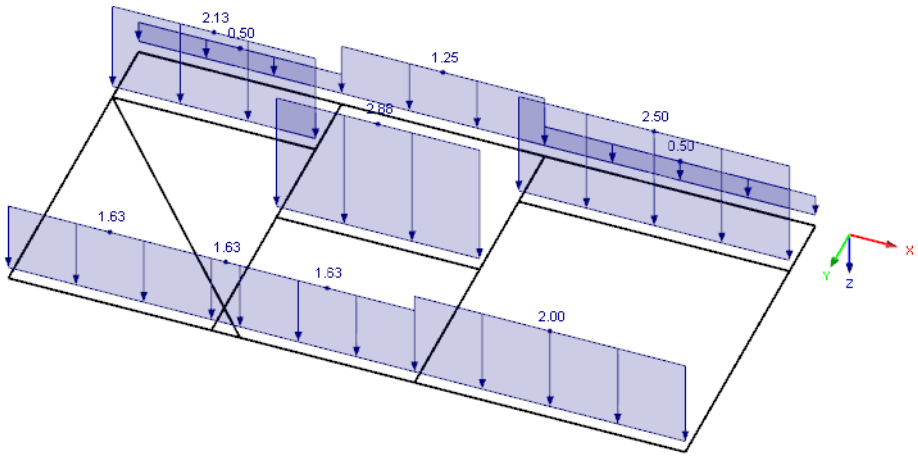
Zatížení se rozloží konstantně na okrajové a mezilehlé pruty. Při tomto nastavení se ke všem vyloučeným prutům nepřihlíží, tzn. použijí se interně k rozdělení zatížení. Po výpočtu plošného obsahu buňky se zatížení rozdělí na přípustné pruty dané buňky.



Obrázek 11.180 Výsledek při označení možnosti *Nepoužít žádný prut*

Použít všechny pruty

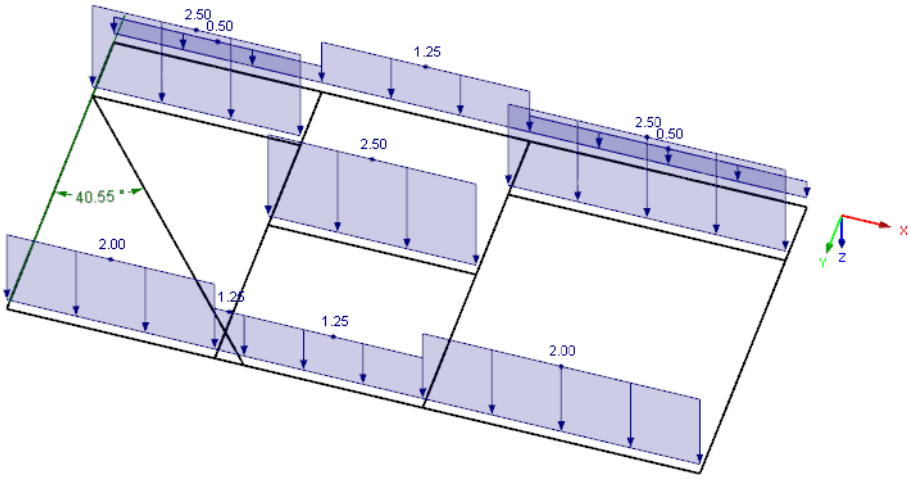
Z generování zatížení se vyloučí všechny nezatížené pruty. Vznikne tak ovšem velká buňka 2, která působí menší problém při rozdělení zatížení.



Obrázek 11.181 Výsledek při označení možnosti *Použít všechny pruty*

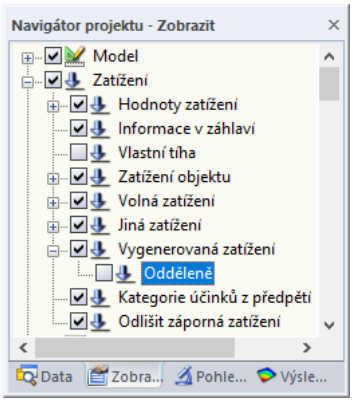
Použít pruty souběžné s ohraničením

Tato volba umožňuje vyloučit šikmé pruty z generování zatížení. Pokud v dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178) stanovíme mezní úhel mezi pruty φ_b na 44,55 °, vygeneruje se zatížení podle očekávání.



Obrázek 11.182 Výsledek při označení možnosti *Použít pruty souběžné s ohraničením*

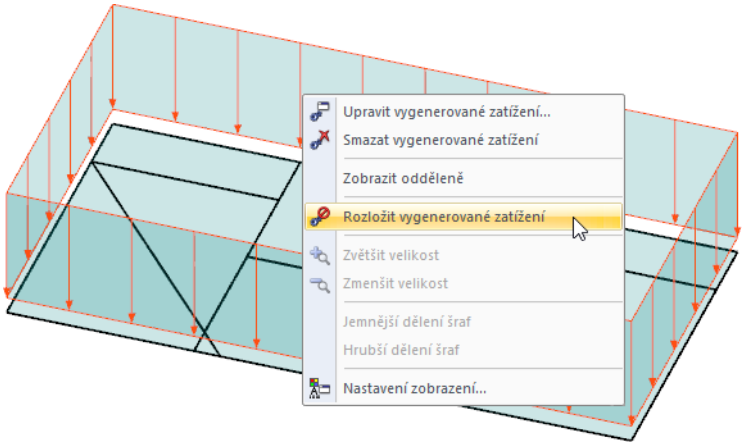
Dodatečná úprava vygenerovaných zatížení



Jakmile potvrdíme údaje v dialogu pro generování zatížení, vytvoří se zatížení a zobrazí se v tabulce 3.15. V navigátoru *Data* se objeví další položka *Vygenerovaná zatížení* (viz obr. 6.57). V místní nabídce pro zatížení a v navigátoru *Zobrazit* je možné nastavit, zda se vygenerovaná zatížení mají zobrazit jako symbol zatížení na plochu nebo *odděleně* jako zatížení na pruty.

Vstupní parametry ovšem také nezmizí. Původní dialogy zůstávají jako vstupní objekty nadále přístupné a lze v nich provádět úpravy. Otevřeme je buď dvojím kliknutím na příslušnou položku v navigátoru nebo přímo na vygenerované zatížení v pracovním okně. Následně můžeme parametry změnit.

Pokud chceme vygenerovaná zatížení dále zpracovávat jako samostatné objekty, musíme tato zatížení nejdříve vyjmout z celku pomocí příkazu v místní nabídce zatížení. Tuto nabídku otevřeme kliknutím pravým tlačítkem myši na vygenerované zatížení. Funkce *Rozložit vygenerované zatížení* slouží k vytvoření jednotlivých zatížení (viz obr. 11.183).

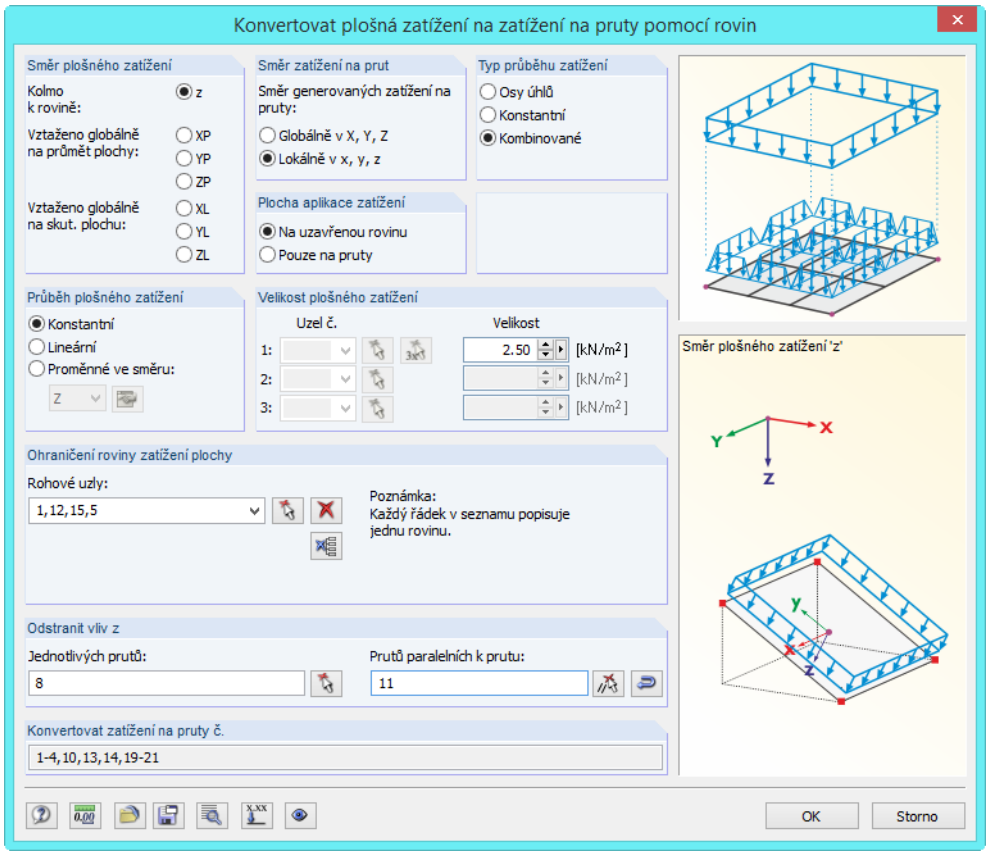


Obrázek 11.183 Místní nabídka vygenerovaného zatížení

Použít můžeme také případně místní nabídku vygenerovaných zatížení v navigátoru *Data*.

11.8.2 Zatížení na pruty/linie z plošného zatížení

11.8.2.1 Zatížení na pruty z plošného zatížení prostřednictvím roviny



Obrázek 11.184 Dialog *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin*

Směr plošného zatížení

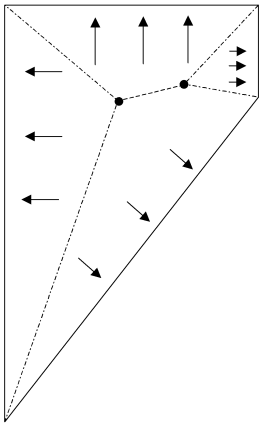
V této sekci určíme, zda zatížení působí kolmo k rovině nebo je globálně vztaženo na skutečnou plochu, popř. průmět plochy. Grafika v pravé dolní části dialogu ukazuje vybraný směr zatížení.

Směr zatížení na prut

V této sekci se stanoví, zda se vygenerovaná zatížení na pruty uloží jako globální nebo lokální zatížení (viz kapitola 6.2). Rozdíl je patrný zvláště v případě nelineárních výpočtů.

Plocha aplikace zatížení

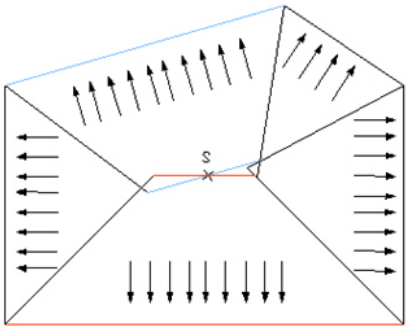
V této sekci lze vybrat jednu ze dvou možností. Pokud v rovině plošného zatížení existuje mezi pruty plocha (např. plocha stěny nebo střechy), která není znázorněna v modelu v programu RFEM, pak bychom měli zaškrtnout volbu *Na uzavřenou rovinu*. Plošné zatížení působící na celou rovinu se pak přepočítá na podíly zatížení působící na jednotlivé pruty. Pokud naopak konstrukce sestává výhradně z prutů (např. příhradový stožár), je třeba zvolit druhou možnost *Pouze na pruty*. Tím se zatíží skutečná plocha, popř. průmět plochy, která je dána průřezem prutů. Plocha bude zatížena v závislosti na poloze prutů.



Typ průběhu zatížení

V této sekci určíme způsob, jakým se plošné zatížení rozdělí na zatížení na jednotlivé pruty. Metodu *Osy úhlů* lze použít v případě mnohoúhelníků, které nemají žádný konvexní úhel. Průsečíky os úhlů se spojí tak, jak je znázorněno na obrázku vlevo. Vzniknou tak dílčí plochy, k nimž může být vždy přiřazen jeden prut, který bude přenášet zatížení působící na danou plochu.

Tuto metodu nelze použít u rovin ani mnohoúhelníků s konvexním úhlem. V takových případech lze vybrat volbu *Konstantní*: kromě os úhlů se určí také těžiště roviny. Pokud průsečíky os úhlů leží **před** těžištěm, vzniknou trojúhelníkové plochy; pokud průsečíky leží **za** těžištěm, bude těžištěm vedena linie rovnoběžná s prutem, která bude s oběma osami úhlů tvořit plochu působení zatížení.



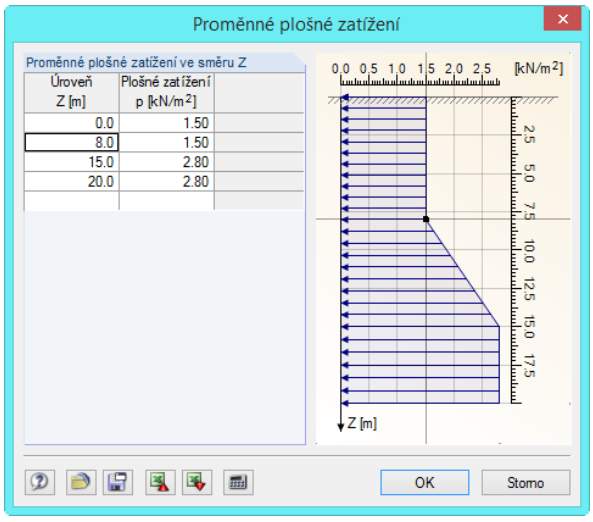
Obrázek 11.185 Typ průběhu zatížení *Konstantní*

Tato metoda vede k tomu, že se plochy nezohlední nebo se uvažují dvakrát. Scházející, resp. přebývající hodnota se vynásobí konstantou, aby součet zatížení na plochy odpovídal součtu zatížení na pruty.

Pokud vybereme volbu *Kombinované*, budou stanoveny dílčí plochy troj-, čtyř- a mnohoúhelníků pokud možno metodou os úhlů. Pokud tuto metodu nelze použít, rozdělení zatížení bude automaticky konstantní. Kombinovaná metoda je proto předem nastavena; RFEM automaticky zvolí vhodnou metodu.

Průběh plošného zatížení

Zatížení na ploše může mít *konstantní* nebo *lineárně* proměnný průběh. Zadat lze také plošná zatížení, jejichž působení je *proměnné ve směru* některé globální osy (např. zatížení větrem, které je závislé na výšce nad zemí). Po kliknutí na tlačítko se otevře další dialog pro nastavení parametrů plošného zatížení v závislosti na stanovené úrovni.



Obrázek 11.186 Dialog *Proměnné plošné zatížení*

V levém sloupci se zadávají jednotlivé *úrovně* ve směru vybrané globální osy, v pravém sloupci

příslušné hodnoty *plošného zatížení*. Obrázek v pravé části dialogu se mění podle zadaných hodnot a umožňuje vizuální kontrolu.

V případě proměnných zatížení je třeba v dialogu *Nastavení pro generování zatížení* vybrat korekci rozdělení zatížení podle rovnováhy momentů (viz obr. 11.178). V opačném případě se vytvoří konstantní zatížení na pruty.

Velikost plošného zatížení

Pokud zatížení působí rovnoměrně na plochu, nastavíme v příslušném poli konstantní velikost zatížení. V případě lineárně proměnných zatížení je třeba zadat tři uzly a přiřadit jim zatížení. Uzly můžeme vybrat také pomocí v grafickém okně.

Ohraničení roviny zatížení plochy

Ohraničení roviny zatížení plochy definujeme rohovými uzly roviny. Nejsnáze rohové uzly vybereme jeden po druhém pomocí funkce v grafickém okně. Daná rovina se přitom vyznačí barvou výběru. Pokud je rovina kompletně zadaná, zobrazí se modrozeleně. Každou rovinu je třeba definovat alespoň třemi uzly. Plocha nemusí být ze všech stran ohraničena liniemi nebo pruty. Roviny se zakřivenými pruty však nejsou pro automatické generování zatížení vhodné.

Zadat můžeme i několik rovin. Roviny se pak objeví v seznamu v poli *Rohové uzly*.

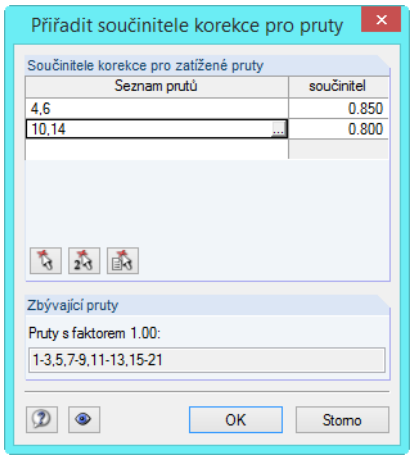
Pokud tento dialog otevřeme několikrát za sebou, může se stát, že se roviny zadané jako poslední zobrazí ve výchozím nastavení v seznamu *Rohové uzly*. Nechtěně pak mohou být tyto roviny zatíženy dvakrát. Podobnému nedopatření lze předejít tak, že celý seznam vymažeme pomocí tlačítka .

Odstranit vliv z prutů

V sekci *Odstranit vliv z* lze určit pruty, které zatížení nebudou přenášet (např. vaznice nebo ztužidla). Vybrat lze tyto pruty jednotlivě nebo můžeme zadat vzorový prut, který je [rovnoběžný] s nezatíženými pruty. I v tomto případě doporučujeme použít funkci pro výběr prutů v grafickém okně.

Tlačítko slouží k vyvolání dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178). V tomto dialogu lze nastavit toleranci pro integraci uzlů do roviny zatížení nebo provést korekci generovaných zatížení.

Pomocí tlačítka [Přiřadit součinitele korekce zatížení prutům...] lze upravovat zatížení přiřazená vybraným prutům. Tímto způsobem můžeme například zohlednit spojitý účinek střešního bednění na krajní krokve a vytvořit tu redukovaná prutová zatížení. Otevře se následující dialog:

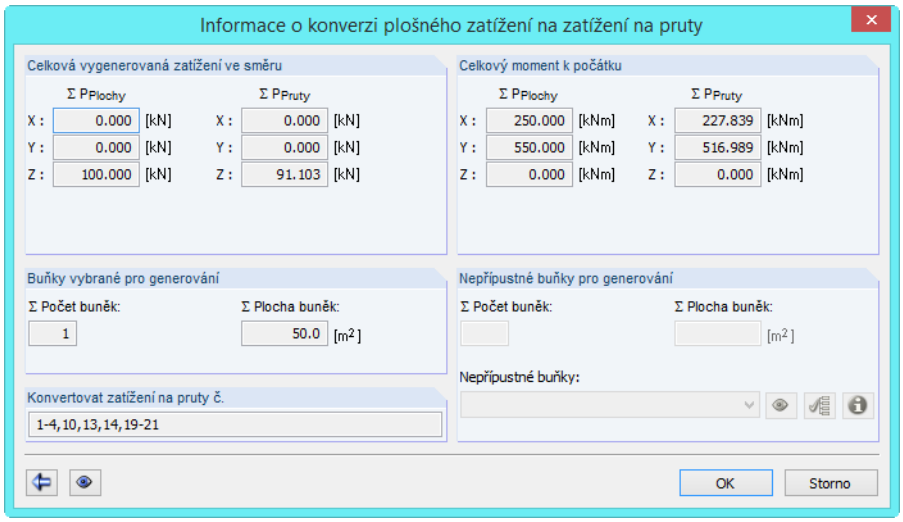


Obrázek 11.187 Dialog *Přiřadit součinitele korekce pro pruty*

Pruty lze vybrat pomocí a v pracovním okně a jejich zatížení upravit stanoveným *součinitelem*.

Tlačítkem [OK] spustíme proces generování zatížení na pruty. Po jeho skončení se zobrazí přehled s

informacemi o buňkách a zatíženích.



Obrázek 11.188 Dialog *Informace o konverzi plošného zatížení na zatížení na pruty*

Pokud jsou některé buňky nepřípustné, nemohl RFEM zatížení jednoznačně přiřadit. Tlačítko zvýrazní aktuální nepřípustnou buňku v grafickém okně, tlačítko slouží k načtení veškerých informací o příčinách vzniku nepřípustných buněk. Nepřípustné buňky se často objeví v důsledku odstraněných hran buňky (vynětí okrajových prutů z přenosu zatížení) nebo v důsledku zkřížených, nespojených prutů.

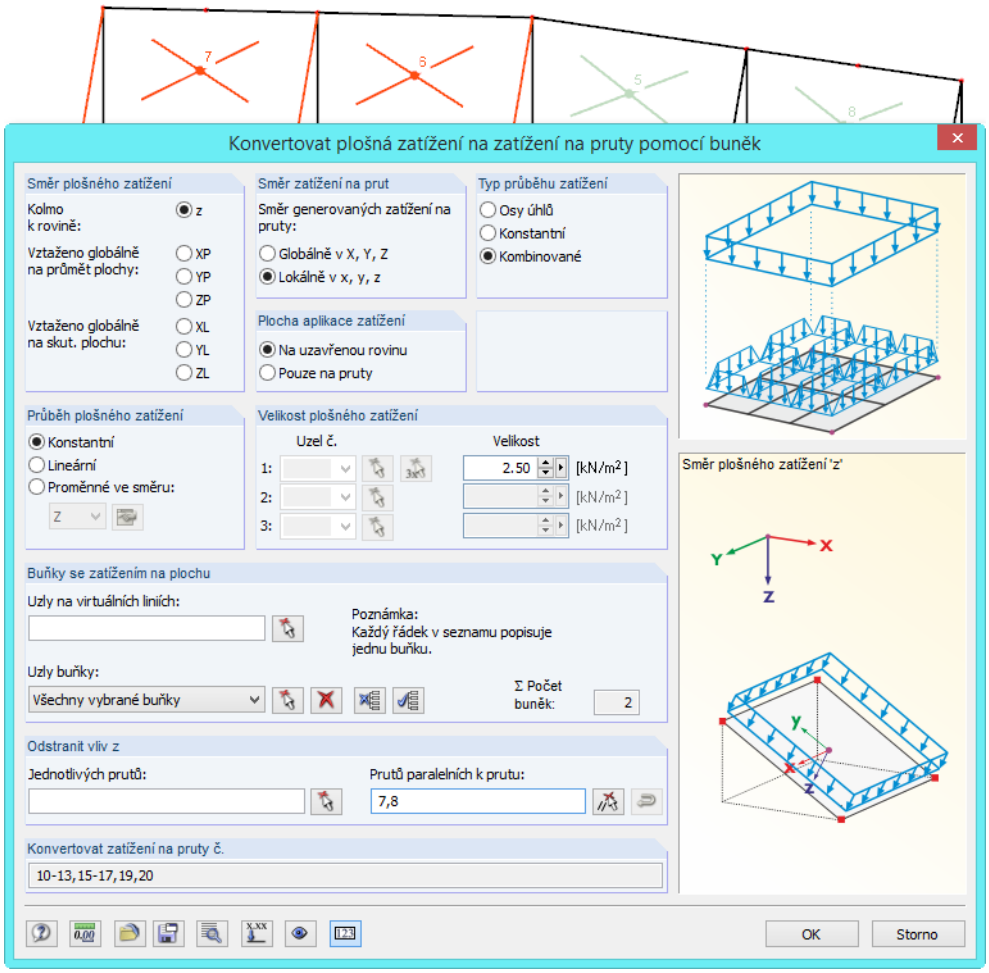
V sekci *Celkový moment k počátku* se porovnávají spočítaná zatížení na pruty s plošným zatížením. V případě odchylek se lze pomocí tlačítka vrátit do výchozího dialogu. Tlačítkem otevřeme dialog *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178), v němž můžeme provést některé úpravy.

Tlačítka, která se nacházejí v levé dolní části informačního okna, mají následující funkce:

	Opět se otevře dialog *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty*, v němž lze upravit parametry pro generování zatížení.
	Otevře pracovní okno, ve kterém je možné změnit pohled (režim prohlížení). Návrat do okna *Informace* je možné pomocí tlačítka [Zpět] nebo [Esc].

Tabulka 11.15 Tlačítka v informačním okně pro konvertovaná zatížení na pruty

11.8.2.2 Zatížení na pruty z plošného zatížení prostřednictvím buněk



Obrázek 11.189 Dialog *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí buněk*

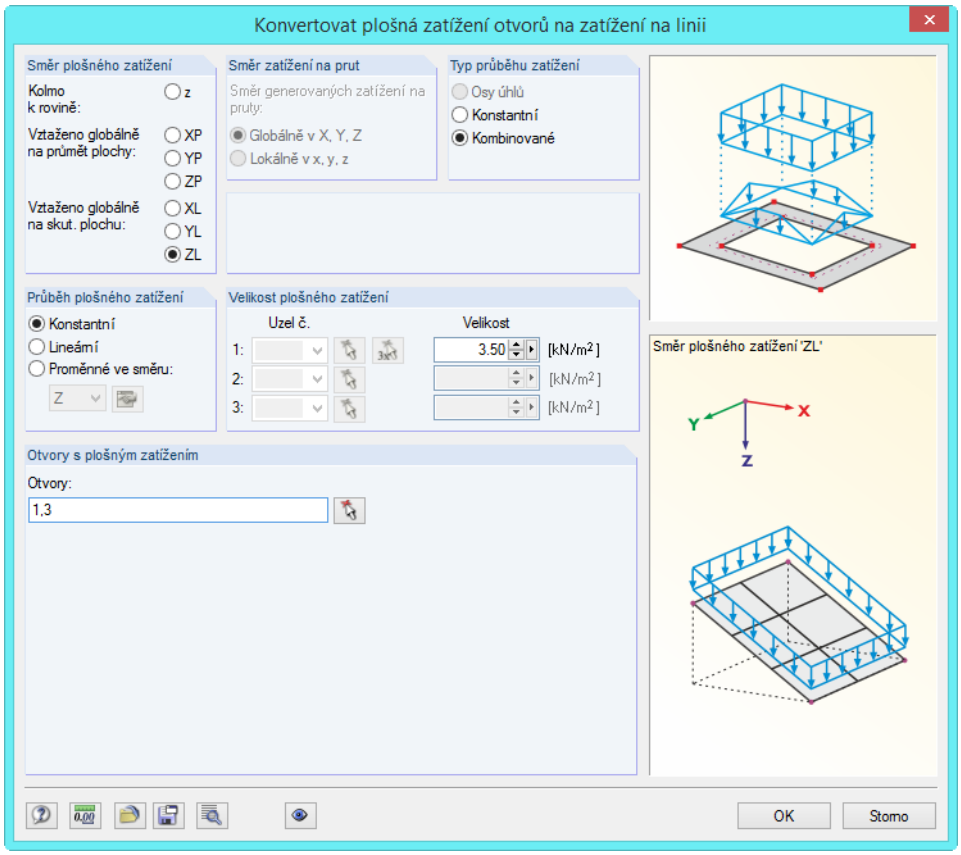
Struktura tohoto dialogu je obdobná jako u dialogu *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin*. RFEM již při otevření tohoto dialogu prověří, zda v modelu existují buňky, a vyznačí je případně v grafickém okně. „Buňky“ jsou oblasti alespoň se třemi rohovými body, které leží v určité rovině a jsou ohraničené pruty ze všech stran.

Z toho vyplývá, že například v případě zatížení větrem působícím na halovou stěnu se sloupy program buňky nenajde, protože pruty mezi patkami chybějí. V takovém případě můžeme pomocí graficky zadat takzvané *virtuální linie* kliknutím na počáteční a koncový uzel. Buňky se tak uměle uzavřou a generátor je rozpozná.

Uzly buňky lze postupně vybrat pomocí funkce v grafickém okně. Po ukončení procesu generování se zobrazí přehled s informacemi o buňkách a zatíženích.

Tlačítko slouží k vyvolání dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178). V tomto dialogu lze nastavit toleranci pro integraci uzlů do roviny zatížení nebo provést korekci generovaných zatížení.

11.8.2.3 Generování zatížení z plošného zatížení na otvory



Obrázek 11.190 Dialog *Konvertovat plošná zatížení otvorů na zatížení na linii*

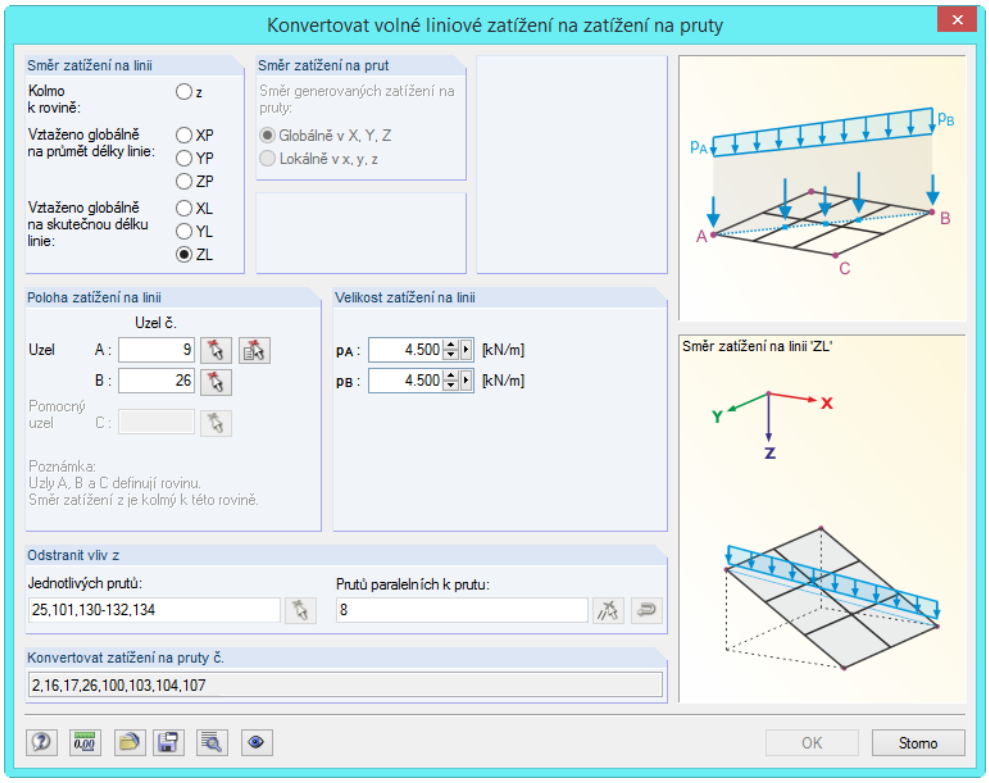
Struktura tohoto dialogu je obdobná jako u dialogu *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin*. V horních sekcích dialogu lze stanovit parametry zatížení.

Ve vstupním poli *Otvory s plošným zatížením* je třeba uvést ručně čísla příslušných otvorů nebo je vybereme pomocí funkce v grafickém okně.

Po kliknutí na tlačítko [OK] se zobrazí přehled s informacemi o generovaných zatíženích. Liniová zatížení se pak po opětovném kliknutí na tlačítko [OK] vytvoří na okrajích příslušných otvorů.

11.8.3 Jiná zatížení

11.8.3.1 Generování zatížení z volného zatížení na linii



Obrázek 11.191 Dialog *Konvertovat volné liniové zatížení na zatížení na pruty*

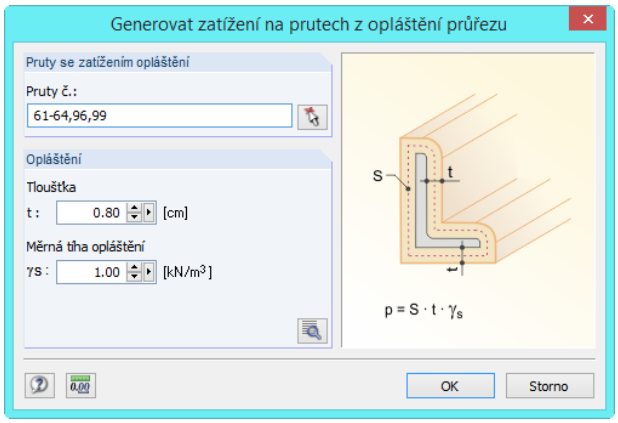
V případě modelů čistě prutových konstrukcí jako např. nosníkových roštů lze v tomto dialogu definovat volná liniová zatížení a konvertovat je na zatížení na pruty.

Pro správné přiřazení zatížení je třeba zadat *směr zatížení na linii* a případně *směr zatížení na prut*. Tyto sekce jsme stejně jako sekci *Odstranit vliv z* vysvětlili při popisu dialogu „Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin“.

Velikost zatížení na linii může být konstantní nebo lineárně proměnná. *Polohu zatížení na linii* lze určit graficky pomocí tak, že vybereme počáteční a koncový uzel zatížení na linii. Pokud liniové zatížení působí kolmo na rovinu, je třeba zadat navíc pomocný uzel C.

Tlačítko slouží k vyvolání dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178).

11.8.3.2 Generování zatížení ze zatížení pláštěm průřezu

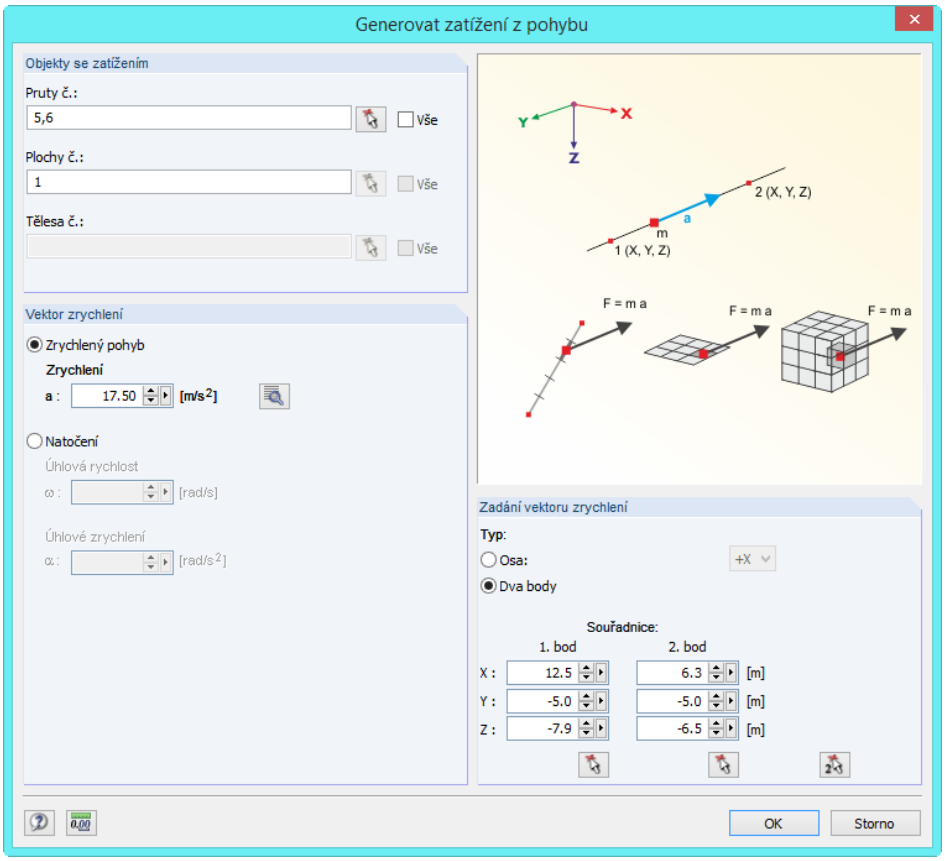


Obrázek 11.192 Dialog *Generovat zatížení na prutech z opláštění průřezu*

Pruty se zatížením opláštění zadáme přímo ručně v dialogu nebo je vybereme pomocí funkce v grafickém okně. U opláštění zadáme tloušťku a měrnou tíhu.

Pokud klikneme na tlačítko , můžeme zkontrolovat u vybraných průřezů střednicové plochy A_S, které se zohledňují při výpočtu zatížení námrazou. Jak je patrné z obrázku v dialogu (obr. 11.192), vztaženy jsou ke střednicím průřezu, což umožňuje správně vypočítat zatížení i u malých profilů s mnoha hranami.

11.8.3.3 Zatížení z pohybu



Obrázek 11.193 Dialog *Generovat zatížení z pohybu*

Daný generátor vytváří zatížení od zrychlení nebo rotace, které působí na určité konstrukční prvky. Hmota se stanoví na základě vlastní tíhy.

V sekci *Objekty se zatížením* lze zadat přímo čísla příslušných prutů, ploch nebo těles nebo je můžeme určit pomocí funkce v grafickém okně.

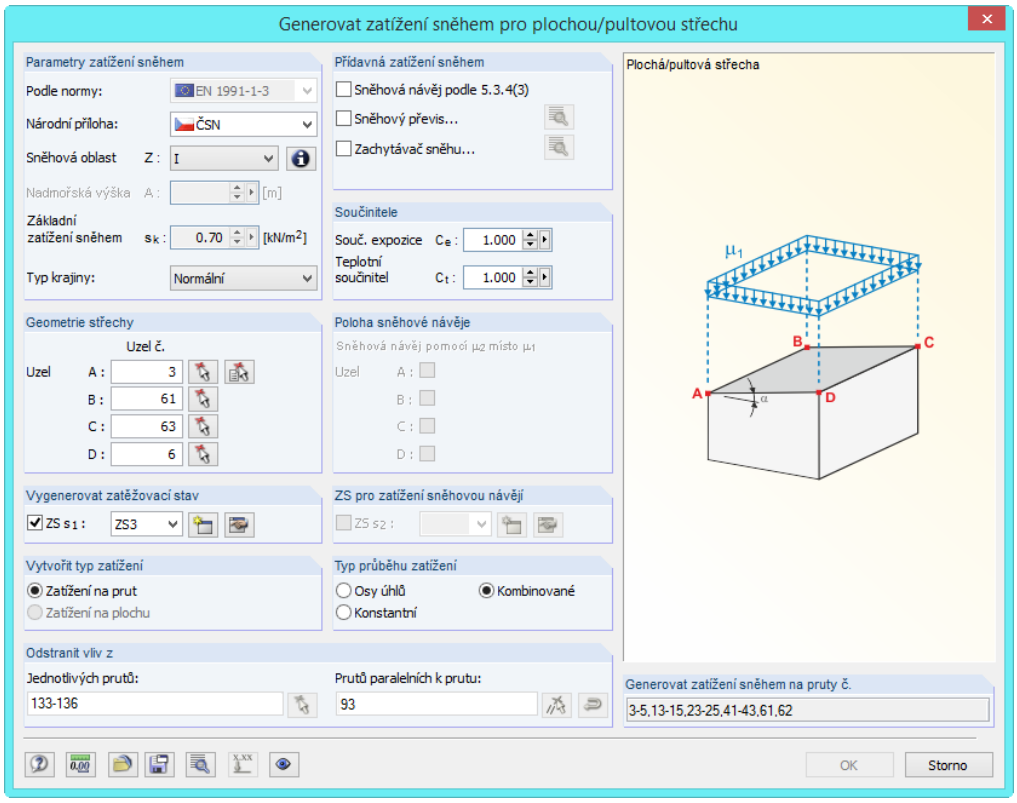
Jako parametry zatížení zadáme buď zrychlení nebo natočení (úhlová rychlost ω, úhlové zrychlení α). Po kliknutí na tlačítko můžeme zrychlení spočítat z rychlosti ve dvou bodech.

V sekci *Zadání vektoru zrychlení* vztáhneme vektor buď k některé globální ose nebo ho určíme dvěma body. Můžeme ho stanovit také pomocí funkce v grafickém okně.

Jakmile klikneme na tlačítko [OK], zatížení pro aktuální zatěžovací stav se vytvoří.

11.8.4 Zatížení sněhem

11.8.4.1 Plochá /pultová střecha



Obrázek 11.194 Dialog *Generovat zatížení sněhem pro plochou/pultovou střechu*

Tento dialog slouží k zadání vstupních údajů pro generování zatížení sněhem jak u plochých tak pultových střech. Tvarové součinitele pro ploché střechy a střechy s jednostranným sklonem se uvažují buď podle EN 1991-1-3 nebo DIN 1055-5.

V sekci *Parametry zatížení sněhem* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Sněhovou oblast *Z* můžeme vybrat po kliknutí na tlačítko graficky z mapy sněhových oblastí. Pokud se postupuje podle normy EN 1991-1-3, určíme dále typ krajiny. V případě generování zatížení podle DIN 1055-5 se kromě sněhové oblasti stanoví nadmořská výška *A*. Na základě těchto údajů se určí charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi s_k.

Zaškrtávací políčka v sekci *Přídavná zatížení sněhem* určují, zda se při výpočtu budou uvažovat další zatížení sněhem:

- sněhová návěj
- sněhový převis
- zachytávač sněhu

Po kliknutí na tlačítko můžeme zadat parametry sněhového převisu nebo zachytávače sněhu.

V sekci *Součinitele* lze v případě potřeby upravit součinitel expozice C_e (EN 1991-1-3, tab. 5.1) nebo teplotní součinitel C_t (EN 1991-1-3, čl. 5.2 (8)).

Geometrii střechy stanovíme tak, že uvedeme čísla rohových uzlů střechy *A* až *D* podle obrázku v pravé části dialogu. Uzly lze vybrat také pomocí funkce v grafickém okně. Plocha se přitom zvýrazní barvou výběru. Každou rovinu je třeba definovat alespoň třemi uzly. Plocha nemusí být ze všech stran ohraničena liniemi nebo pruty.

Polohu sněhové návěje můžeme určit pomocí okrajových uzlů plochy dané střechy.

V sekcích *Vygenerovat zatěžovací stav* a *ZS pro zatížení sněhovou návějí* uvedeme čísla požadovaných zatěžovacích stavů. Tlačítka umožňují vytvořit nové zatěžovací stavy pro zatížení sněhem, resp. sněhovou návějí. Pokud model obsahuje plochy, můžeme v sekci *Vytvořit typ zatížení* stanovit, zda se mají vygenerovat zatížení na pruty nebo na plochu.

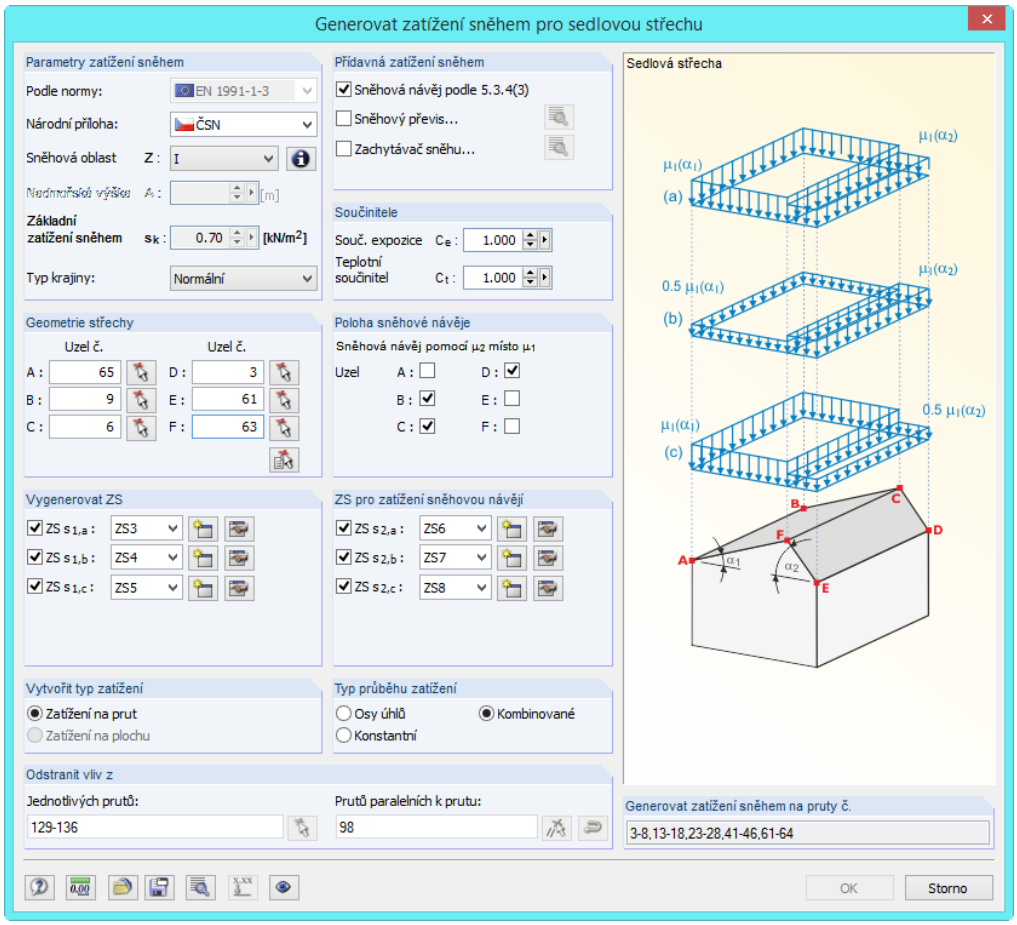
Sekce *Typ průběhu zatížení* a *Odstranit vliv z* jsme vysvětlili výše při popisu dialogu Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin.

Tlačítko slouží k vyvolání dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178).

Pomocí tlačítka lze upravovat zatížení přiřazená vybraným prutům. Údaje se zadávají v samostatném dialogu (viz obr. 11.187).

Po kliknutí na tlačítko [OK] se nejdříve zobrazí výsledky generování zatížení v souhrnném přehledu pro všechny zatěžovací stavy. Lze tak porovnat zatížení působící na plochu s konvertovaným zatížením. Tlačítko umožňuje vrátit se před předáním zatížení do RFEMu opět do výchozího dialogu a upravit parametry zatížení.

11.8.4.2 Sedlová střecha



Obrázek 11.195 Dialog *Generovat zatížení sněhem pro sedlovou střechu*

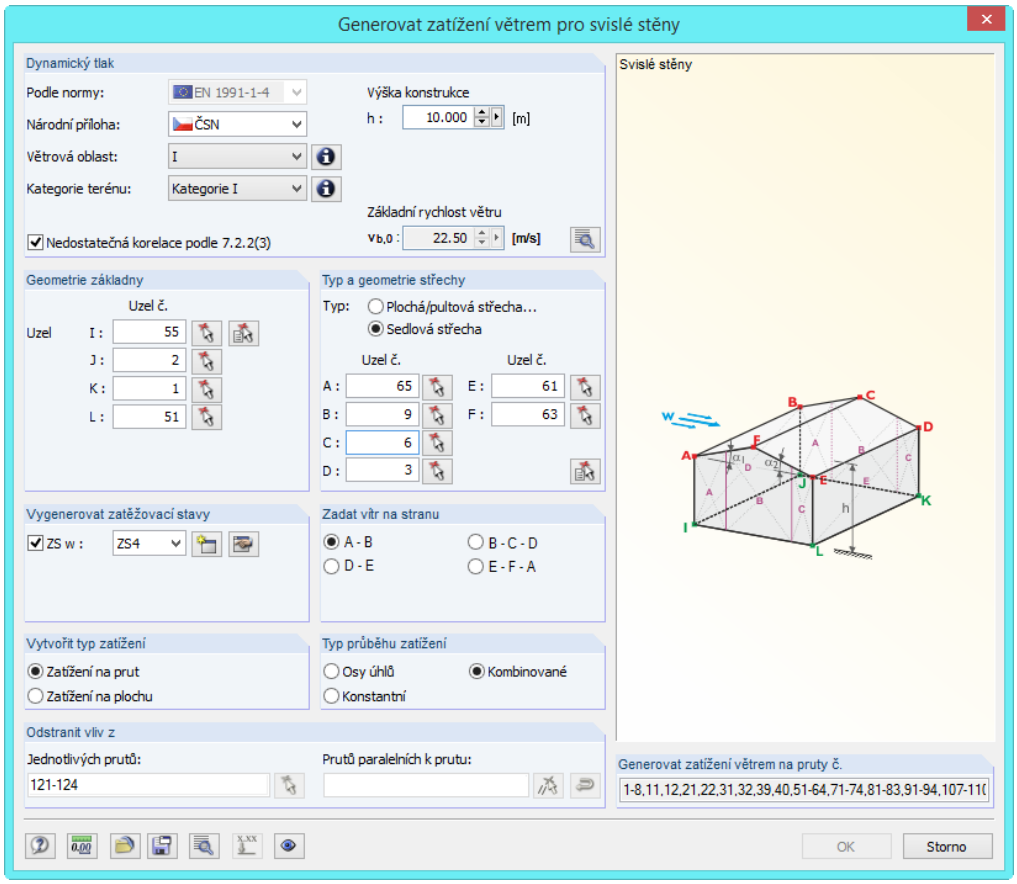
V sekci *Parametry zatížení sněhem* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Zadání parametrů popisujeme v kapitole 11.8.4.1. *Geometrii střechy* stanovíme u sedlové střechy tak, že uvedeme čísla rohových uzlů střechy *A* až *F* podle obrázku v pravé části dialogu. Uzly lze vybrat také pomocí funkce v grafickém okně.

V sekcích *Vygenerovat ZS* a *ZS pro zatížení sněhovou návějí* uvedeme čísla požadovaných zatěžovacích stavů. Alternativní zatěžovací stavy vzniknou, pokud se mají uvažovat přídavná zatížení sněhem (např. DIN 1055-5, obr. 4) nebo tvarové součinitele (např. EN 1991-1-3, obr. 5.3). Tlačítka umožňují vytvořit nové zatěžovací stavy pro zatížení sněhem, resp. sněhovou návějí.

11.8.5 Zatížení větrem

11.8.5.1 Svislé stěny

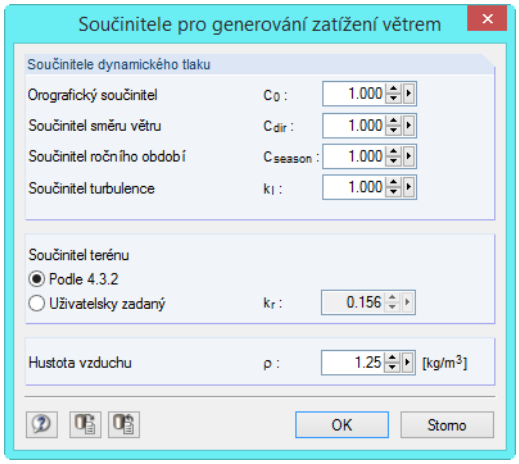


Obrázek 11.196 Dialog *Generovat zatížení větrem pro svislé stěny* (geometrie střechy: *sedlová střecha*)

V sekci *Dynamický tlak* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Větrovou oblast a kategorii terénu můžeme po kliknutí na tlačítko vybrat graficky v příslušné mapě. Výška konstrukce *h* se nepřevezme automaticky z modelu; uživatel ji musí sám zadat. Na základě zadaných údajů se stanoví základní rychlost větru $v_{b,0}$.

Po kliknutí na tlačítko se otevře dialog, v němž lze zadat další součinitele, které mají vliv na výpočet zatížení větrem (viz obr. 11.197).



Obrázek 11.197 Dialog *Součinitele pro generování zatížení větrem*

Stěny jsou dány *geometrií základny* (uzly *I* až *L* základové plochy dole) a *geometrií střechy* (uzly *A* až *D*, resp. *F* plochy příslušné střechy nahoře). V případě přesahu střechy je třeba zadat horní uzly dané stěny, nikoli střešní uzly. Z obrázku v dialogu je zřejmé, že generovat lze zatížení větrem u konstrukcí uzavřených ze všech stran, které mají čtverhrannou základnu. Při zadání geometrie je třeba dát pozor na to, aby počáteční uzly *I* a *A* ležely nad sebou a ostatní uzly byly u základny i střechy zadávány postupně ve stejném směru. Geometrii základny i střechy můžeme stanovit také pomocí tlačítek a v grafickém okně.

V sekci *Vygenerovat zatěžovací stavy* je třeba zadat číslo požadovaného zatěžovacího stavu. Tlačítko umožňuje vytvořit nový zatěžovací stav pro zatížení větrem.

Směr proudění větru je třeba stanovit v sekci *Zadat vítr na stranu*. Tlak větru bude působit kolmo na určenou přímku.

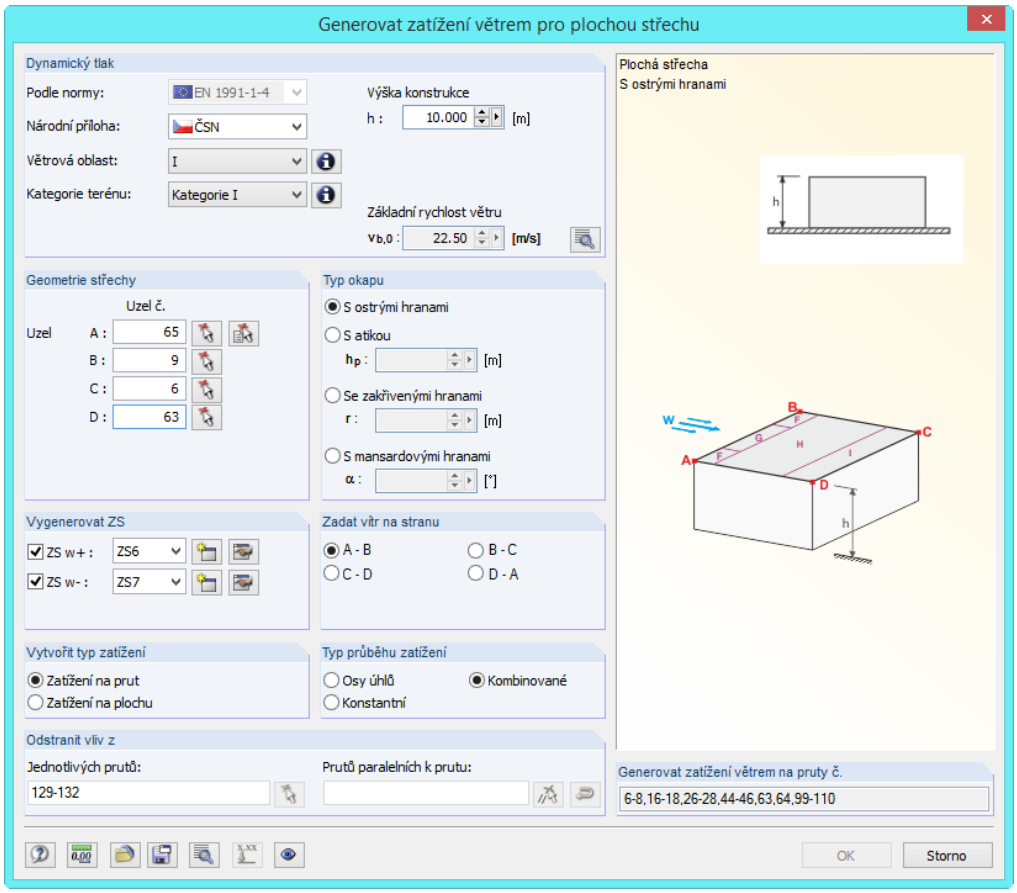
Pokud model obsahuje plochy, můžeme v sekci *Vytvořit typ zatížení* stanovit, zda se mají vygenerovat zatížení na pruty nebo na plochu.

Sekce *Typ průběhu zatížení* a *Odstranit vliv z* jsme vysvětlili výše při popisu dialogu Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin.

Tlačítko slouží k vyvolání dialogu *Nastavení pro generování zatížení* (viz obr. 11.178).

Po kliknutí na tlačítko [OK] se nejdříve zobrazí výsledky generování zatížení v informativním přehledu. Lze tak porovnat zatížení působící na plochu s konvertovaným zatížením. Tlačítko umožňuje vrátit se před předáním zatížení do RFEMu opět do výchozího dialogu a upravit parametry zatížení.

11.8.5.2 Plochá střecha



Obrázek 11.198 Dialog *Generovat zatížení větrem pro plochou střechu*

Střecha je považována za plochou, pokud je sklon střechy $\alpha < 5°$.

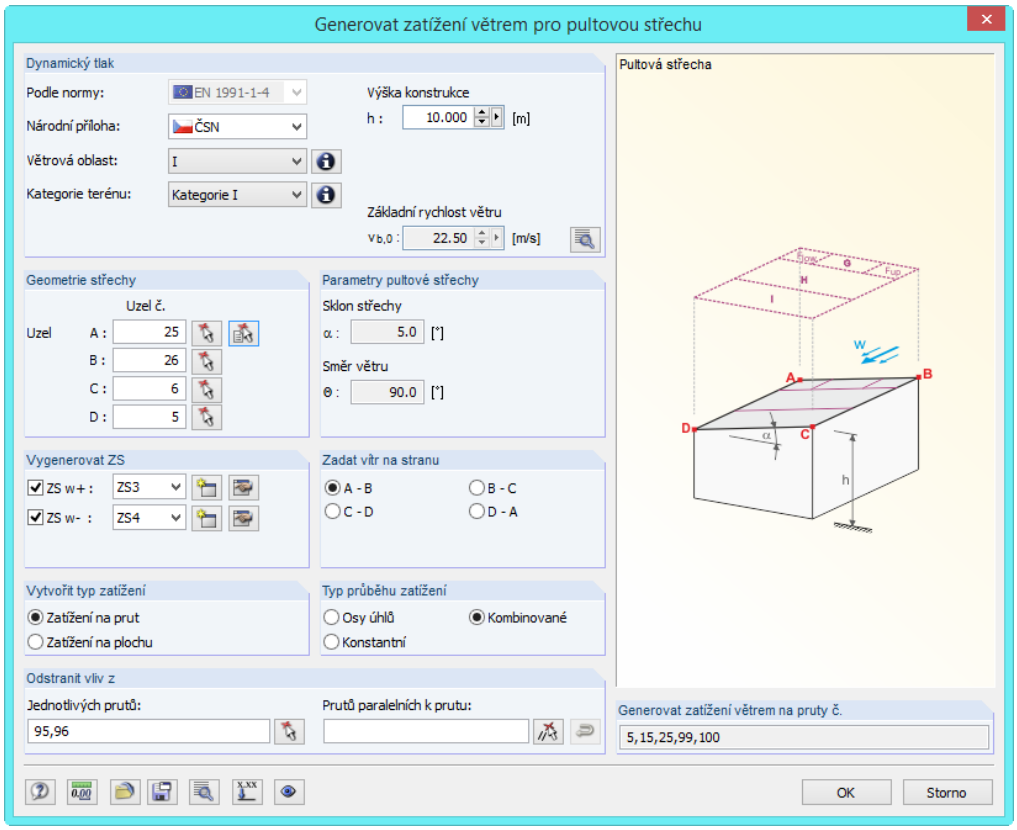
V sekci *Dynamický tlak* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Zadání parametrů popisujeme v kapitole 11.8.5.1. Sekce *Typ okapu* je propojena s názornými grafikami v pravé části dialogu.

Jak je zřejmé např. z EN 1991-1-4, tab. 7.2, v případě ploché střechy je třeba uvažovat několik zatěžovacích stavů. V sekci *Vygenerovat ZS* je třeba zadat čísla požadovaných zatěžovacích stavů. *ZS w+* obsahuje zatížení tlakem a *ZS w-* zatížení sáním větru. Tlačítko umožňuje vytvořit příslušné zatěžovací stavy.

Po kliknutí na tlačítko [OK] se nejdříve zobrazí výsledky generování zatížení v souhrnném přehledu pro všechny zatěžovací stavy (viz obr. 11.201). Tento přehled nabízí možnost kontroly před definitivním uložením výsledků konverze. U každého zatěžovacího stavu se pro jednotlivé oblasti zobrazí i uvažovaný součinitel vnějšího tlaku $c_{pe,10}$ a vnější tlak w_e.

11.8.5.3 Pultová střecha



Obrázek 11.199 Dialog *Generovat zatížení větrem pro pultovou střechu*

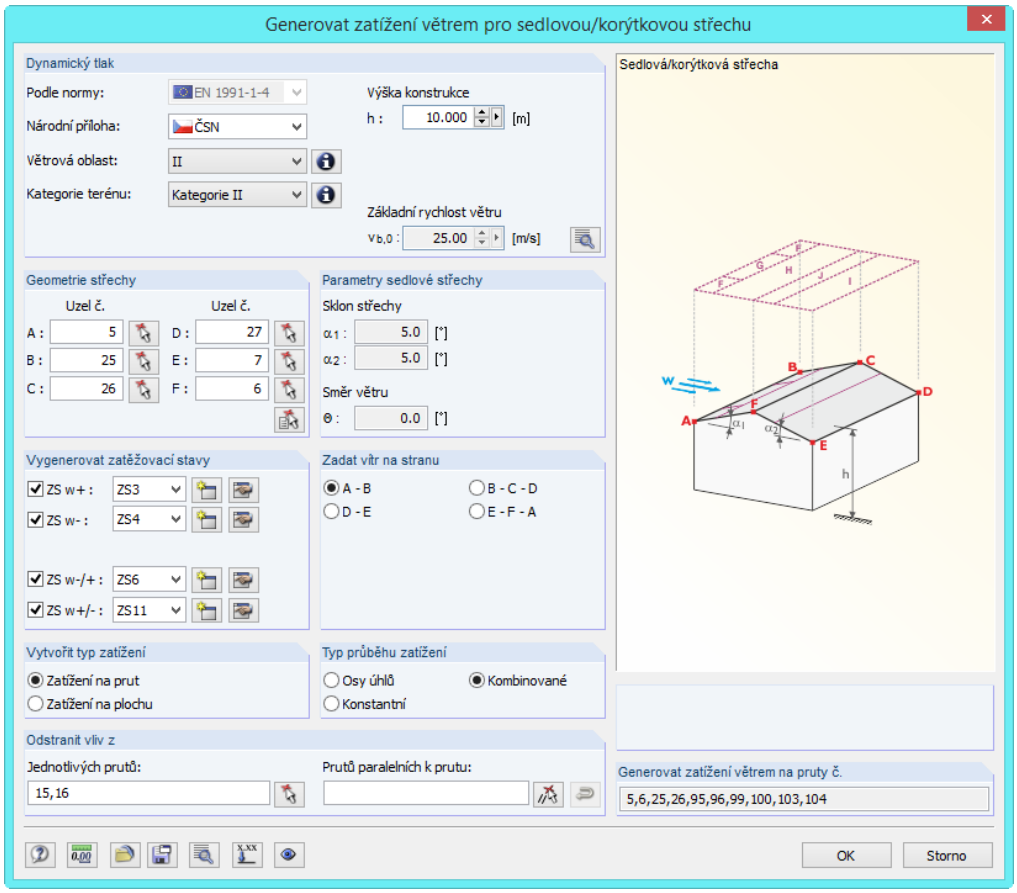
V sekci *Dynamický tlak* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Zadání parametrů popisujeme v kapitole 11.8.5.1. *Parametry pultové střechy* se automaticky stanoví na základě geometrie střechy a zadané návětrné strany.

Jak je zřejmé např. z EN 1991-1-4, tab. 7.3a, v případě pultové střechy je třeba uvažovat několik zatěžovacích stavů. V sekci *Vygenerovat ZS* je třeba zadat čísla požadovaných zatěžovacích stavů. *ZS w+* obsahuje zatížení tlakem a *ZS w-* zatížení sáním větru. Tlačítko umožňuje vytvořit příslušné zatěžovací stavy.

Pomocí tlačítka lze upravovat zatížení přiřazená vybraným prutům. Tímto způsobem můžeme například zohlednit spojitý účinek střešního bednění na krajní krokve a vygenerovat tu redukovaná prutová zatížení. Údaje se zadávají v samostatném dialogu (viz obr. 11.187).

11.8.5.4 Sedlová/korýtková střecha



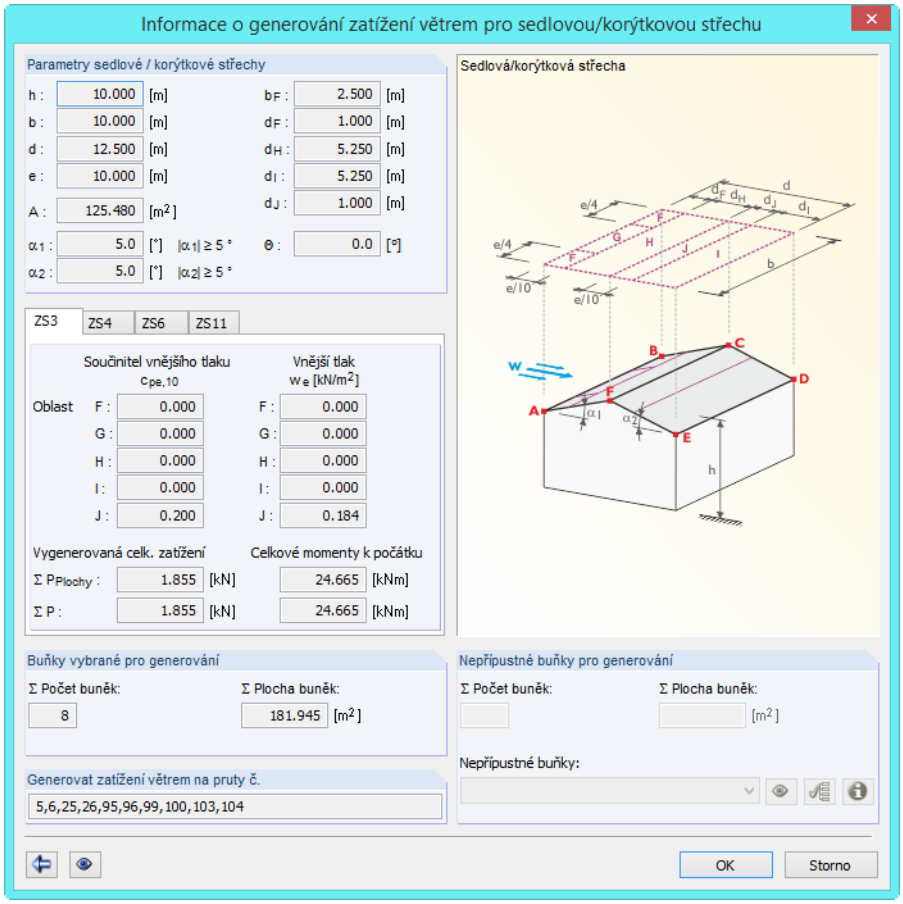
Obrázek 11.200 Dialog *Generovat zatížení větrem pro sedlovou/korýtkovou střechu*

V sekci *Dynamický tlak* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Zadání parametrů popisujeme v kapitole 11.8.5.1. *Parametry sedlové střechy* se automaticky stanoví na základě geometrie střechy a zadané návětrné strany.

Jak je zřejmé např. z EN 1991-1-4, tab. 7.4a, v případě sedlové střechy je třeba uvažovat několik zatěžovacích stavů. V sekci *Vygenerovat zatěžovací stavy* je třeba zadat čísla požadovaných zatěžovacích stavů. *ZS w+* obsahuje zatížení tlakem a *ZS w-* zatížení sáním větru. Kombinace (tzn. tlak na jedné straně a sání větru na druhé straně střechy) se vyjádří jako *ZS w-/+* a *ZS w+/-*. Tlačítko umožňuje vytvořit příslušné zatěžovací stavy.

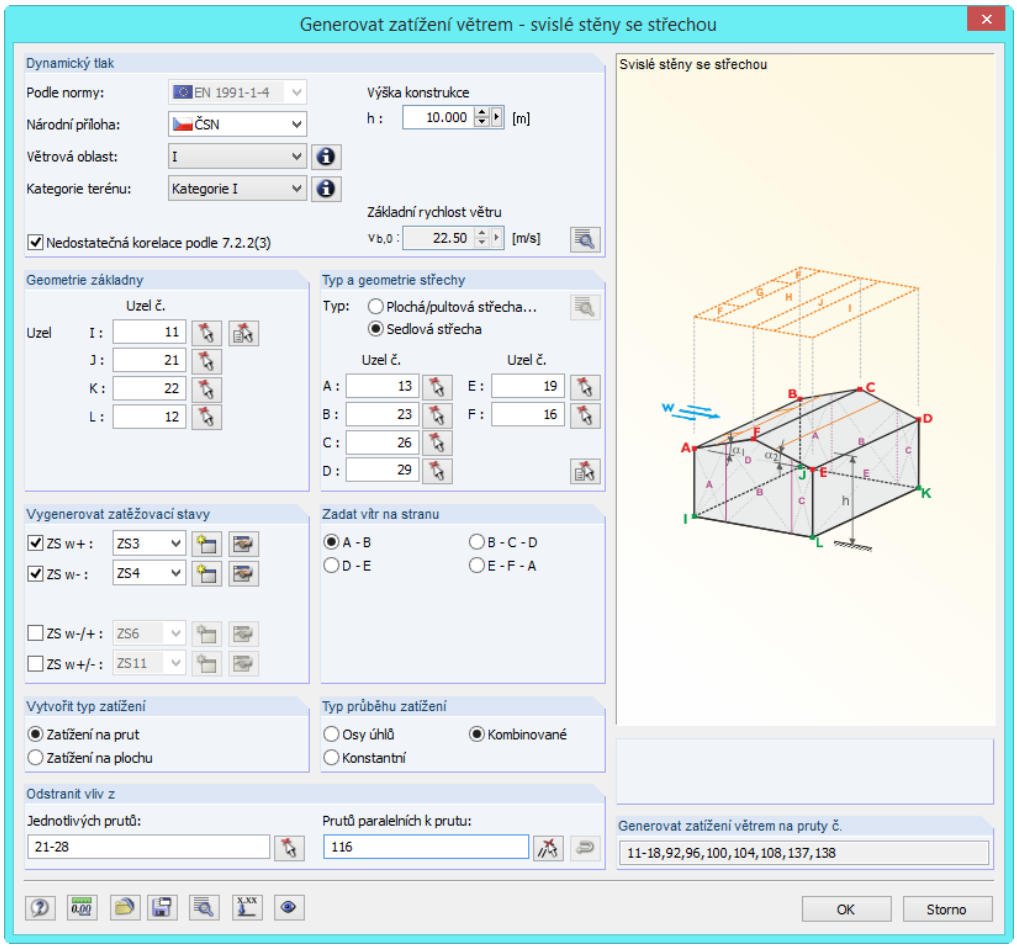
Po kliknutí na tlačítko [OK] se nejdříve zobrazí výsledky generování zatížení v souhrnném přehledu pro všechny zatěžovací stavy (viz obr. 11.201). Tento přehled nabízí možnost kontroly před definitivním uložením výsledků konverze. U každého zatěžovacího stavu se pro jednotlivé oblasti zobrazí i uvažovaný součinitel vnějšího tlaku $c_{pe,10}$ a vnější tlak w_e.



Obrázek 11.201 Dialog *Informace o generování zatížení větrem pro sedlovou/korýtkovou střechu*

Tlačítko umožňuje vrátit se před předáním zatížení do RFEMu opět do výchozího dialogu a upravit parametry zatížení.

11.8.5.5 Svislé stěny se střechou



Obrázek 11.202 Dialog *Generovat zatížení větrem - svislé stěny se střechou* (geometrie střechy: *sedlová střecha*)

V sekci *Dynamický tlak* nejdříve vybereme normu a případně národní přílohu. Na daném nastavení závisí, jaká další vstupní políčka se zpřístupní.

Zadání parametrů popisujeme v kapitole 11.8.5.1.

Jak je zřejmé např. z EN 1991-1-4, tab. 7.4a, v případě sedlové střechy je třeba uvažovat několik zatěžovacích stavů. V sekci *Vygenerovat zatěžovací stavy* je třeba zadat čísla požadovaných zatěžovacích stavů. *ZS w+* obsahuje zatížení tlakem a *ZS w-* zatížení sáním větru. Kombinace (tzn. tlak na jedné straně a sání větru na druhé straně střechy) se vyjádří jako *ZS w-/+* a *ZS w+/-*. Tlačítko umožňuje vytvořit příslušné zatěžovací stavy.

Pomocí tlačítka lze upravovat zatížení přiřazená vybraným prutům. Údaje se zadávají v samostatném dialogu (viz obr. 11.187).

Po kliknutí na tlačítko [OK] se nejdříve zobrazí výsledky generování zatížení v souhrnném přehledu pro všechny zatěžovací stavy (viz obr. 11.201). Tento přehled nabízí možnost kontroly před definitivním uložením výsledků konverze. U každého zatěžovacího stavu se pro jednotlivé oblasti zobrazí i uvažovaný součinitel vnějšího tlaku $c_{pe,10}$ a vnější tlak w_e.

12 Správa souborů

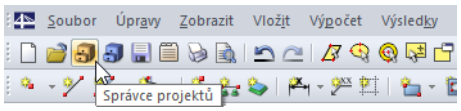
V této kapitole popíšeme uspořádání dat ve správci projektů a používání takzvaných bloků pro často se opakující části modelů. Dále představíme rozhraní integrovaná do programu RFEM pro výměnu dat s jinými programy.

12.1 Správce projektů

Při statických výpočtech je projekt většinou rozdělen do několika úloh, které v RFEMu nazýváme „modely“. Interní programový *správce projektů* uživatelům značně usnadní organizaci modelů z našich aplikací. Správce projektů můžeme použít ke správě modelů z RFEMu ukládaných nejen na pevném, ale také síťovém disku (viz kapitola 12.3).

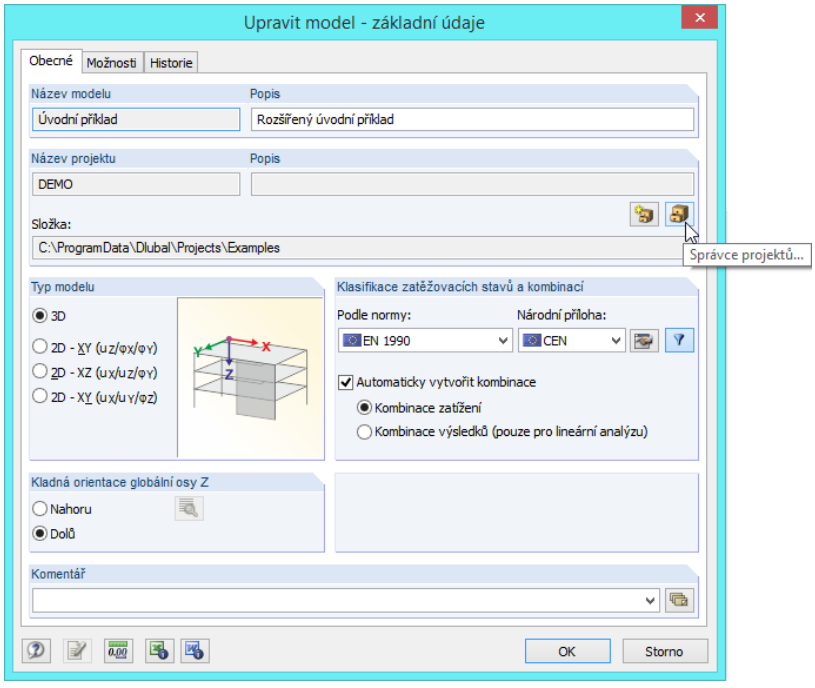
Správce projektů může běžet jako samostatný program na pozadí, zatímco budeme pracovat v RFEMu.

Správce projektů otevřeme z hlavní nabídky **Soubor** → **Správce projektů...** nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



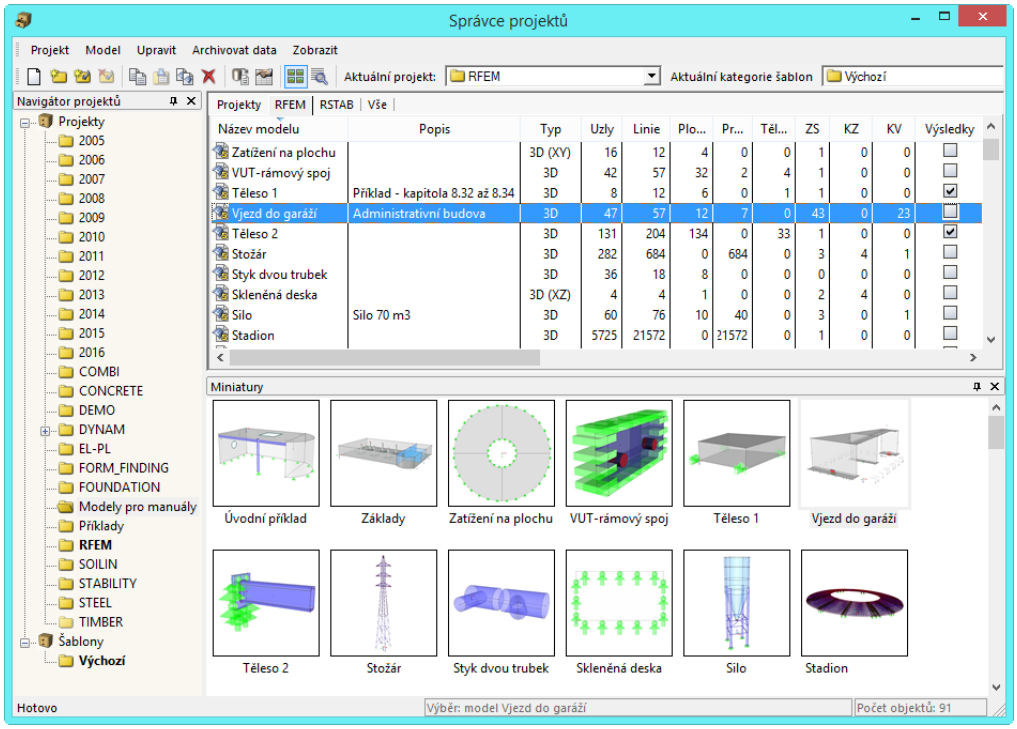
Obrázek 12.1 Tlačítko *Správce projektů* v panelu nástrojů

Správce projektů je přístupný rovněž z dialogu *Základní údaje* každého modelu.



Obrázek 12.2 Tlačítko *Správce projektů...* v dialogu *Upravit model - základní údaje*

Po vyvolání správce projektů se zobrazí okno rozdělené do několika částí. Toto okno má vlastní hlavní nabídku i panel nástrojů.



Obrázek 12.3 Správce projektů

Navigátor projektů

Vlevo se zobrazí navigátor, v jehož stromové struktuře jsou uspořádány všechny dosud založené projekty. Aktuální projekt je zvýrazněn tučně. Nastavit jiný projekt jako aktuální lze tak, že na dotyčný projekt dvakrát klikneme nebo ho vybereme v seznamu *Aktuální projekt* v panelu nástrojů. Na pravé straně jsou v tabulce vypsány všechny modely, které vybraný projekt obsahuje.

Tabulka modelů

Modely jsou řazeny v různých záložkách podle jednotlivých aplikací firmy Dlubal. Všechny modely vybraného projektu vytvořené v RFEMu se načtou v záložce *RFEM*. Kromě *názvu modelu* a *popisu* se tu uvádí důležitá data o souboru včetně údajů, kdo kdy úlohu založil a naposledy upravoval.

Sloupce, které si přejeme zobrazit, lze nastavit z hlavní nabídky **Zobrazit → Nastavení sloupců...** nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

Detaily

V této části okna se zobrazí všechny dostupné informace o modelu, který jsme vybrali v tabulce nahoře.

Náhled

Vybraný model se zobrazí v náhledu. Velikost okna náhledu můžeme upravit posunutím jeho horního okraje.

Miniatury

Ve spodní části správce projektů se zobrazí modely daného projektu v grafickém přehledu. Obrázky jsou s tabulkou modelů interaktivní.

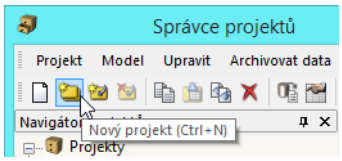
Kliknutím na tlačítko se symbolem špendlíku v pravém horním rohu lze jednotlivé části okna minimalizovat. Zobrazí se pak jako záložky v dolní liště správce projektů.

12.1.1 Práce s projekty

Založení nového projektu

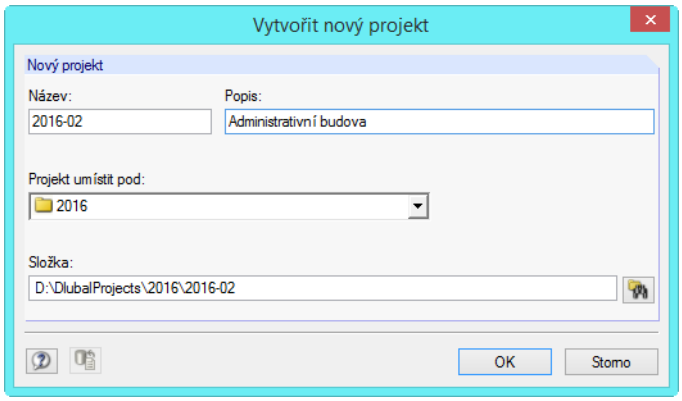
Nový projekt se vytváří

- z hlavní nabídky ve správci projektů **Projekt** ⟶ **Nový**...
- pomocí tlačítka [Nový projekt] v panelu nástrojů.

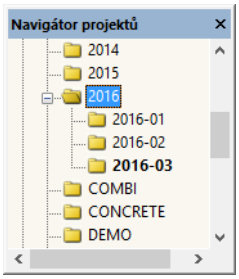


Obrázek 12.4 Tlačítko *Nový projekt*

Otevře se dialog, v němž je třeba vyplnit pole *Název* projektu a *Složka*, do které se modely uloží. K nastavení složky můžeme použít tlačítko . Uživatel může uvést také krátký *popis* projektu. Popis se zobrazí v hlavičce výstupního protokolu; jiné využití nemá.



Obrázek 12.5 Dialog *Vytvořit nový projekt*



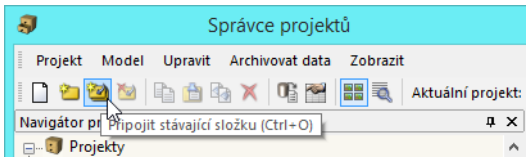
Program nabízí možnost vytvářet ve správci projektů podprojekty. Pokud v seznamu *Projekt umístit pod* vybereme některý již založený projekt, bude nový projekt veden v navigátoru jako podprojekt. V opačném případě je třeba zvolit v seznamu nadřazenou položku *Projekty*. Projekt se pak zobrazí v navigátoru jako hlavní položka.

Po kliknutí na [OK] se vytvoří nová složka s názvem projektu na pevném nebo síťovém disku.

Připojení stávající složky

Složku, která již obsahuje modely vytvořené v programu RFEM, lze připojit jako projekt

- z hlavní nabídky ve správci projektů **Projekt** ⟶ **Připojit složku**...
- pomocí tlačítka [Připojit stávající složku] v panelu nástrojů.



Obrázek 12.6 Tlačítko *Připojit stávající složku*

Není podstatné, v jaké složce na pevném nebo síťovém disku se daný projekt nachází. Projekt se

převezme do interního programového správce, dále však zůstane na svém místě — podobně jako při odeslání souboru na plochu. Informace se uloží v ASCII souboru **PRO.DLP** ve složce **Project Manager** (viz kapitola 12.1.4.3).

Otevře se dialog, který má podobnou strukturu jako dialog na obr. 12.5. Uvedeme *název* a *popis* projektu a případně pomocí tlačítka nastavíme cestu ke *složce*.

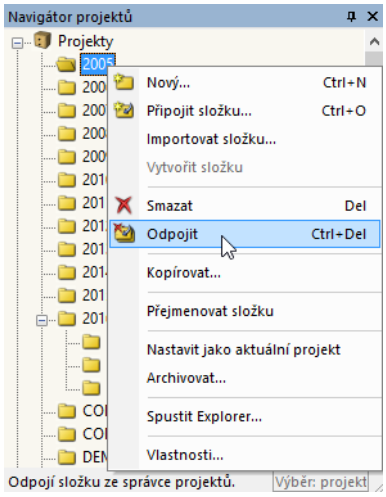
Pokud je v seznamu *Projekt umístit pod* uveden určitý projekt, musí být složka zařazena do adresáře uvedeného projektu. Bude pak spravována jako podprojekt. Pokud má však složka figurovat ve správci projektů jako samostatný projekt, pak je třeba vybrat v seznamu nadřazenou položku *Projekty*.

Volba *Připojit složku včetně všech podsložek* umožňuje převzít do správce projektů všechny složky z určitého adresáře najednou.

Odpojení složky

Připojení složky do správce projektů zrušíme

- z hlavní nabídky **Projekt** ⟶ **Odpojit** (je třeba předem vybrat některý projekt)
- pomocí tlačítka [Odpojit projekt] v panelu nástrojů
- z místní nabídky projektu v navigátoru.



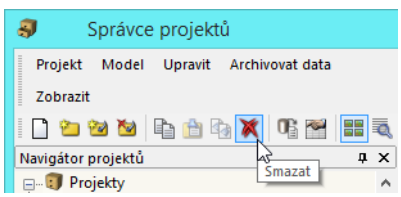
Obrázek 12.7 Místní nabídka projektu

Projekt bude odstraněn z vnitřního systému správce projektů, složka nicméně zůstane beze změny zachována na pevném disku.

Smazání projektu

Projekt lze smazat

- z hlavní nabídky správce projektů **Projekt** ⟶ **Smazat** (v seznamu je třeba předem vybrat některý projekt)
- pomocí tlačítka [Smazat] v panelu nástrojů
- pomocí příkazu **Smazat** v místní nabídce projektu v navigátoru (viz obr. 12.7).



Obrázek 12.8 Tlačítko *Smazat*

Obsah složky na pevném disku bude smazán.

Pokud se však ve složce nacházejí i soubory z jiných programů, pak se smažou pouze soubory vytvořené v aplikacích firmy Dlubal a složka zůstane zachována.

Projekty, které budou smazány nedopatřením, lze obnovit z hlavní nabídky

Upravit ⟶ Obnovit z koše...

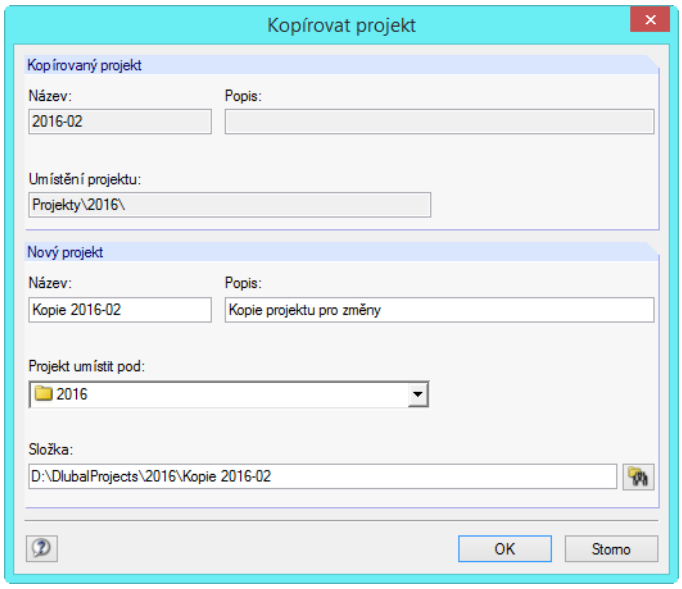
Funkci koše popisujeme v kapitole 12.1.4.2.

Pokud smažeme soubory ze síťového disku, pak se smazané soubory ze sítě zkopírují na pevný disk do Dlubal koše. Soubory pak lze v případě potřeby obnovit z příslušného počítače. Pokud si tento postup nepřejeme, měli bychom projekt odpojit (viz výše). Následně lze data ze síťového disku smazat ručně.

Kopírování projektu

Projekt lze kopírovat

- z hlavní nabídky správce projektů **Projekt ⟶ Kopírovat...** (v seznamu je třeba předem vybrat některý projekt)
- pomocí příkazu **Kopírovat...** v místní nabídce projektu v navigátoru (viz obr. 12.7).



Obrázek 12.9 Dialog *Kopírovat projekt*

V dialogu uvedeme *název*, *popis* a umístění nového projektu ve správci projektů a zadáme *složku*, která se při kopírování vytvoří.

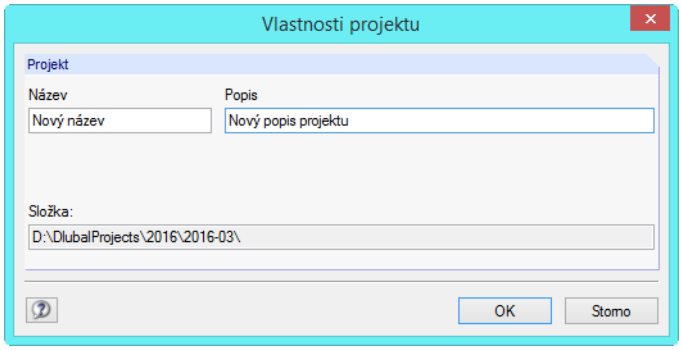
Projekt lze také kopírovat Windows Explorerem. Novou složku lze pak zařadit do interního správce projektů jako připojenou složku (viz obr. 12.6).

Přejmenování / úprava popisu projektu

Název a popis projektu lze dodatečně změnit

- z hlavní nabídky správce projektů **Projekt ⟶ Vlastnosti...** (v seznamu je třeba předem vybrat některý projekt)
- po výběru položky **Vlastnosti...** v místní nabídce projektu v navigátoru (viz obr. 12.7).

Otevře se dialog *Vlastnosti projektu*, v němž lze upravovat *název* a *popis* projektu. V poli *Složka* se zobrazí místo uložení projektu na disku.



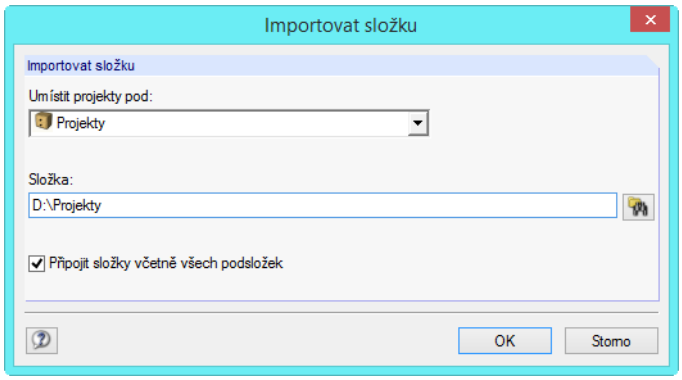
Obrázek 12.10 Dialog *Vlastnosti projektu*

Import složky

Tato funkce umožňuje po výměně počítače převést kompletní strukturu adresáře programového správce projektů, aniž bychom kopírovali soubor **PRO.DLP** (viz kapitola 12.3). Do správce projektů se přitom převezmou všechny projekty, které se nacházejí ve složce (tzn. daná složka musí obsahovat projekty, nikoliv modely). Projekty tak nemusíme připojovat do správce projektů jednotlivě.

Dialog pro import složky s projekty otevřeme z hlavní nabídky správce projektů

Projekt ⟶ Importovat složku...



Obrázek 12.11 Dialog *Importovat složku*

V seznamu *Umístit projekty pod* stanovíme, jak se má importovaná složka s projekty zařadit do struktury správce projektů. Pokud mají soubory figurovat ve správci projektů jako samostatné projekty, je třeba vybrat v seznamu nadřazenou položku *Projekty*. Pomocí tlačítka můžeme nastavit cestu k importované složce.

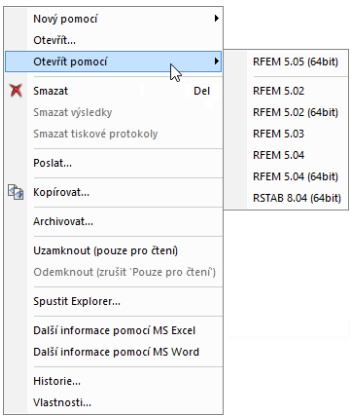
Volba *Připojit složky včetně všech podsložek* umožňuje začlenit do správce projektů všechny podsložky daných složek.

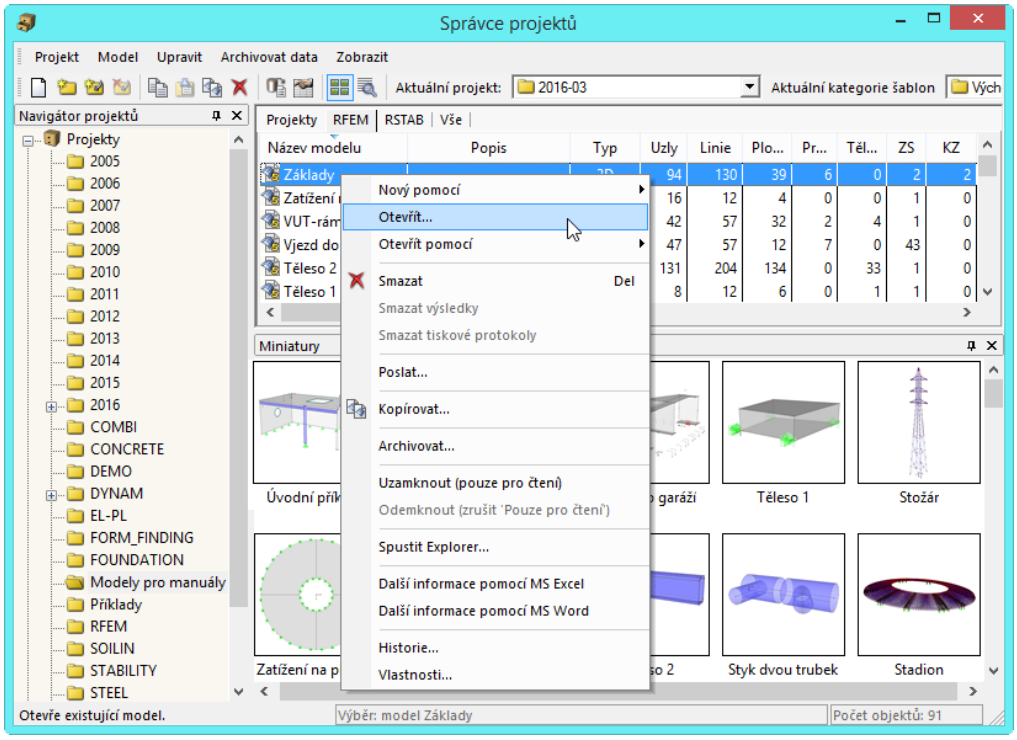
12.1.2 Práce s modely

Otevření modelu

Model konstrukce lze ve správci projektů otevřít

- dvojím kliknutím na název modelu nebo na jeho miniaturu
- z hlavní nabídky **Model ⟶ Otevřít...** (je třeba předem vybrat některý model)
- z místní nabídky daného modelu.





Obrázek 12.12 Místní nabídka *modelu*

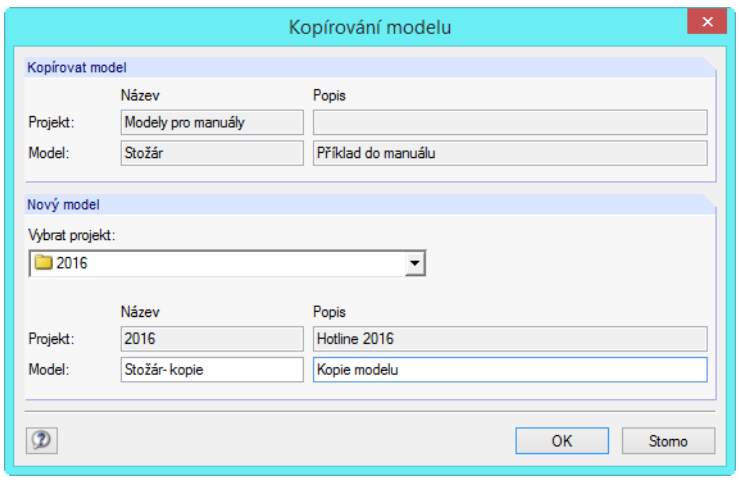
Funkce *Otevřít pomocí* v místní nabídce modelu umožňuje vybrat konkrétní aplikaci od firmy Dlubal, v které se má model otevřít.

Soubory z RSTABu lze v RFEMu otevřít přímo.

Kopírování / přesun modelu

Model zkopírujeme do jiného projektu

- z hlavní nabídky správce projektů **Model** → **Kopírovat...** (je třeba předem vybrat některý model)
- pomocí příkazu **Kopírovat...** v místní nabídce modelu (viz obr. 12.12) nebo
- pomocí funkce Drag & Drop se stisknutou klávesou [Ctrl].



Obrázek 12.13 Dialog *Kopírování modelu*

Otevře se dialog *Kopírování modelu*. V něm uvedeme cílový projekt a také *název* kopie modelu a její

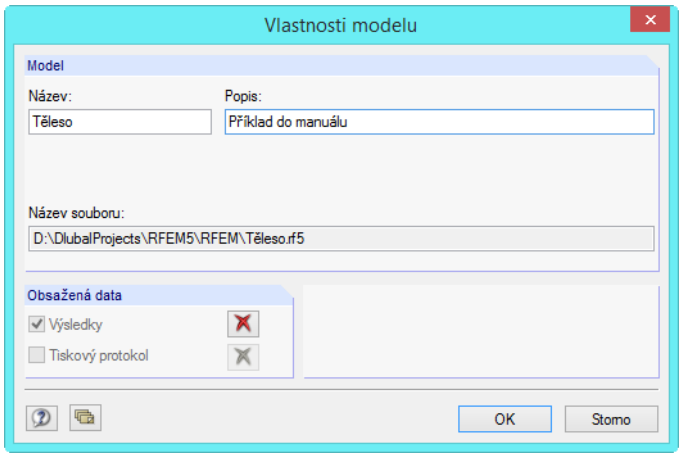
popis.

Model přesuneme do jiné složky jednoduše jeho uchopením a přetažením myší.

Přejmenování modelu

Model můžeme přejmenovat podobně jako projekt

- z hlavní nabídky správce projektů **Model** ⟶ **Vlastnosti...** (je třeba předem vybrat některý model)
- pomocí funkce **Vlastnosti...** v místní nabídce modelu (viz obr. 12.12).



Obrázek 12.14 Dialog *Vlastnosti modelu*

Ve výše znázorněném dialogu lze změnit *název* i *popis* modelu. V poli *Název souboru* je uvedena cesta ke složce, v níž je model uložen.

Pokud model obsahuje další data jako výsledky nebo tiskové protokoly, lze je tlačítkem odstranit z datové sady.

Smazání modelu

Model smažeme

- z hlavní nabídky správce projektů **Model** ⟶ **Smazat** (je třeba předem vybrat některý model)
- pomocí tlačítka [Smazat] v panelu nástrojů
- pomocí příkazu **Smazat** v místní nabídce modelu (viz obr. 12.12).

V případě potřeby lze smazat pouze *výsledky* nebo *tiskové protokoly* modelu. Vstupní data zůstanou v takovém případě zachována.

Modely, které budou smazány nedopatřením, lze obnovit z hlavní nabídky

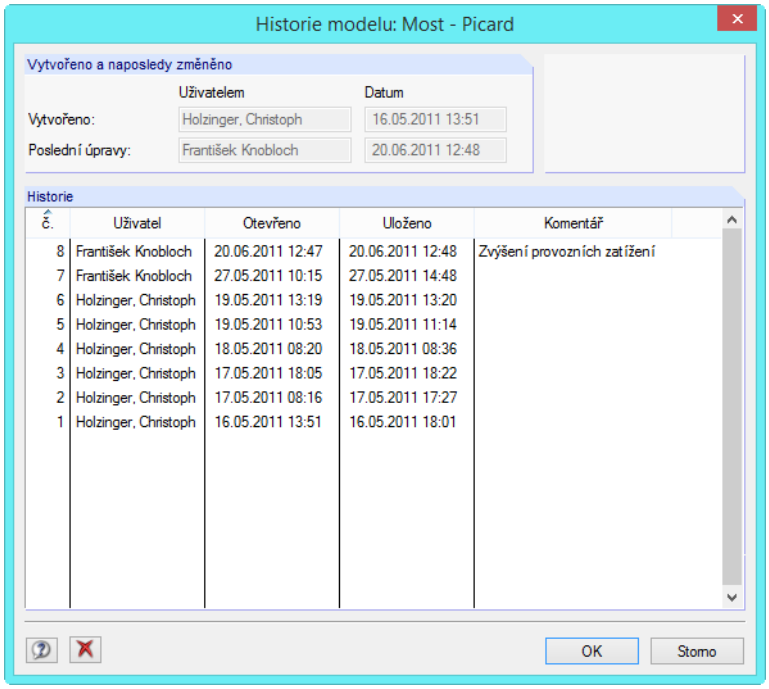
Upravit ⟶ **Obnovit z koše...**

Funkci koše popisujeme v kapitole 12.1.4.2 .

Prohlížení historie

Průběh zpracování modelu konstrukce lze prohlížet

- z hlavní nabídky správce projektů **Model** ⟶ **Zobrazit historii** (je třeba předem vybrat některý model)
- pomocí funkce **Historie...** v místní nabídce modelu (viz obr. 12.12).



Obrázek 12.15 Informativní okno *Historie modelu*

Otevře se okno, v němž je zaznamenáno, kdo kdy model vytvořil, otevřel nebo změnil.

Ve sloupci *Komentář* se zobrazí poznámky, které se načtou ze základních údajů modelu ze záložky *Historie*. Lze tak dobře zdokumentovat stav zpracování každého modelu (viz kapitola 12.2.3).

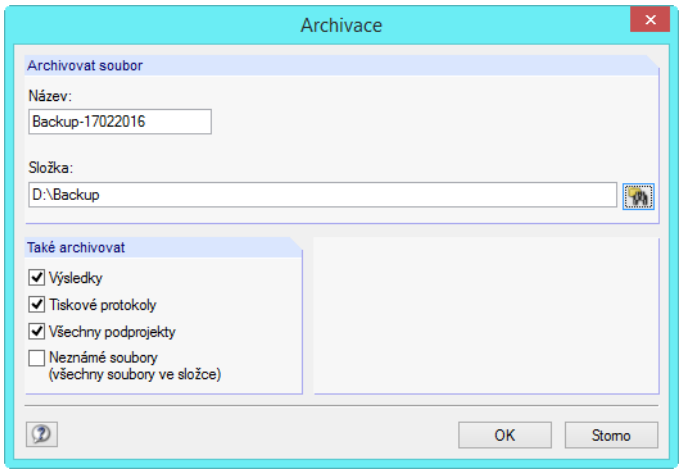
12.1.3 Zálohování dat

Archivace

Vybrané modely nebo také celou projektovou složku lze uložit v komprimovaném archivním souboru. Původní modely, resp. složky zůstanou zachovány.

Archivaci spustíme

- z hlavní nabídky správce projektů **Archivovat data → Archivovat...** (je třeba předem vybrat určitý model, příp. projekt)
- z místní nabídky projektu (viz obr. 12.7) nebo modelu (viz obr. 12.12).



Obrázek 12.16 Dialog *Archivace*

Soubor lze archivovat včetně výsledků a tiskových protokolů. Lze do něj zahrnout případně také všechny podprojekty a soubory z jiných programů, které jsou ve složce uloženy.

Po uvedení *názvu* a *složky* pro komprimovaný soubor a po kliknutí na tlačítko [OK] se vygeneruje příslušný soubor ve formátu ZIP.

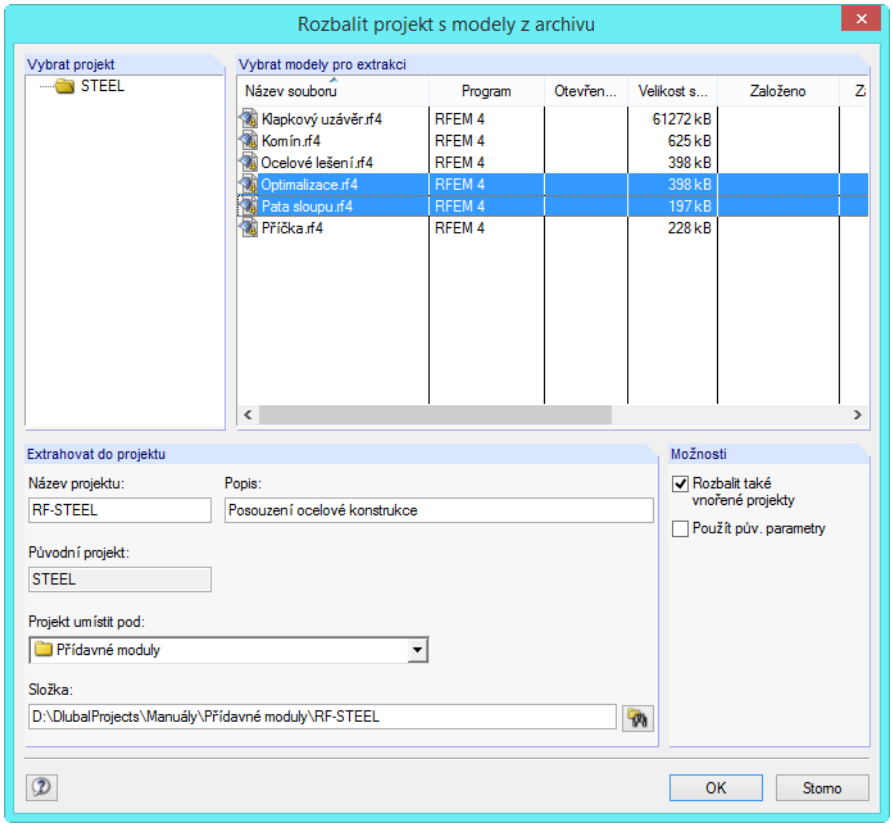
Dekomprimace

Komprimovaný archivní soubor lze znovu rozbalit z hlavní nabídky správce projektů

Archivovat data ⟶ **Extrahovat projekt z archivu...**, resp.

Archivovat data ⟶ **Rozbalit modely z archivu**.

Otevře se standardní Windows dialog *Otevřít*, v němž vybereme příslušný archivní soubor ve formátu ZIP. Po kliknutí na [OK] se zobrazí jeho obsah v dialogu.



Obrázek 12.17 Dialog *Rozbalit projekt s modely z archivu*

V tabulce *Vybrat modely pro extrakci* zvolíme modely, které si přejeme znovu načíst. Modely lze rozbalit do nového nebo původního projektu. Můžeme však vybrat i libovolný jiný projekt ze seznamu *Projekt umístit pod*, popřípadě lze složku navolit pomocí tlačítka .

12.1.4 Nastavení

12.1.4.1 Zobrazení

Náhled obrázků a zobrazení detailů

Část obrazovky pod tabulkou se seznamem modelů může uživatel upravovat. Nezávisle na sobě zde může aktivovat dvě doplňková okna.

Okna zobrazíme z hlavní nabídky správce projektů

Zobrazit ⟶ Náhled obrázků všech modelů, resp.

Zobrazit ⟶ Detaily aktuálního modelu

nebo použijeme příslušná tlačítka v panelu nástrojů.

	Zobrazí miniaturní obrázky všech modelů v daném projektu.
	Zobrazí podrobné údaje o aktuálně vybraném modelu a jeho obrázek.

Tabulka 12.1 Tlačítka pro ovládání zobrazení

Seřazení modelů

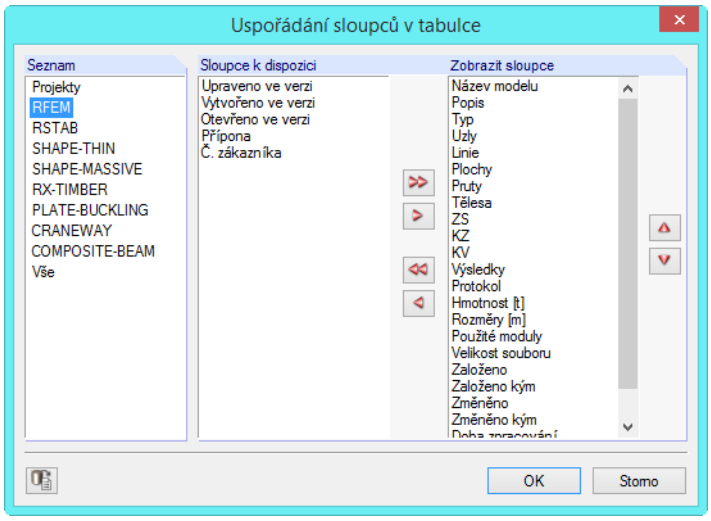
Uživatel může seznam modelů v tabulce upravovat. Stejně jako v jiných aplikacích v OS Windows lze kliknutím na názvy sloupců seřadit položky seznamu vzestupně nebo sestupně. Další možností je vybrat v hlavní nabídce položku

Zobrazit ⟶ Seřadit modely.

Úprava sloupců

Uživatel má možnost podle vlastních požadavků uspořádat sloupce

- z hlavní nabídky **Zobrazit ⟶ Nastavení sloupců...**
- kliknutím na tlačítko [Upravit uspořádání sloupců] v panelu nástrojů.



Obrázek 12.18 Dialog *Uspořádání sloupců v tabulce*

Otevře se dialog, v jehož levé části nejdříve v *seznamu* stanovíme, v jaké záložce se budou sloupce upravovat (např. RFEM). Ze seznamu *Sloupce k dispozici* nyní můžeme vybírat jednotlivé položky a zařazovat je na seznam *Zobrazit sloupce*. K výběru položek slouží tlačítka , vybrat je lze však i tak, že na ně dvakrát klikneme. Pomocí tlačítek lze naopak některé nebo i všechny sloupce ze seznamu opět odstranit.

Pořadí sloupců v tabulce modelů lze ovlivnit tlačítky a . Jejich pomocí lze položku v seznamu *Zobrazit sloupce* přesouvat nahoru nebo dolů.

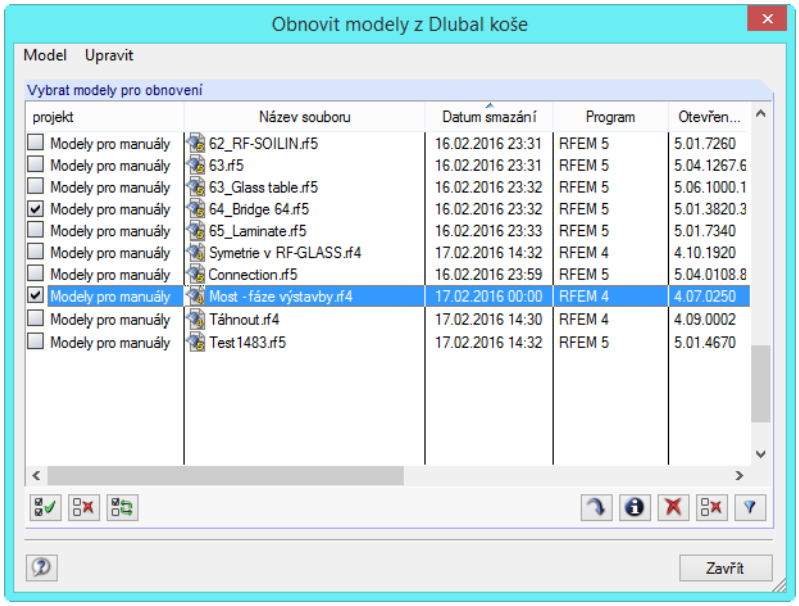
Po zvolení příkazu v hlavní nabídce **Zobrazit → Seřadit automaticky** nebo po kliknutí na příslušné tlačítko v panelu nástrojů se optimalizuje šířka sloupců v tabulce modelů.

12.1.4.2 Koš

Projekty a modely, které jsme smazali, lze obnovit z hlavní nabídky správce projektů

Upravit → Obnovit z koše...

Zobrazí se dialog, v němž jsou smazané modely seřazeny podle projektů.



Obrázek 12.19 Dialog *Obnovit modely z Dlubal koše*

Kliknutím myší vybereme modely, které chceme obnovit. Tlačítko umožňuje označit všechny položky najednou. Tlačítko slouží k zařazení smazaných modelů do původních složek.

Objekty umístěné do Dlubal koše můžeme smazat z hlavní nabídky správce projektů

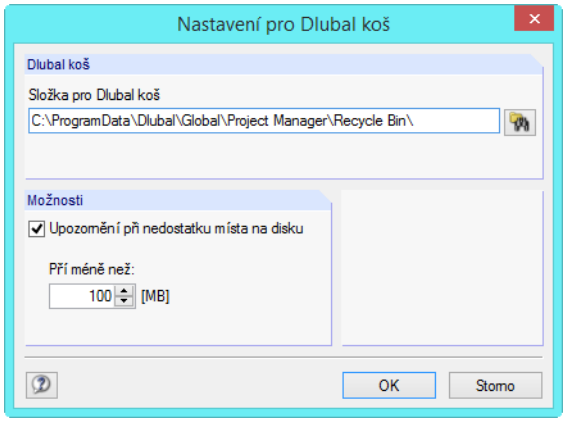
Upravit → Vyprázdnit koš.

Předtím, než se položky v koši s konečnou platností smažou, program zobrazí kontrolní dotaz.

Nastavení Dlubal koše lze provést z hlavní nabídky ve správci projektů pomocí funkce

Upravit → Nastavení pro Dlubal koš...

Otevře se dialog, v němž se zadává složka pro koš a případně se zvolí možnost upozornění v případě nedostatku místa na disku.

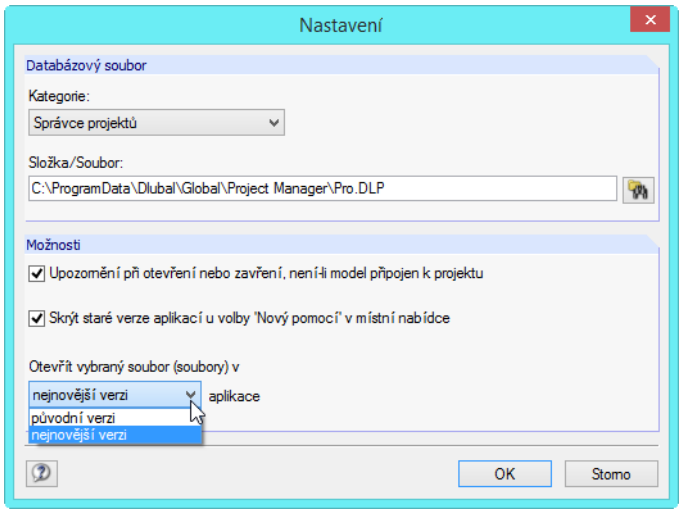


Obrázek 12.20 Dialog *Nastavení pro Dlubal koš*

12.1.4.3 Složky

Cestu ke složkám správce projektů (a katalogu bloků) můžeme zkontrolovat v dialogu *Nastavení*. Tento dialog otevřeme z hlavní nabídky správce projektů

Upravit ⟶ Možnosti programu...



Obrázek 12.21 Dialog *Nastavení*

V sekci *Kategorie* se nastavuje zvlášť cesta ke složkám správce projektů a ke katalogu bloků. Složka a název souboru se zobrazí ve vstupním políčku níže a lze je v případě potřeby upravit. Projekty nacházející se ve správci projektů se spravují v souboru **PRO.DLP** obvykle v adresáři *C:\ProgramData\Dlubal\Global\Project Manager*. Pomocí tlačítka lze jednoduše nastavit jinou cestu k souboru.

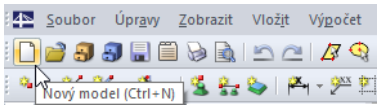
Vzhledem k tomu, že správce projektů je síťově kompatibilní, může správa souborů probíhat také na centrálním místě: správce projektů běží na každém lokálním počítači, používá se však centrální soubor *PRO.DLP* na serveru (viz kapitola 12.3).

Sekce *Možnosti* nabízí obecné nastavení pro práci se soubory RFEM: při otevření souboru z Exploreru, elektronické pošty atd. se obvykle zobrazí upozornění, pokud daná složka není připojena do správce projektů. Toto hlášení můžeme deaktivovat. Kromě toho zde můžeme nastavit, v které verzi programu se mají soubory vytvořit nebo otevřít.

12.2 Vytvoření nového modelu

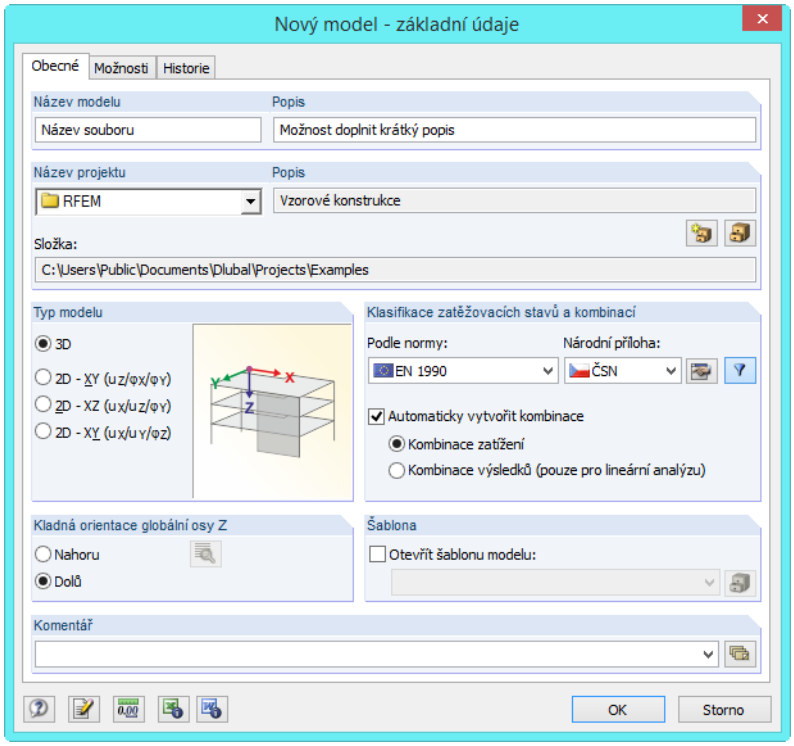
Nový model lze vytvořit

- z hlavní nabídky programu RFEM **Soubor → Nový**
- pomocí tlačítka [Nový model] v panelu nástrojů
- z hlavní nabídky ve správci projektů **Model → Nový pomocí → RFEM 5**.



Obrázek 12.22 Tlačítko *Nový model*

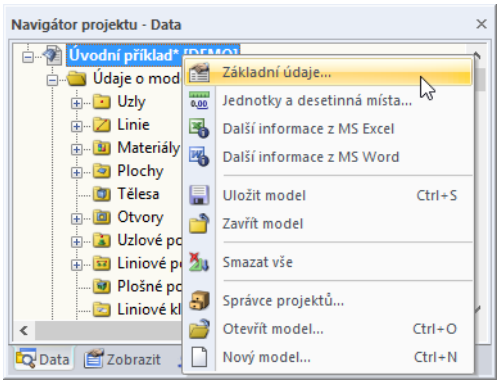
Otevře se dialog *Nový model - základní údaje*, který sestává ze tří záložek.



Obrázek 12.23 Dialog *Nový model - základní údaje*, záložka *Obecné*

Pokud později budeme chtít základní údaje modelu upravit, použijeme

- hlavní nabídku **Úpravy → Údaje o modelu → Základní údaje...**
- místní nabídku modelu v navigátoru *Data*.



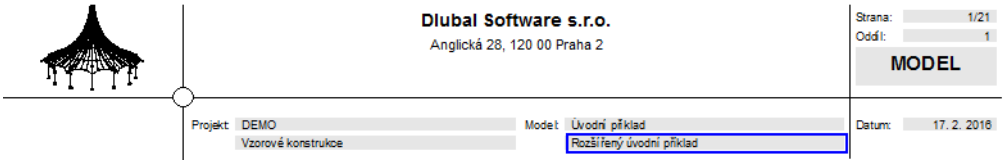
Obrázek 12.24 Místní nabídka modelu

12.2.1 Obecné

V první záložce (viz obr. 12.23) se stanoví základní parametry modelu.

Název modelu / Popis

V poli *Název modelu*, je třeba uvést označení, které se bude současně používat i jako název souboru. V poli *Popis* lze uvést bližší popis modelu. Tento popis se zobrazí ve výstupním protokolu, další využití však podobně jako popis projektu nemá.



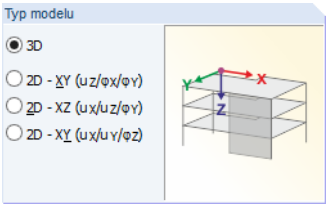
Obrázek 12.25 Popis modelu ve výstupním protokolu

Název projektu / Popis

V seznamu *Název projektu* lze vybrat složku, do které se model uloží. Přednastaven je vždy aktuální projekt. Aktuální projekt můžeme změnit ve správci projektů (viz kapitola 12.1), který lze otevřít přímo z této sekce dialogu kliknutím na tlačítko vpravo.

Pro informaci se dále uvádí *popis* projektu a cesta k němu v poli *Složka*.

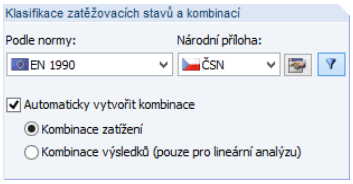
Typ modelu



V základních údajích je třeba stanovit, zda se bude jednat o prostorový nebo rovinný model. V případě 2D modelů, kdy se snižuje počet souřadnic a stupňů volnosti, se přirozeně zadává méně vstupních údajů.

Typ *2D - XY* je vhodný pro rovinné plošné konstrukce jako desky se zatížením kolmo na rovinu plochy. Typy *2D - XZ* a *2D - XY* můžeme použít v případě stěn a membrán, kdy zatížení působí pouze ve směru roviny plochy. U rovinných prutových konstrukcí doporučujeme zvolit typ *2D - XZ*, protože se tu zohledňují momenty pouze okolo silných os prutů.

Typ modelu můžeme změnit i dodatečně. Je však třeba počítat s tím, že změna může způsobit ztrátu části dat (např. změna 3D modelu na 2D stěnu).

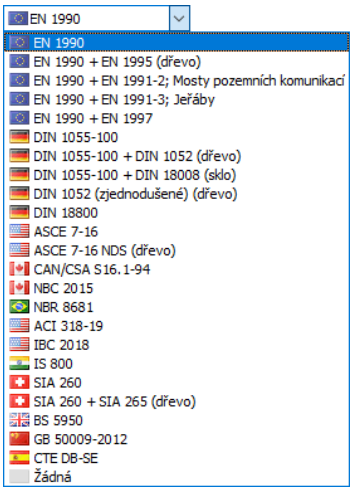


Klasifikace zatěžovacích stavů a kombinací

Zatížení, která na konstrukci působí, rozdělujeme do zatěžovacích stavů. Zatěžovacími stavy mohou být například vlastní tíha, sníh nebo užitné zatížení.

Jednotlivé normy předepisují různé postupy, jak se mají zatěžovací stavy následně skládat do kombinací. Je proto důležité zařadit zatěžovací stavy do určitých kategorií účinků (viz kapitola 5.1). Při vytváření kombinací zatížení a kombinací výsledků tak RFEM může automaticky přiřadit zatěžovacím stavům správné dílčí a kombinační součinitele.

Podle normy

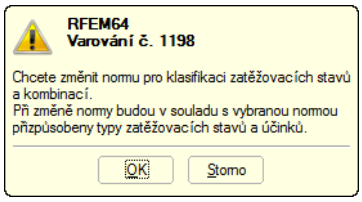


V této sekci je v obsažena řada norem, v nichž se stanoví zásady pro únosnost, použitelnost a odolnost nosných konstrukcí. Norma, kterou zvolíme, bude v RFEMu směrodatná pro tvorbu kombinací zatížení a kombinací výsledků. Dané nastavení má význam zvláště při automatickém generování kombinací (viz kapitola 5.2 až kapitola 5.4).

Pokud zvolíme možnost *Žádná*, kombinace se automaticky nevytvoří. Zatěžovací stavy je pak třeba skládat do kombinací ručně (viz kapitola 5.5.1 a kapitola 5.6.1).

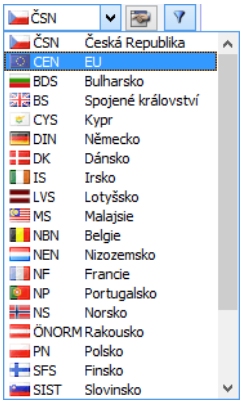
Tlačítko umožňuje v seznamu zobrazit nebo naopak skrýt staré normy.

Pokud normu dodatečně změníme, je třeba zatěžovací stavy nově klasifikovat a kombinace upravit. Zobrazí se příslušné varovné hlášení.



Obrázek 12.26 Varovné hlášení při změně normy

Národní příloha

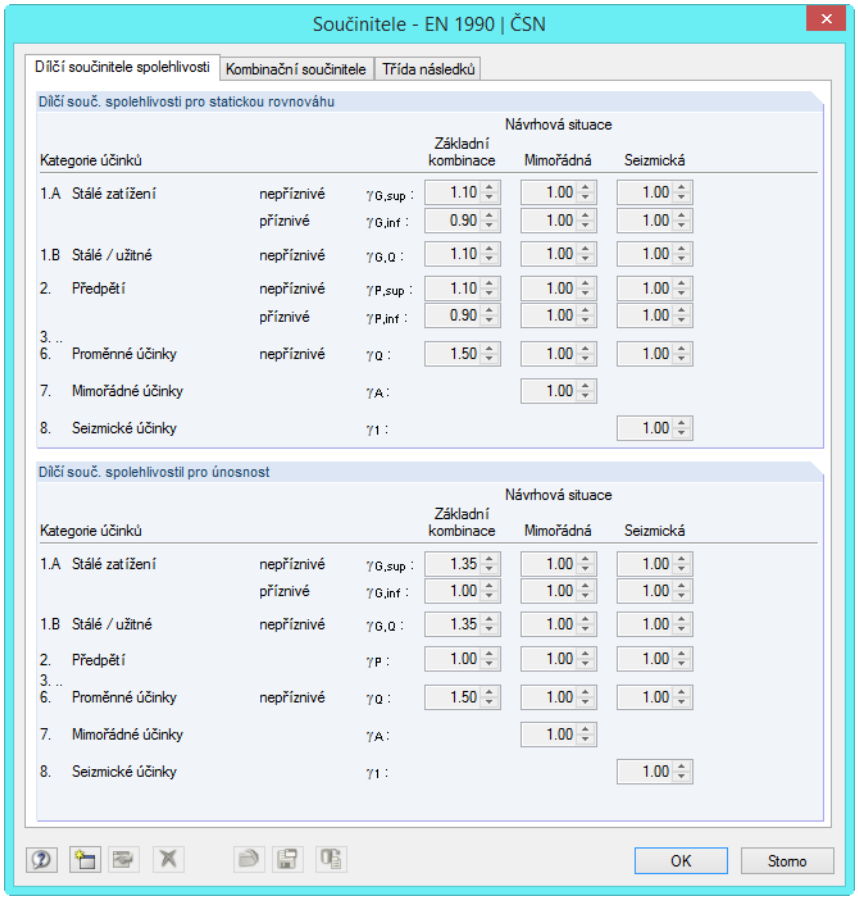


Pokud vybereme normu *EN 1990*, objeví se doplňkový seznam: kombinační pravidla sice stanoví evropská norma, jednotlivé státy ovšem můžou samy upravovat dílčí a kombinační součinitele.

Seznam nabízí národní přílohy různých států. Pokud vybereme *CEN*, budou platit součinitele doporučené Evropskou komisí.

Po kliknutí na tlačítko můžeme dílčí a kombinační součinitele nastavené podle aktuálně zvolené normy překontrolovat a v případě normy zadané uživatelem i upravit.

Otevře se dialog *Součinitele*, v němž jsou součinitele uspořádány do několika záložek. V první záložce se uvádí *dílčí součinitele spolehlivosti* γ pro návrhové situace při posuzování „statické rovnováhy“ a „únosnosti“ konstrukce.



Obrázek 12.27 Dialog *Součinitele*, záložka *Dílčí součinitele spolehlivosti*

V záložce *Kombinační součinitele* (viz obr. 5.24) se uvádí hodnoty součinitelů ψ a ξ. V záložce *Třída následků*, která je v případě zvolení normy EN 1990 k dispozici, můžeme sami stanovit hodnotu součinitele K_{FI}.

Automaticky vytvořit kombinace

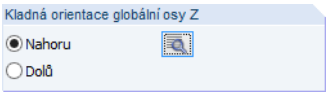
Pokud není dané zaškrtávací políčko označeno, přepínač s oběma volbami níže není přístupný. Potřebné kombinace zatížení a kombinace výsledků se v takovém případě musí vytvořit ručně (viz kapitola 5.5.1 a kapitola 5.6.1). S ohledem na zadanou normu se k zatěžovacím stavům při jejich skládání do kombinací automaticky přiřazují dílčí a kombinační součinitele.

Uživatel ovšem může nechat vytvořit zcela automaticky. Pokud tuto volbu označí, zobrazí se kromě dalších záložek v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* doplňkové položky v navigátoru *Data* a dále tabulky 2.2 až 2.4. Generování kombinací podrobně popisujeme v jiných kapitolách tohoto manuálu (viz kapitola 5.2 až kapitola 5.4).

Další informace k vytváření kombinací najdeme v kapitole 5 a dále v příručce k dřívějšímu přídavnému modulu RF-COMBI, která je k dispozici na našich webových stránkách.

Automaticky lze do kombinací skládat buď *zatížení* nebo *výsledky*. Rozdíl mezi oběma možnými druhy kombinací vysvětlujeme v kapitolách 5.5 a 5.6.

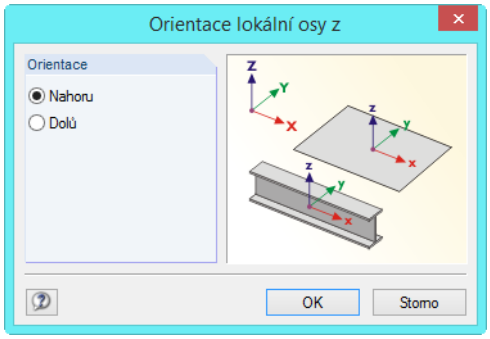
Kladná orientace globální osy Z



V této sekci stanovíme směr globální osy Z. V CAD aplikacích míří osa Z většinou nahoru, ve statických programech zpravidla dolů. Na výpočtu se tento údaj nijak neprojeví.

Pokud osa Z směřuje *nahoru* a v základních údajích zatěžovacího stavu jsme vlastní tíhu zadali se součinitelem 1,0 ve směru Z, pak vlastní tíha působí směrem nahoru. Pokud chceme, aby působila směrem dolů, je třeba upravit hodnotu součinitele vlastní tíhy na -1,0.

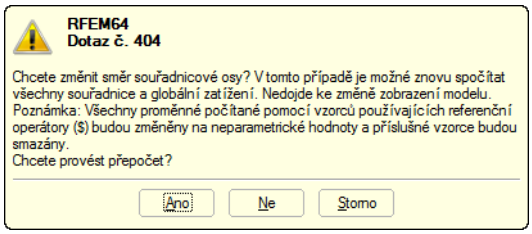
Pokud globální osa Z míří nahoru, lze po kliknutí na tlačítko nastavit u ploch a prutů směr lokální osy z. Otevře se dialog *Orientace lokální osy z*.



Obrázek 12.28 Dialog *Orientace lokální osy z*

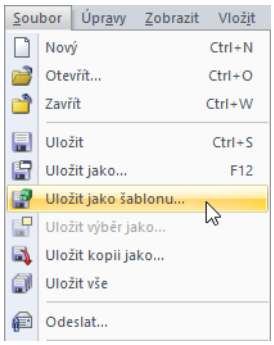
Lokální osa z může směřovat *nahoru* nebo *dolů*. Lze tak správně přiřadit například podloží plochy nebo výztuže. Na dotaz, který program zobrazí při zavírání dialogu *Základní údaje* (viz obr. 12.29), je pak třeba kliknout na tlačítko *Ne*.

Směr osy Z lze dodatečně změnit. Máme přitom možnost upravit souřadnice a globální zatížení tak, aby náhled na model zůstal zachován. Při změně orientace osy se v programu zobrazí následující dotaz:



Obrázek 12.29 Dotaz při změně směru osy Z

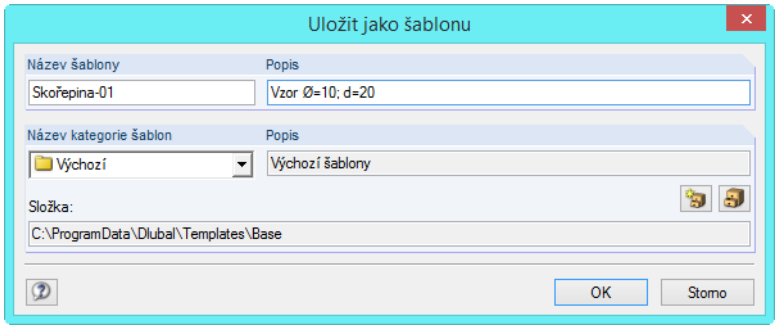
Šablona



Model můžeme vytvořit podle určité šablony, kterou jsme z jiného modelu uložili příkazem v hlavní nabídce

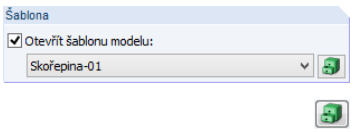
Soubor → Uložit jako šablonu...

gesichert wurde.



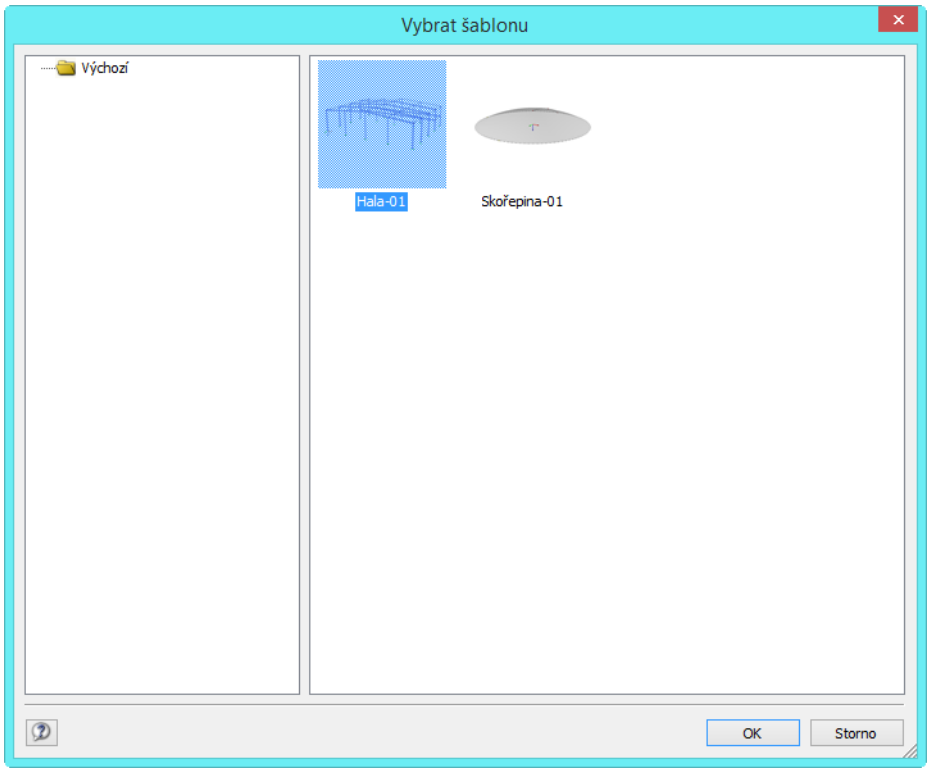
Obrázek 12.30 Dialog *Uložit jako šablonu*

Šablony se obvykle ukládají do Dlubal adresáře pro vzorové modely *Base*. Přístupné jsou také ve správci projektů z položky **Šablony → Výchozí** (viz obr. 12.3).



Po označení příslušného zaškrtávacího políčka v dialogu *Nový model - základní údaje* můžeme požadovanou *šablonu modelu* vybrat ze seznamu.

Pomocí vlevo znázorněného tlačítka lze otevřít přehled s obrázky vzorových konstrukcí, které výběr šablony usnadňují.



Obrázek 12.31 Dialog *Vybrat šablonu*

Komentář

Pro doplnění základních údajů můžeme do tohoto pole vložit vlastní krátkou poznámku nebo vybrat komentář ze seznamu. Komentář se zobrazí i ve výstupním protokolu.

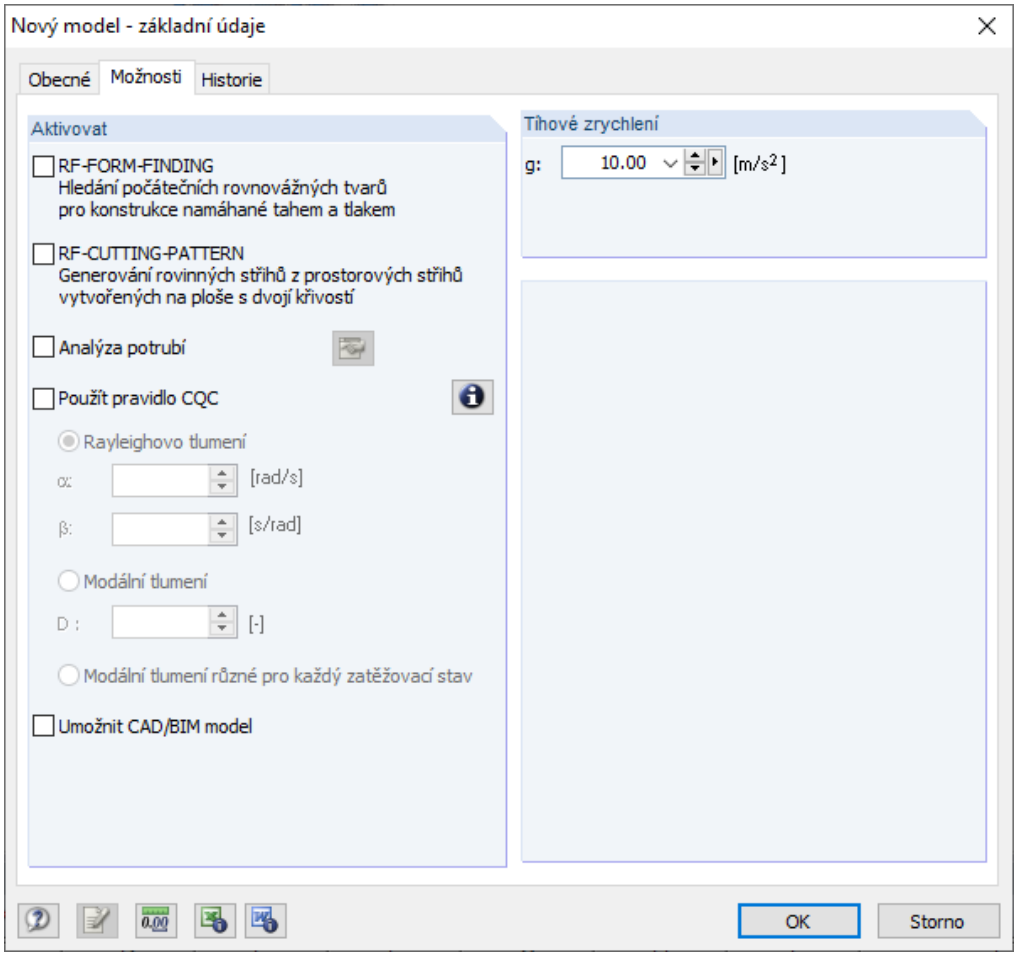
Tlačítka v dialogu *Nový model - základní údaje* mají následující funkce:

Tlačítko	Popis	Vysvětlení
	Komentář	→ Kapitola 11.1.4
	Jednotky a desetinná místa	→ Kapitola 11.1.3
	Další volitelné uživatelské informace pomocí MS Excel	Možnost pro uživatele uvést další poznámky v souboru XLS, který se uloží spolu s ostatními informacemi v souboru RFEM.
	Další volitelné uživatelské informace pomocí MS Word	Možnost pro uživatele uvést další poznámky v souboru DOC, který se uloží spolu s ostatními informacemi v souboru RFEM.

Tabulka 12.2 Dialog *Základní údaje*, tlačítka

12.2.2 Možnosti

V druhé záložce dialogu *Nový model - základní údaje* lze aktivovat zvláštní přídavné moduly programu RFEM a dále se tu určuje hodnota tíhového zrychlení, která se bude v programu uvažovat.



Obrázek 12.32 Dialog *Nový model - základní údaje*, záložka *Možnosti*

Aktivovat

Zaškrtávací políčka umožňují aktivovat přídavné moduly RF-FORM-FINDING (stanovení tvaru membránových a lanových konstrukcí), RF-CUTTING-PATTERN (stanovení střihových vzorů pro membránové konstrukce) a RF-PIPING (výpočet potrubních systémů). Zpřístupníme tak v RFEMu zvláštní dialogy pro modelování membránových konstrukcí a potrubních systémů.

Pro práci s RF-FORM-FINDING, RF-CUTTING a RF-PIPING jsou zapotřebí příslušné licence.

Zaškrtávací políčko *Použít pravidlo* CQC umožňuje kombinovat seizmické zatěžovací stavy podle pravidla CQC („complete quadratic combination rule“). Tak je možné získat kompletní kvadratickou modální kombinaci dynamických zatěžovacích stavů. V níže uvedených textových polích je možné zadat parametry *Rayleighova tlumení* resp. *Lehrova tlumení*. Manuál RF-DYNAM Pro poskytuje podrobné vysvětlení dynamické analýzy (anglicky).

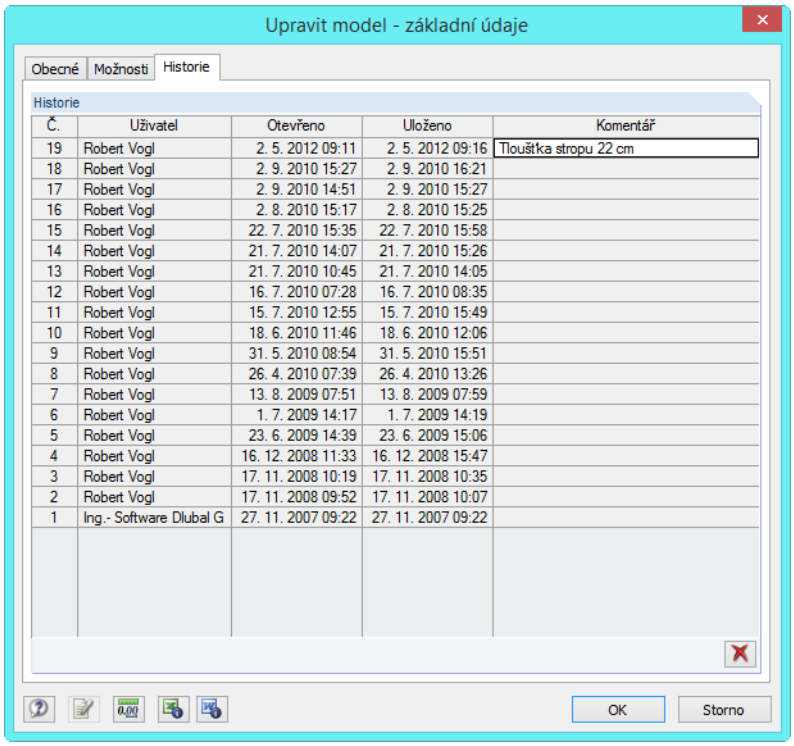
Pro porovnání dat s CAD nebo BIM modelem je nutné zaškrtnout políčko *Umožnit CAD/BIM model*. Tak je možné provést např. načtení, organizaci a transformaci souborů IFC, STEP a IGES (je nutný přídavný modul RF-LINK). Tato funkce je popsána v následujícím odborném článku: https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/001328

Tíhové zrychlení

V této sekci se udává základní hodnota tíhového zrychlení g, která je důležitá např. pro výpočet vlastní tíhy a pro dynamickou analýzu. Přibližnou hodnotu 10,00 m/s^2 je možné v případě potřeby upravit.

12.2.3 Historie

V záložce *Historie* dialogu *Model - základní údaje* je zdokumentován průběh práce na modelu.



Obrázek 12.33 Dialog *Upravit model - základní údaje*, záložka *Historie*

V tabulce vidíme, kdy který *uživatel*daný model *otvíral* či *ukládal*.

V prvním řádku v tabulce můžeme uvést *komentář* k aktuálnímu stavu zpracování modelu. Po dalším uložení modelu se tato poznámka stane součástí historie. Historie modelu i s komentáři se nezobrazí pouze v této záložce, ale lze ji prohlížet také ve správci projektů (viz obr. 12.15).

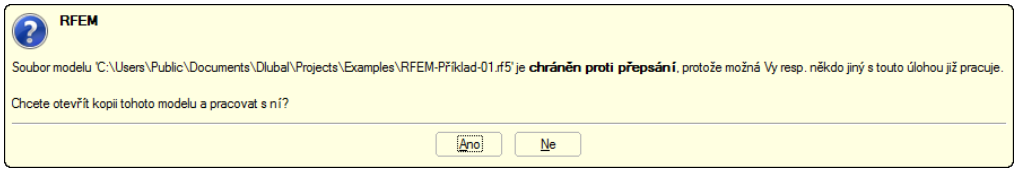
Tlačítkem údaje o průběhu zpracování modelu smažeme. Lze tak ze souboru odstranit osobní informace.

12.3 Správa v síti

Pokud pracuje několik uživatelů na stejných projektech, lze ke správě modelů využít také projektového správce. Předpokladem je, že modely konstrukcí byly uloženy ve sdílené složce.

Síťovou složku nejdříve připojíme do vnitřního systému správce projektů. Popis je uveden v kapitole 12.1.1. Ze správce projektů je pak přímý přístup k modelům v dané složce, tzn. lze je otvírat, kopírovat, prohlížet si jednotlivé fáze zpracování konstrukce nebo lze modely zabezpečit proti zápisu atd.

Pokud některý kolega právě pracuje na modelu, který si přejeme otevřít, systém nás na to upozorní. Model pak můžeme otevřít v kopii.



Obrázek 12.34 Dotaz při otvírání modelu chráněného proti zápisu

Automatické porovnání změn není možné.

Informace o projektech ve správci projektů se ukládají v souboru **PRO.DLP**. Jedná se o soubor ASCII, který se standardně nachází ve složce C:*ProgramData**Dlubal**Global**Project Manager*.

Pokud nechceme připojovat projektové soubory jednotlivě, stačí zkopírovat soubor PRO.DLP do jiného počítače. Soubor lze také zpracovávat v editoru. Zvlášť při nové instalaci a zařazování všech důležitých projektových složek do vnitřního systému správce projektů je to výhodné. Zůstává ovšem také možnost použít funkci *Importovat složku*... (viz kapitola 12.1.1).

Před kopírováním souboru PRO.DLP - stejně jako před odinstalováním našich aplikací — by měl být soubor zálohován.

Správce projektů je také síťově kompatibilní. Správa souborů tak může probíhat na centrálním místě, a podílet se tak na ní mohou všichni pracovníci. Nastavení se provádí z hlavní nabídky správce projektů

Upravit → Možnosti programu...

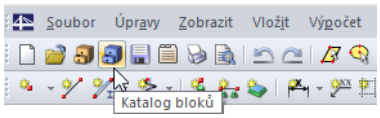
Otevře se dialog, v němž lze zadat místo pro uložení souboru PRO.DLP (viz obr. 12.21).

Správce projektů běží na každém lokálním počítači, používá se však centrální soubor PRO.DLP na serveru. Všichni uživatelé tak mohou provádět změny v projektu současně. Soubor PRO.DLP se přitom zamkne proti zápisu jen na okamžik a pak je zas okamžitě přístupný.

12.4 Katalog bloků

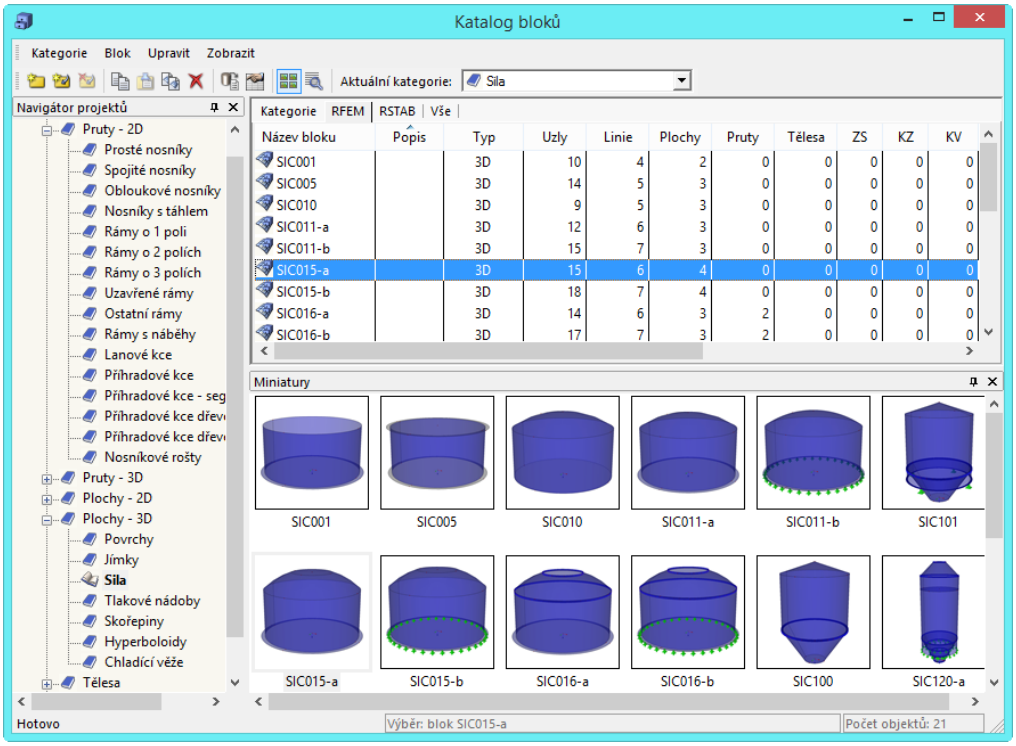
Katalog bloků umožňuje používat typické konstrukční prvky napříč projekty: objekty může uživatel ukládat do katalogu bloků a z něj je pak načítat v jiných modelech. V *katalogu* najdeme řadu již předem definovaných standardních prvků.

Katalog bloků otevřeme příkazem z hlavní nabídky **Soubor → Katalog bloků**... nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obrázek 12.35 Tlačítko *Katalog bloků* v panelu nástrojů

Zobrazí se okno katalogu bloků rozdělené do několika částí. Stejně jako správce projektů (viz kapitola 12.1) má i katalog bloků vlastní hlavní nabídku a panel nástrojů.



Obrázek 12.36 Katalog bloků

Navigátor v katalogu bloků

Po levé straně se zobrazí navigátor s *katalogem* všech kategorií bloků. Aktuální kategorie se zvýrazní tučně. Pokud chceme vybrat jinou kategorii, můžeme na ni dvakrát kliknout přímo v navigátoru nebo ji můžeme nastavit v panelu nástrojů v seznamu *Aktuální kategorie*. Na pravé straně od navigátoru se objeví seznam všech objektů zařazených do katalogu v dané kategorii. K dispozici jsou nejrůznější bloky pro prutové a plošné modely i tělesa.

Tabulka bloků

Bloky jsou seřazeny v řadě za sebou. Kromě *názvu bloku* a *popisu* se vždy zobrazí důležité informace o daném objektu.

Upravit výběr sloupců, které se mají zobrazit, lze příkazem z hlavní nabídky **Zobrazit** ⟶ **Nastavení sloupců...** nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů (viz kapitola 12.1.4.1).

Detaily

V této části okna se zobrazí bližší informace o vybraném bloku.

Náhled

Vybraný blok se zobrazí v náhledu. Velikost okna náhledu můžeme upravit posunutím jeho horního okraje.

Miniatury

Ve spodní části katalogu bloků se zobrazí bloky z vybrané kategorie v grafickém přehledu. Obrázky jsou s tabulkou interaktivní.

Kliknutím na tlačítko se symbolem špendlíku v pravém horním rohu lze jednotlivé části okna minimalizovat. Zobrazí se pak jako záložky v dolní liště správce projektů.

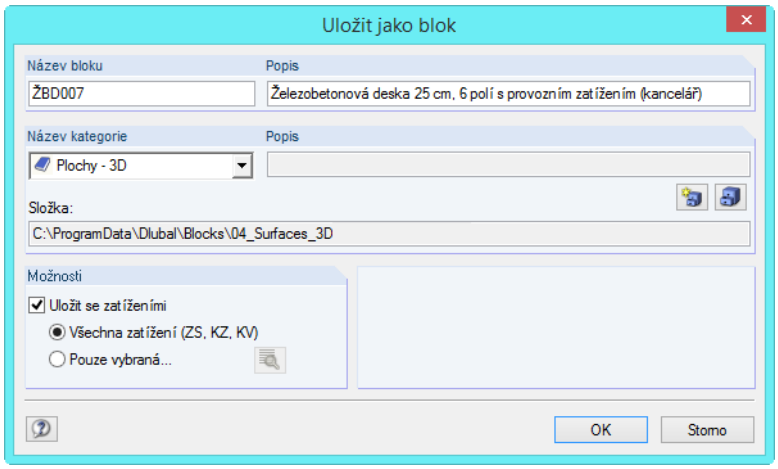
12.4.1 Vytvoření bloku

Pokud chceme z objektů v aktuálním modelu v programu RFEM vytvořit nový blok, musíme příslušné objekty nejdříve vybrat na pracovní ploše RFEMu. Několikanásobný výběr lze provést oknem nebo kliknutím na několik prvků za sebou se stisknutou klávesou [Ctrl].

Nový blok pak vytvoříme příkazem z hlavní nabídky RFEMu

Soubor → Uložit jako blok...

Otevře se následující dialog:



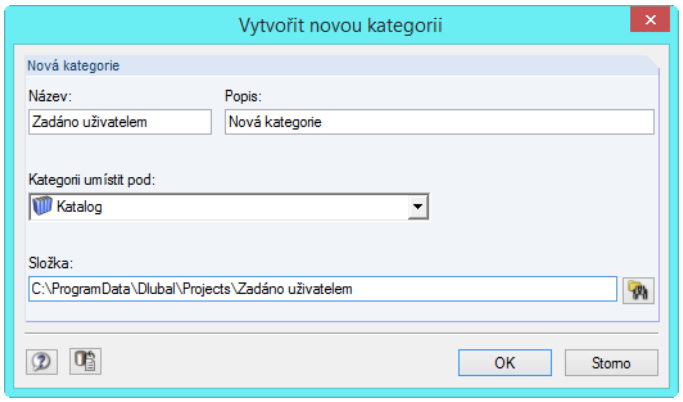
Obrázek 12.37 Dialog *Uložit jako blok*

V tomto dialogu je třeba stanovit *název bloku* a *název kategorie*, do které bude blok uložen. Kategorii můžeme nastavit v seznamu. K bloku můžeme uvést i krátký *popis*.

Cesta k uloženému bloku se zobrazí v poli *Složka*.

Pokud jsou u objektů definována zatížení, lze je uložit spolu s blokem. V sekci *Možnosti* pak určíme, zda se uloží všechna zatížení nebo jen některé zatěžovací stavy.

Pomocí tlačítka [Nová kategorie...] lze založit novou kategorii bloků:



Obrázek 12.38 Dialog *Vytvořit novou kategorii*

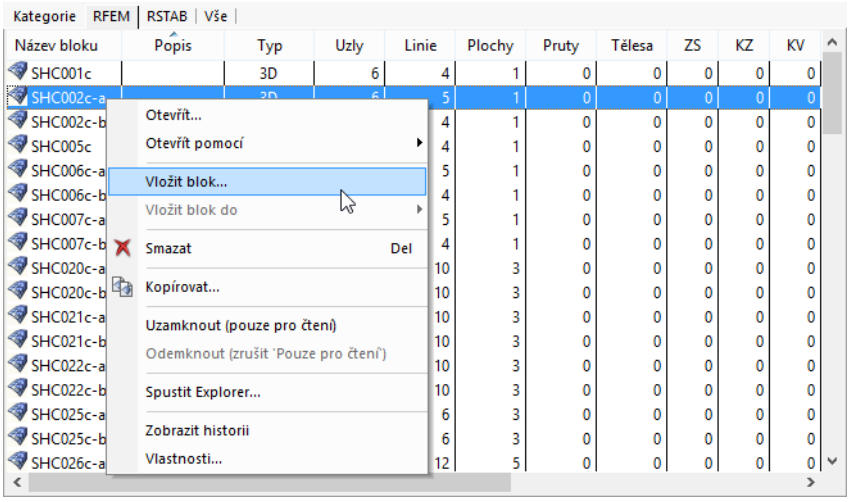
Při vytváření nové kategorie se postupuje stejně jako při zakládání nového projektu ve správci projektů (viz kapitola 12.1.1).

12.4.2 Import bloku

Pokud chceme načíst některý blok do aktuálního modelu v RFEMu, je třeba nejdříve otevřít katalog bloků (viz obr. 12.35). V katalogu zvolíme příslušnou kategorii a v záložce *RFEM* vybereme myší požadovaný blok.

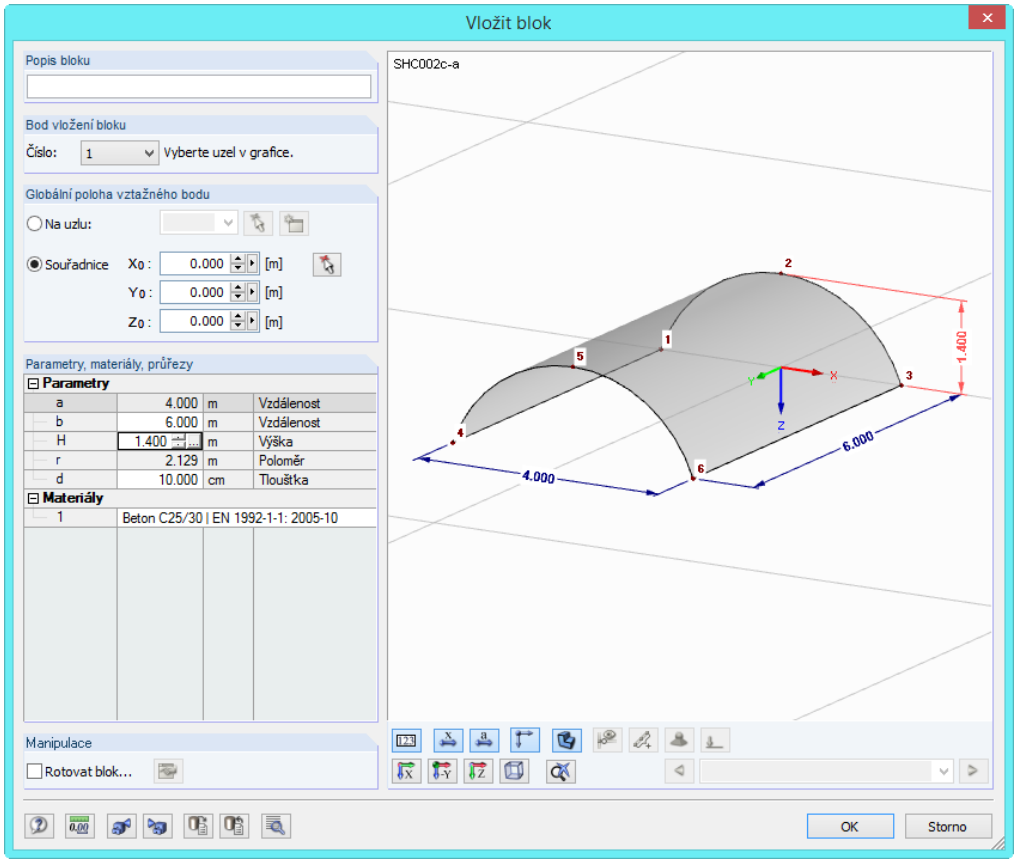
Import spustíme příkazem z

- hlavní nabídky **Blok ⟶ Vložit blok...**
- z místní nabídky bloku.



Obrázek 12.39 *Místní nabídka bloku*

Na požadovaný blok lze rovněž dvakrát kliknout v tabulce. Otevře se následující dialog:



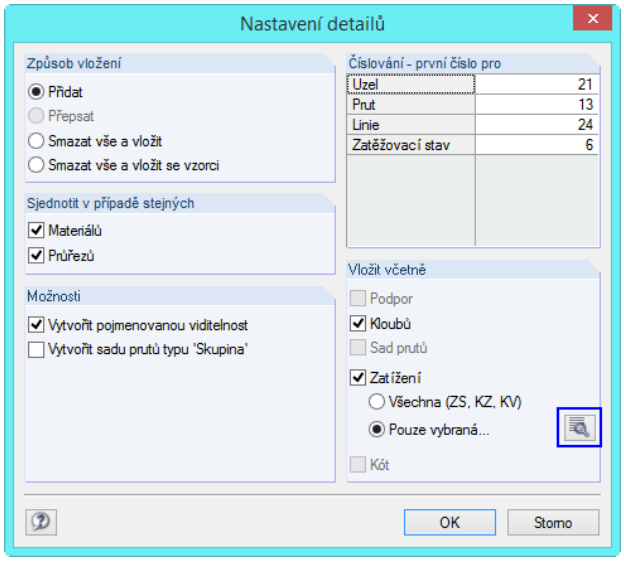
Obrázek 12.40 Dialog *Vložit blok*

V tomto dialogu určíme *bod vložení bloku* („uchopovací bod“ bloku) a *globální polohu vztažného bodu* v modelu v RFEMu. Body můžeme vybrat také graficky v bloku, resp. v modelu konstrukce v RFEMu.

Geometrické *parametry* lze upravovat, stejně jako *materiály* a *průřezy*. Pokud klikneme do příslušného vstupního pole, zpřístupní se tlačítka pro výběr ze seznamu, popř. pro otevření databáze.

V případě bloků definovaných uživatelem lze importovat i uložená zatížení. *Aktivní zatížení* můžeme vybrat ze seznamu.

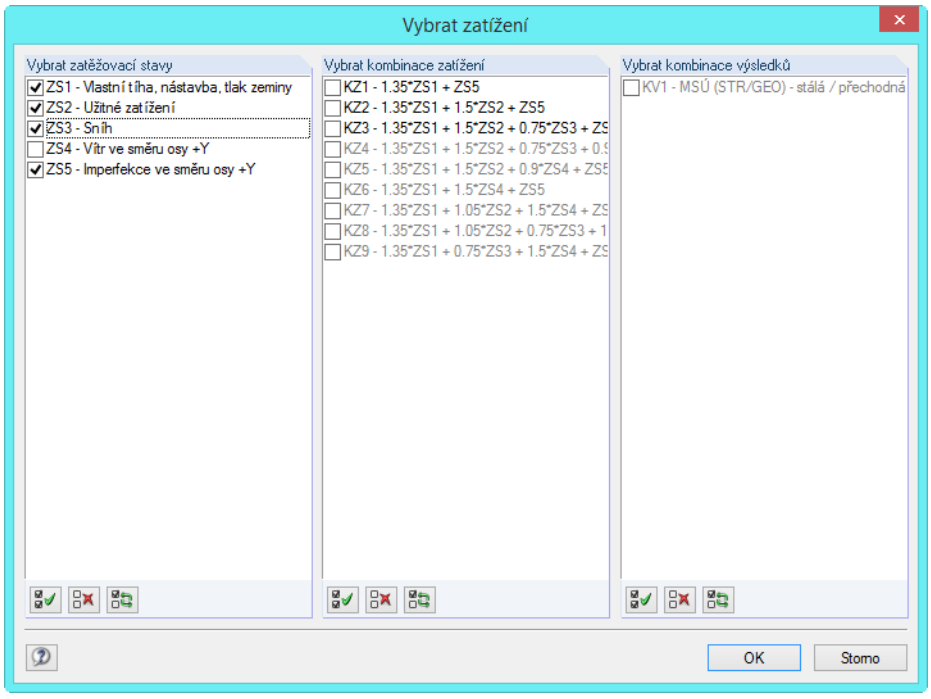
Po kliknutí na tlačítko můžeme nastavit specifické údaje pro import v samostatném dialogu.



Obrázek 12.41 Dialog *Nastavení detailů*

V dialogu *Nastavení detailů* můžeme stanovit způsob vložení objektů vzhledem k původním konstrukčním prvkům. Můžeme zde také nastavit *číslování*.

Po kliknutí na tlačítko v tomto dialogu se otevře další dialog (viz obr. 12.41). V něm můžeme vybrat konkrétní zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků, které se mají s blokem importovat.



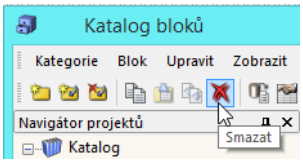
Obrázek 12.42 Dialog *Vybrat zatížení*

12.4.3 Smazání bloku

Blok smažeme v katalogu bloků

- příkazem z hlavní nabídky **Blok** ⟶ **Smazat** (blok již musí být vybrán)

- pomocí tlačítka [Smazat] v panelu nástrojů
- z místní nabídky bloku (viz obr. 12.39).



Obrázek 12.43 Tlačítko *Smazat*

Po kontrolním dotazu programu se blok přesune do koše.

12.5 Rozhraní

RFEM nabízí možnost výměny dat s jinými programy. V RFEMu tak lze používat CAD předlohy z jiných aplikací a naopak výsledky statických výpočtů lze využít v programech pro projektování a návrh konstrukcí.

Export výstupního protokolu jako souboru **RTF** či jeho předání do programu **VCmaster** popisujeme v kapitole 10.1.11.

K RFEMu se dále nabízí programovatelné rozhraní založené na technologii COM (např. Visual Basic). Přídavný modul **RF-COM** (který lze přikoupit k RFEMu) umožňuje uživateli naprogramovat si na míru vstupní makra a postprocesory.

12.5.1 Přímá výměna dat

Aplikace Dlubal

RFEM má samozřejmě rozhraní také k jiným programům z naší dílny Dlubal. Do RFEMu 5 lze bez problému načíst údaje ze všech předešlých verzí programu **RFEM**. V RFEMu lze také přímo otevřít soubory z programu **RSTAB** pro výpočty prutových konstrukcí a doplnit v nich plošné prvky nebo tělesa. Stejně tak můžeme v RSTABu 8 otvírat soubory vytvořené v RFEMu 5.

Tekla Structures / AutoCAD

V programu existuje přímá vazba na CAD aplikace **Tekla Structures** a **AutoCAD** (kromě LT verzí). V RFEMu tak můžeme využít výhod BIM (*Building Information Modeling*), kdy dochází k přímé výměně datových modelů pro digitální plánování.

Přímou výměnu dat spustíme příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Importovat..., resp.

Soubor → Exportovat...

nebo pomocí vlevo znázorněných tlačítek.

Otevře se dialog, který vidíme na obr. 12.44 resp. obr. 12.45. V sekci *Přímý import*, resp. *Přímý export* můžeme zvolit požadovanou CAD aplikaci.

Tlačítka v panelu nástrojů *Export/Import* mají následující funkce:

	Přímý import z programu Tekla Structures

	Přímý export do programu Tekla Structures
	Přímý import z aplikace AutoCAD
	Přímý export do aplikace AutoCAD

Tabulka 12.3 Tlačítka v panelu nástrojů *Export/Import*

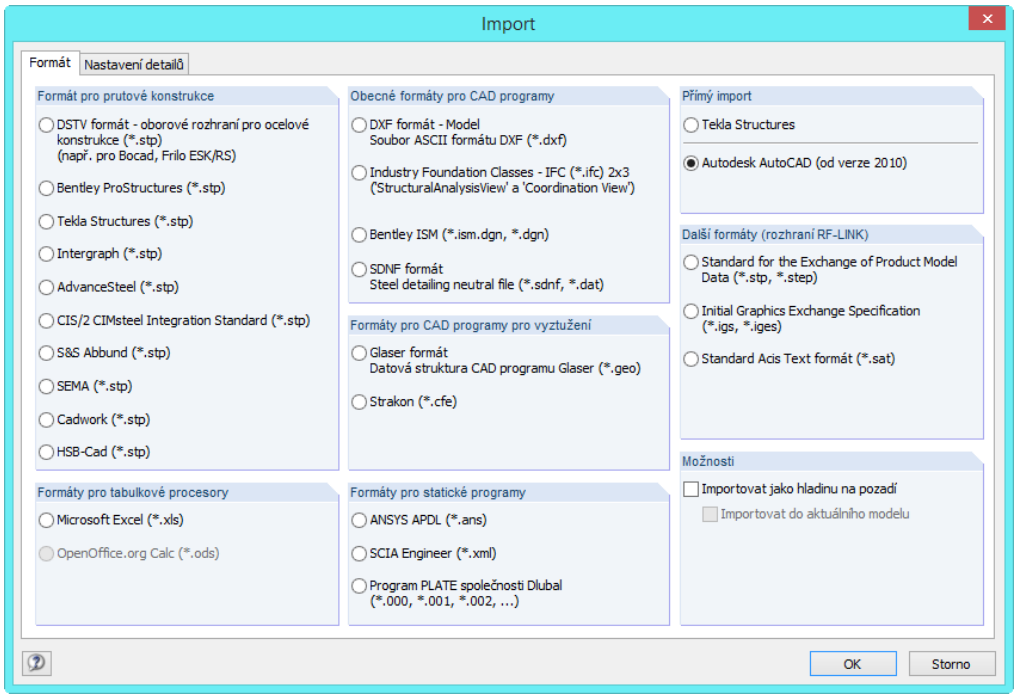
Další informace o výměně dat pomocí programů **Tekla Structures** a **Autodesk Revit** najdete v manuálu BIM Interfaces (anglicky).

12.5.2 Formáty datové výměny

Soubory typu *.**stp**, *.**dxf**, *.**fem**, *.**asf**, *.**dat**, *.**cfe** nebo *.**ifc** vytvořené v externích programech můžeme v RFEMu použít jako předlohu. RFEM pak také nabízí výstupy dat v příslušných formátech pro další zpracování v jiných programech.

Dialog pro import souboru otevřeme z hlavní nabídky

Soubor → Importovat...

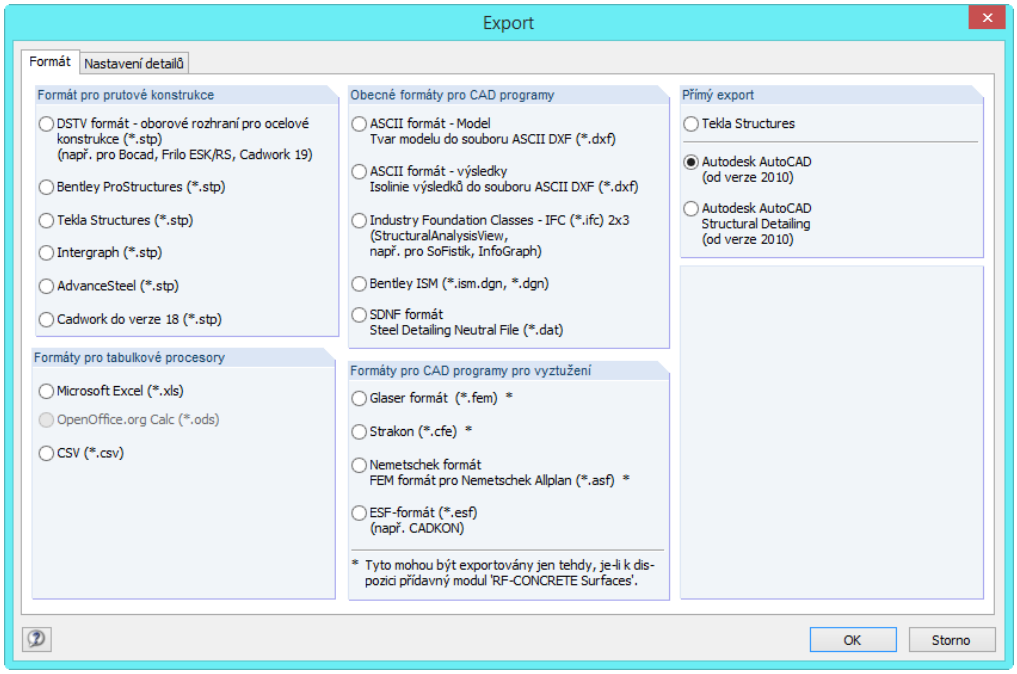


Obrázek 12.44 Dialog *Import*

Pokud označíme volbu *Importovat jako hladinu na pozadí*, nevytvoří se model konstrukce, ale pouze drátěný model na pozadí, který lze použít pro zadání uzlů, linií apod. (viz kapitola 11.3.10).

Pokud chceme exportovat soubor z programu RFEM, vybereme v hlavní nabídce příkaz

Soubor → Exportovat...



Obrázek 12.45 Dialog *Export*

Formáty pro prutové konstrukce

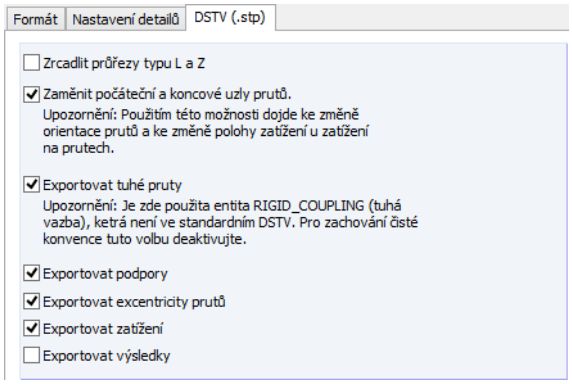
DSTV - formát *.stp

Soubory, jejichž výměna probíhá přes produktové rozhraní německého svazu pro ocelové konstrukce DSTV, nejsou omezeny pouze na drátěné modely, ale obsahují veškeré údaje o konstrukci a zatíženích potřebné pro další zpracování. Mnozí výrobci softwaru, mezi nimi i společnost Dlubal Software, pracují společně na vývoji tohoto produktového rozhraní, přes které může probíhat datová výměna např. s *Bentley ProStructure*, *Tekla Structures*, *Intergraph Frameworks*, *Advance Steel*, *CIS/2 CIMSteel* nebo *cadwork*.

Rozhraní přenáší obecně statické údaje i CAD data. RFEM podporuje pouze statický formát s určitými „entitami“ (viz http://www.dlubal.com/de/download/pss_dstv.pdf).

Rozhraní přenáší údaje o uzlech, prutech a průřezech včetně excentricit prutu a natočení průřezu. Dále se přes rozhraní předávají informace o uzlových podporách, zatěžovacích stavech, kombinacích zatížení a kombinacích výsledků se zatíženími na uzly, pruty a s imperfekcemi. Do výměnného souboru lze uložit i výsledky výpočtu.

V záložce *DSTV (.stp)* v dialogu lze nastavit další údaje pro datovou výměnu.



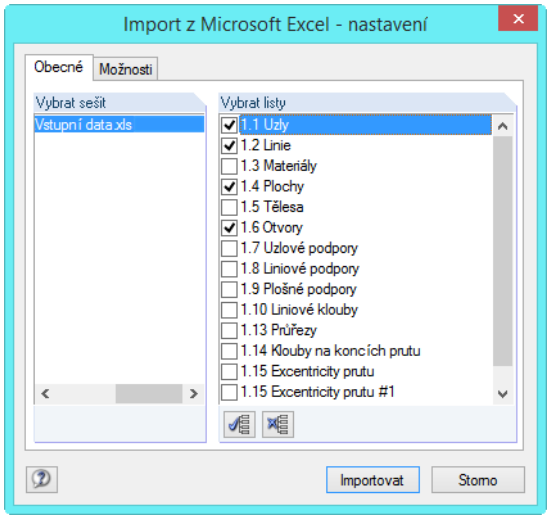
Obrázek 12.46 Dialog *Export*, záložka *DSTV (.stp)*

Formáty pro tabulkové procesory

MS Excel - formát *.xls

V RFEMu lze načítat a také vytvářet tabulky ve formátu *.xls. Výměnu dat s aplikací MS Excel je již popsána v kapitole 11.5.6. Tam popsaná možnost ovšem byla k dispozici pouze pro aktivní tabulku programu RFEM. Níže popsaná funkce umožňuje exportovat nebo importovat všechny údaje určitého modelu najednou. Použít lze přitom vlastní, externí generátory dat o konstrukci a o zatížení.

Pokud chceme **importovat** soubor XLS, musíme daný soubor nejdříve otevřít v aplikaci MS Excel. V dialogu v RFEMu pro import dat (viz obr. 12.44) pak po zvolení volby *Microsoft Excel* otevřeme následující dialog:

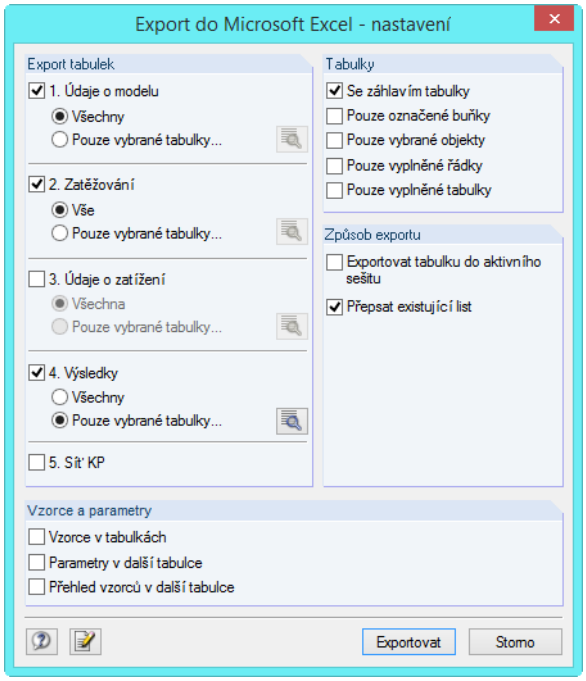


Obrázek 12.47 Dialog *Import z Microsoft Excel - nastavení*

V tomto dialogu vybereme, který *sešit* a *listy* se importují. Pokud se data mají bezchybně zapsat do tabulek v RFEMu, označení, pořadí a uspořádání listů v Excelu a RFEMu musí zcela souhlasit. Jestliže si nejsme úplně jisti, můžeme nejdříve pro kontrolu vytvořit soubor XLS z aktuálního souboru RFEM.

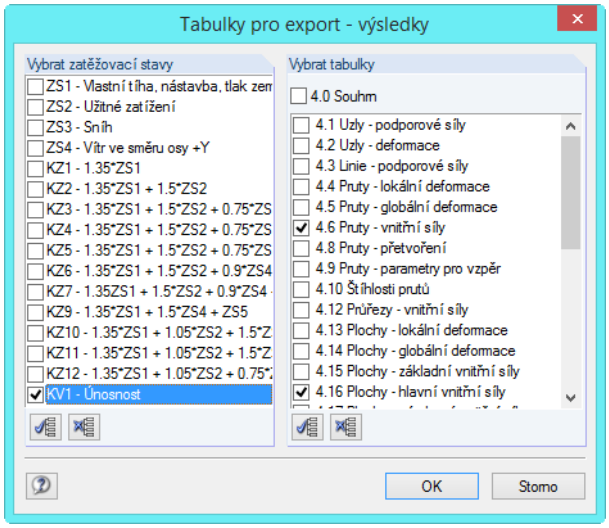
V záložce *Možnosti* zadáme, zda mají být importovány tabulky i se záhlavím, popř. vzorce v tabulkách.

Při **exportu** souboru do Excelu nemusí MS Excel běžet na pozadí, před exportem se automaticky spustí.



Obrázek 12.48 Dialog *Export do Microsoft Excel - nastavení*

V sekci *Export tabulek* vybereme, které tabulky se mají exportovat. Pokud zaškrtneme políčko *Pouze vybrané tabulky...*, zpřístupní se tlačítko . Otevře se dialog pro detailní nastavení.



Obrázek 12.49 Dialog *Tabulky pro export - výsledky*

V sekci *Vzorce a parametry* ve výchozím dialogu (obr. 12.48) lze stanovit, zda se při exportu dat z RFEMu do Excelu převedou i uložené vzorce.

CSV formát *.csv

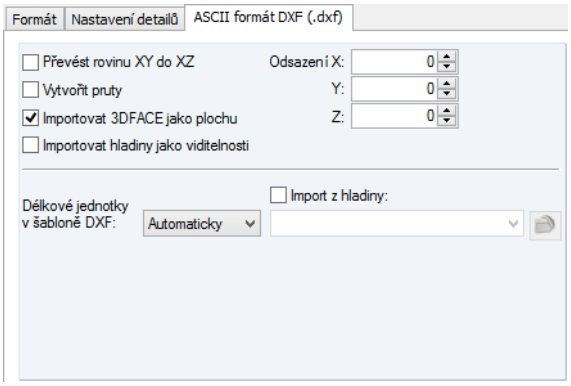
Tabulky z programu RFEM je možné také exportovat do formátu CSV. Postup je obdobný jako při exportu do formátu MS Excel (viz výše).

Obecné formáty pro CAD programy

ASCII - formát *.dxf

Ve formátu DXF se předávají pouze obecné informace o liniích v modelu konstrukce. RFEM dokáže načíst liniový model např. z *AutoCADu* a také vytvořit soubor DXF z aktuálního modelu. Při exportu se pruty uloží do samostatné vrstvy podle průřezů. Plochy, podpory, zatížení atd. senepředávají.

V záložce *ASCII formát DXF (*.dxf)* v dialogu lze nastavit další údaje pro datovou výměnu. Zvláště před importem dat je třeba zkontrolovat některé parametry.

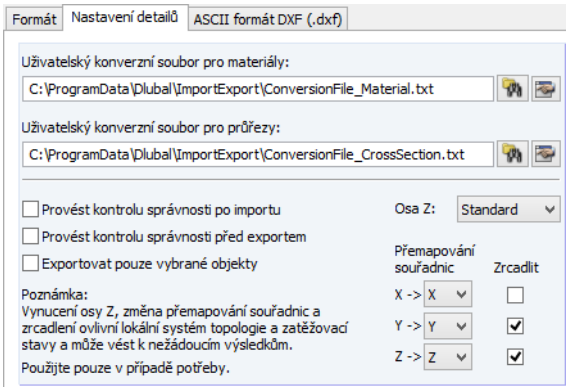


Obrázek 12.50 Dialog *Import*, záložka *ASCII formát DXF (*.dxf)*

Doporučujeme zkontrolovat *jednotku délky* v šabloně DXF. Volitelně lze zadat *odsazení*, o které se od počátku posune model konstrukce načítaný do RFEMu. Pokud aktivujeme možnost *Importovat 3DFACE jako plochu*, 3D plochy z šablony DXF se v RFEMu automaticky vytvoří jako plochy.

Pokud chceme provést *import z určité hladiny*, je nutné nejdříve zadat soubor DXF pomocí tlačítka vpravo. Ze seznamu pak můžeme vybrat konkrétní hladinu.

Na rozdíl od programu RFEM směřuje osa Z ve většině programů CAD nahoru. Pokud v druhé záložce *Nastavení detailů* při importu zadáme, že osa *Z* bude směřovat dolů, budou v RFEMu hodnoty zatížení vlastní tíhou kladné.



Obrázek 12.51 Dialog *Import*, záložka *Nastavení detailů*

Export do souboru DXF je možné provést včetně číslování prvků a popisu hodnot výsledků. U popisek výsledků lze však exportovat pouze jednu hodnotu nebo skupinu hodnot. Pokud je jich uvedeno více, exportuje se vždy první hodnota a zobrazí se příslušné hlášení.

Také při exportu do souboru DXF doporučujeme zkontrolovat směr osy *Z*.

Logo IAI

IFC - formát *.ifc

Industry Foundation Classes (IFC) jsou vyvíjeny prostřednictvím IAI (*Industrieallianz für Interoperabilität*) jako celosvětově platný standard pro výměnu dat pro pracovní postupy ve stavebnictví založené na modelech. IFC jsou rozděleny do oblastí (architektura, konstrukce, statika, elektrotechnika atd.) podle různých stavebních oborů. Dlubal Software podporuje oblast statických výpočtů IFC, takže lze přenášet statická data jako uzly, pruty, podpory, zatěžovací stavy a zatížení. IFC jsou dosud ve výstavbě.

Popis rozhraní najdete na https://www.buildingsmart.de (německy).

Při exportu modelu z RFEMu jako IFC modelu se vytvoří analytický model ve verzi IFC 2x Edition 3.

Bentley - formát *.ism.dgn, *.dgn

Toto rozhraní slouží k výměně dat s CAD systémem *MicroStation*. Můžeme na jedné straně importovat údaje o modelu, na druhé exportovat soubory z RFEMu, a využít tak interoperability mezi oběma programy. ISM (*Integrated Structural Modeling*) umožňuje napojit se na všechny Bentley aplikace, např. *ProSteel*.

SDNF - formát *.dat

Formát SDNF (*Steel Detailing Neutral File*) je určen pro výměnu geometrických dat konstrukce jako např. uzly, průřezy a pruty apod. s aplikací Intergraph.

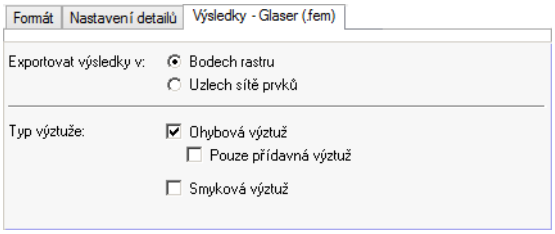
Formáty pro CAD programy pro vyztužení

Glaser - formát *.geo, *.fem

RFEM má rozhraní s programem *Glaser* od společnosti Isb Cad, které umožňuje výměnu dat pro geometrii a výztuž.

Pokud budeme chtít exportovat výsledné údaje o výztuži z modulu RF-CONCRETE Surfaces, je třeba dát pozor na to, aby definované plochy byly rovinné a horizontální, tzn. je třeba je zadat v rovině XY.

Odpovídající výsledky výztuže pro export lze zadat v novém dialogu po kliknutí na tlačítko [OK].



Obrázek 12.52 Dialog *Výběr pro výsledky výztuže*

Do programu Glaser se výztuže převedou graficky v rastrových bodech, popř. v uzlech sítě prvků. Na základě uložených hodnot lze pak dále zpracovávat armovací plány.

Strakon - formát *.cfe

Formát Strakon *.cfe podporuje výměnu geometrických dat jako např. ploch s CAD systémem STRAKON od softwarového výrobce Dicad.

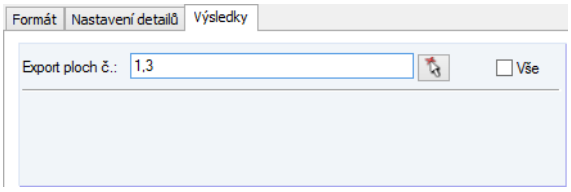
V záložce *Výsledky* dialogu *Export* můžeme uvést, u kterých ploch se mají výztuže exportovat (viz obr. 12.53).

Nemetschek - formát *.asf

Datová výměna je možná také mezi RFEMem a programem *Allplan* od společnosti Nemetschek.

Pokud budeme chtít exportovat výsledné údaje o výztuži z modulu RF-CONCRETE Surfaces, mohou sice definované plochy ležet v obecné poloze v prostoru, musí být ovšem rovinné. Pro každou rovinnou plochu se při exportu vytvoří jeden soubor ASF. To znamená, že pokud máme například 12 ploch, vytvoří se 12 souborů, které lze v programu *Allplan* skládat do prostorových konstrukcí.

V záložce *Výsledky* dialogu *Export* můžeme uvést, u kterých ploch se mají výztuže exportovat.



Obrázek 12.53 Dialog *Export*, záložka *Výsledky*

ESF - formát *.esf

Toto rozhraní jsme vyvinuli speciálně pro program *CADKON* od společnosti AB STUDIO. Exportovat lze rovinné plochy s konstantní tloušťkou včetně otvorů a údajů o materiálech. Do formátu *.esf (*Engineering Structural Format*) lze exportovat také výztuže ploch z RFEMu.

S importem dat ve formátu ESF se nepočítá. Použít lze formát DXF.

Formáty pro statické programy

Ansys - formát *.ans

Přes rozhraní k programu *ANSYS*, který nabízí řešení úloh metodou konečných prvků, lze importovat soubory ve formátu *.ans. Můžeme tak využít údaje z tohoto všestranného programu také k analýzám v RFEMu.

Scia - formát *.xml

Do programu RFEM lze importovat modelová data také ze statického programu *Scia* od společnosti Nemetschek, pokud jsou uložena ve formátu *.xml.

Dlubal - formát *.000

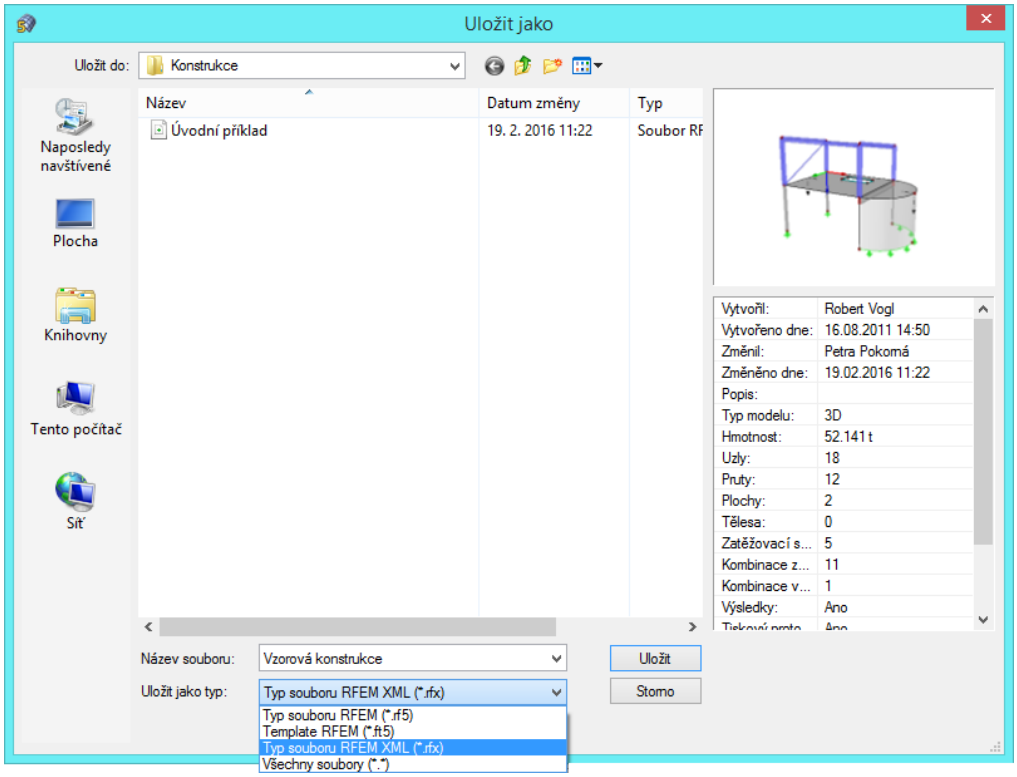
Soubory z programu *PLATE* z naší dílny, které jsou k dispozici v DOS formátu *.000, lze importovat přes toto rozhraní. Po označení příslušné volby a kliknutí na tlačítko [OK] se otevře standardní dialog *Otevřít*, v kterém vybereme složku a název souboru.

Obecné Dlubal formáty - *.xml, *.ft5

Soubory z RFEMu můžeme uložit ve formátu XML nebo jako předlohu příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Uložit jako...

Otevře se standardní dialog OS Windows *Uložit jako*, v němž je třeba vybrat ze seznamu požadovaný *typ souboru*.



Obrázek 12.54 Dialog *Uložit jako*

Ve formátu FT5 se model uloží jako šablona, kterou lze při vytváření nového souboru znovu načíst (viz obr. 12.23).

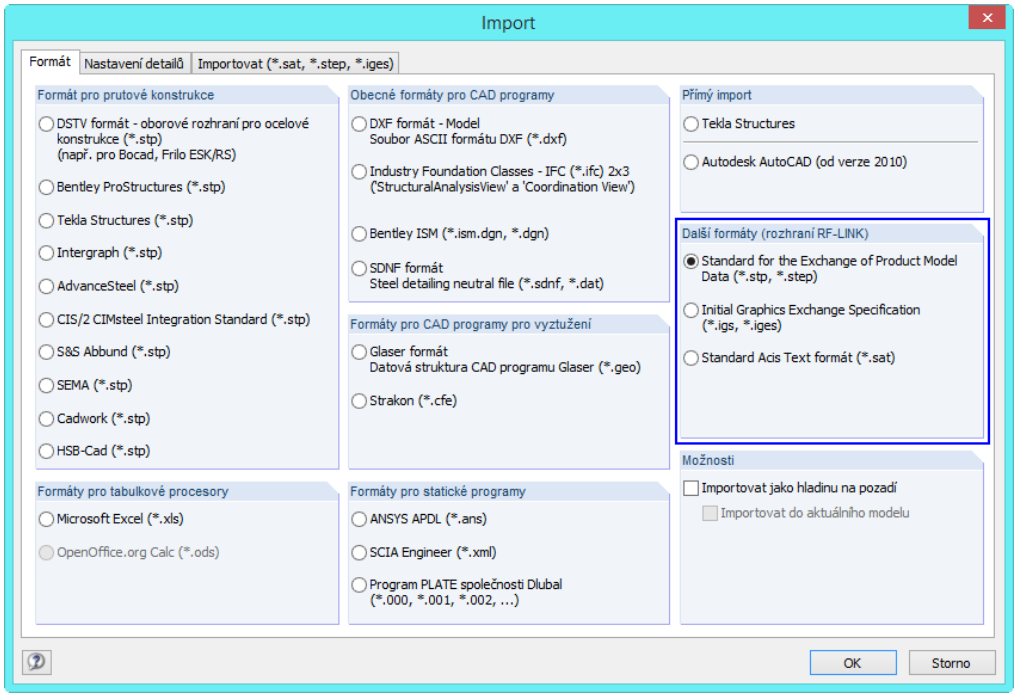
Pokud soubor ukládáme jako RFX, údaje z tabulek se převedou do formátu XML, ostatní data se uloží v binárním formátu. Vytvoří se komprimovaný soubor, který lze otevřít jako složku ZIP. Můžeme tak připravit soubory pro CAD aplikace.

12.5.3 RF-LINK pro import formátů *.step, *.iges, *.sat

Přídavný modul RF-LINK (není obsažen ve výbavě RFEMu) nabízí možnost importovat data ve formátu STEP, IGES nebo ACIS. Tyto datové formáty jsou rozšířeny především ve strojírenství. Umožňují přenos geometrie modelu ve formě hraničních linií a ploch.

Soubory v jednom z těchto formátů je možné importovat příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Importovat...

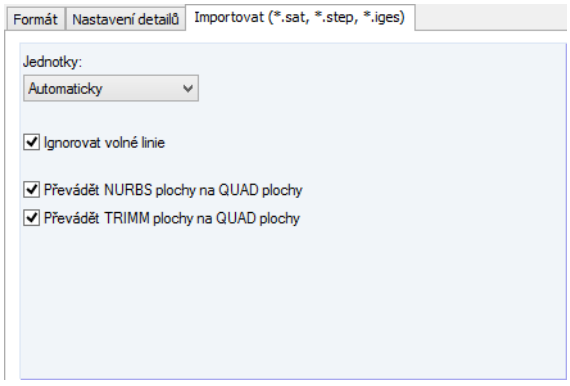


Obrázek 12.55 Dialog *Import*

V sekci *Další formáty* v dialogu, který se nám otevře, můžeme stanovit požadovaný formát souboru:

- *Standard for the Exchange of Product Model Data* (*.stp, *.step)
- *Initial Graphics Exchange Specification* (*.iges)
- *Standard Acis Text formát* (*.sat)

V záložce *Importovat (*.sat, *.step, *.iges)* v dialogu lze nastavit další detaily.



Obrázek 12.56 Dialog *Import*, záložka *Importovat (*.sat, *.step, *.iges)*

Export souborů z RFEMu do souborů ve formátu STEP, IGES nebo SAT není v současnosti možný.

13 Literatura

[1] P. L. Pasternak. On a New Method of Analysis of an Elastic Foundation by Means of Two Foundation Constants. Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvu I Arkhitekture, Moscow, 1954. Russian.

[2] Vladimír Kolář and Ivan Němec. Modeling of Soil-Structure Interaction. Elsevier Science Publishers with Academica Prague, Amsterdam, edition = 2. 1989.

[3] Vladimír Kolář et al. Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern. Haus der Technik, Ostrau, 1983. Czech.

[4] Ivan Němec and Vladimír Kolář. Finite Element Analysis of Structures - Principles and Praxis. Shaker Verlag, Aachen, 2010.

[5] Barth, C., & Rustler, W. (2013). Finite Elemente in der Baustatik-Praxis (2nd ed.). Berlin: Beuth.

[6] Vladimír Kolář et al. Bemessung von zwei- und dreidimensionalen Strukturen mit FEM. Springer-Verlag, New York / Wien, 1975. Chapters 1 (1D element) and 6 (variational principle)

[7] Vladimír Kolář and Ivan Němec. Finite Element Analysis of Structures. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, Prague - Geneva, 1984.

[8] Eduardo N. Dvorkin and Klaus-Jürgen Bathe. A continuum mechanics based four-node shell element for general non-linear analysis. Engineering Computations, 1, 1984.

[9] P. G. Bergan. Finite Elements Based on Energy Orthogonal Functions. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, 1980.

[10] P. G. Bergan and M. K. Nygård. Finite Elements With Increased Freedom in Choosing Shape Functions. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 20, 1984.

[11] P. G. Bergan and Carlos A. Felippa. A Triangular Membrane Element With Rotational Degrees of Freedom. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 50, 1985.

[12] Olgierd Cecil Zienkiewicz. The Finite Element Method in Engineering Science. Mc Graw-Hill, London edition = 3, 1979. Chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems).

[13] I. Sevčík. 3D Finite Elements with Rotational Degrees of Freedom. FEM Consulting s.r.o, Brno.

[14] S. Timoshenko and S. Woinowski-Krieger. Theory of Plates and Shells. McGraw-Hill, New York, edition = 2. 1959.

[15] Olgierd Cecil Zienkiewicz and Yau Kai Cheung. The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics. McGraw-Hill, New York, London, 1967.

[16] Vladimír Kolář et al. Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach der Methode der finiten Elemente. SMTL Prag, 1972. Czech.

[17] Vladimír Kolář et al. Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach der Methode der finiten Elemente. Springer, Wien, New York, 1975.

[18] Klaus Stiglat and Herbert Wippel. Massive Platten. Betonkalender, 1, 1989.

[19] Fritz Czerny. Tafeln für Rechteckplatten. Betonkalender, 1, 1990.

[20] Walter Wunderlich et al. Modellierung und Berechnung von Deckenplatten mit Unterzügen. Bauingenieur, 69, 1994.

[21] Emil Grasser and Gerd Thielen. Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1978.

[22] Emil Grasser and Karl Kordina and Ulrich Quast. Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1979.

[23] Vladimír Kolář and Ivan Němec. Contact stress and settlement in the structure-soil interface. Acadamia Prag, 1991. Czech.

[24] Christian Petersen. Stahlbau. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1988.

[25] Klaus-Jürgen Bathe. Finite Element Procedures. Prentice Hall, 1996.

[26] Th. Baumann. Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken. Der Bauingenieur, 47, 1972.

[27] Jörg Schlaich and Kurt Schäfer. Konstruieren im Stahlbetonbau. Betonkalender, 1993.

[28] Fritz Leonhardt. Vorlesungen über Massivbau, volume 6. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.

[29] Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. In .

[30] DIN 1045-1: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 1: Design and construction. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.

[31] DIN 18800 (11.90) Steel structures - Part 1: Design and construction. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.

[32] DIN 18800 (11.90) Steel structures - Part 2: Stability - Buckling of bars and skeletal structures. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.

[33] Oswald Klingmuller and Michael Lawo and Georg Thierauf. Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1983.

[34] Vladimír Koloušek. Dynamik der Baukonstruktionen. VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin, 1962.

[35] Erwin Krämer. Maschinendynamik. Springer, Berlin, 1984.

[36] Theodor Lehmann. Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzipe. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1979.

[37] Janusz Lipinski. Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen. Bauverlag, Wiesbaden, 1972.

[38] Hans Lorenz. Grundbau-Dynamik. Springer, Berlin, 1960.

[39] F. P. Müller. Baudynamik. Betonkalender, 1978.

[40] Hans-Günter Natke. Baudynamik. B. G. Teubner, Stuttgart, 1989.

[41] Witold Nowacki. Baudynamik. Springer, Berlin, 1974.

[42] Rainer Flesch. Baudynamik praxisgerecht. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 1993.

[43] Meskouris, K. (1999). *Baudynamik, Modelle, Methoden, Praxisbeispiele*. Berlin: Ernst & Sohn.

[44] Richard Bareš. *Tabulky pro výpočet desek a stěn*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, edition = 3. 1989.

[45] Paulo José Lourenço. Computational Strategies for Masonry Structures. Delft University Press, 1996.

[46] Albert, A. (2020). Schneider - Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen (24th ed.). Cologne: Reguvis.