Ing. Software
Dlubal

Vydání
červenec 2011

Přídavný modul

RF-ALUMINIUM

Posouzení mezního stavu únosnosti
a použitelnosti
podle Eurokódu 9

Popis programu

Všechna práva včetně práv k překladu vyhrazena.

Bez výslovného souhlasu společnosti ING. SOFTWARE DLUBAL S.R.O. není povoleno tento popis programu ani jeho jednotlivé části jakýmkoli způsobem dále šířit.

© Ing. Software Dlubal s.r.o.
Anglická 28 120 00 Praha 2

Tel.: +420 222 518 568
Fax: +420 222 519 218
E-mail: info@dlubal.cz
Web: www.dlubal.cz

Obsah

	Obsah	Strana
1.	**Úvod**	**4**
1.1	Přídavný modul RF-ALUMINIUM	4
1.2	Tým pro vývoj modulu RF-ALUMINIUM	5
1.3	Poznámka k příručce	5
1.4	Spuštění modulu RF-ALUMINIUM	6
2.	**Vstupní údaje**	**8**
2.1	Základní údaje	8
2.1.1	Záložka Únosnost	8
2.1.2	Záložka Mezní stav použitelnosti	10
2.1.3	Národní příloha (NP)	11
2.2	Materiály	12
2.3	Průřezy	14
2.4	Příčné mezilehlé podpory	17
2.5	Vzpěrné délky - pruty	18
2.6	Vzpěrné délky - sady prutů	22
2.7	Uzlové podpory – sady prutů	23
2.8	Klouby na koncích prutu - sady prutů	25
2.9	Údaje pro posouzení použitelnosti	26
3.	**Výpočet**	**27**
3.1	Detaily	27
3.1.1	Záložka Únosnost	27
3.1.2	Stabilita	28
3.1.3	Záložka Použitelnost	31
3.1.4	Jiné	32
3.2	Spuštění výpočtu	33
4.	**Výsledky**	**35**
4.1	Posouzení po zatěžovacích stavech	35
4.2	Posouzení po průřezech	36
4.3	Posouzení po sadách prutů	37
4.4	Posouzení po prutech	38
4.5	Posouzení po místech x	38
4.6	Rozhodující vnitřní síly po prutech	39
4.7	Rozhodující vnitřní síly po sadách prutů	40
4.8	Štíhlost prutů	40
4.9	Výkaz materiálu po prutech	41
4.10	Výkaz materiálu po sadách prutů	42
5.	**Vyhodnocení výsledků**	**43**
5.1	Výsledky na modelu v RFEMu	44
5.2	Průběhy výsledků	46
5.3	Filtrování výsledků	48
6.	**Výstup**	**50**
6.1	Výstupní protokol	50
6.2	Tisk zobrazení z modulu RF-ALUMINIUM	50
7.	**Obecné funkce**	**52**
7.1	Návrhové případy v modulu RF-ALUMINIUM	52
7.2	Optimalizace průřezů	54
7.3	Import / export materiálů	56
7.4	Jednotky a desetinná místa	57
7.5	Export výsledků	57
8.	**Příklad**	**60**
A	**Literatura**	**72**
B	**Index**	**73**

1. Úvod

1.1 Přídavný modul RF-ALUMINIUM

Eurokód 9 (EN 1999-1-1: 2007) stanoví pravidla pro navrhování, posuzování a výstavbu hliníkových konstrukcí ve všech členských státech Evropské unie. S přídavným modulem RF-ALUMINIUM od firmy Ing. Software Dlubal s.r.o. se uživatelům dostává do ruky vysoce výkonný a univerzální nástroj, který výborně poslouží při dimenzování hliníkových konstrukcí podle uvedené normy. Předpisy specifické pro jednotlivé země jsou stanoveny v národních přílohách. V modulu RF-ALUMINIUM máme k dispozici již předem zadané národní přílohy, uživatel může však také sám definovat mezní hodnoty a přidávat do modulu nové národní přílohy.

V modulu RF-ALUMINIUM se provádějí všechna typická posouzení únosnosti, stability a deformací. Při posouzení únosnosti se zohledňují různá namáhání a uživatel má u dané normy na výběr z několika interakčních posouzení. Důležitou součástí posouzení podle Eurokódu 9 je rozdělení posuzovaných průřezů do tříd 1-4. Cílem klasifikace průřezů je určit, v jakém rozsahu lokální boulení v částech průřezu omezuje únosnost a rotační kapacitu průřezů. Modul RF-ALUMINIUM spočítá poměr c/t tlačených částí a provede klasifikaci zcela automaticky.

V případě posouzení stability lze u každého jednotlivého prutu nebo sady prutů rozhodnout, zda je možné vybočení ve směru osy y a/nebo z. Definovat lze také přídavné příčné podpory, a vytvořit tak skutečně věrný model. Poměrná štíhlost a kritické zatížení se stanoví v modulu RF-ALUMINIUM automaticky na základě okrajových podmínek. Pro posouzení na klopení si může uživatel nechat automaticky v programu vypočítat pružný kritický moment při klopení nebo ho může také zadat ručně. Rovněž místo působení příčných zatížení, které má rozhodující vliv na namáhání kroucením, lze určit v detailním nastavení.

Mezní stav použitelnosti je v moderním stavebnictví, kdy se používají stále štíhlejší průřezy, důležitým faktorem ve statickém výpočtu. V modulu RF-ALUMINIUM může uživatel zařadit zatěžovací stavy a skupiny a kombinace zatěžovacích stavů jednotlivě do různých návrhových situací. Příslušné mezní hodnoty jsou stanoveny v národní příloze, lze je ovšem také upravit. Zadat lze kromě toho i vztažné délky a nadvýšení, které se při posouzení patřičně zohlední.

Stejně jako ostatní moduly je i RF-ALUMINIUM plně integrován do programu RFEM. Po jeho spuštění jsou proto důležité vstupní údaje o prutech, zatíženích, materiálech či vnitřních silách již předem nastaveny. Jakmile je posouzení ukončeno, lze použít grafické prostředí RFEMu k vyhodnocení výsledků. Celé posouzení lze pohodlně zdokumentovat v centrálním, jednotném výstupním protokolu.

Program nabízí uživateli automatickou optimalizaci průřezů a možnost exportovat upravené profily do RFEMu. Samostatné návrhové případy umožňují flexibilně posoudit jednotlivé části rozsáhlých konstrukcí.

Přejeme Vám mnoho úspěchů a zábavy při práci s naším modulem RF-ALUMINIUM.

Vaše společnost Ing. Software Dlubal s.r.o.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

1.2 Tým pro vývoj modulu RF-ALUMINIUM

Na vývoji modulu RF-ALUMINIUM se podíleli:

Koordinátoři programu

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Ing. Ph.D. Martin Čudejko
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem
Ing. Pavol Červeňák

Programátoři

Ing. Zdeněk Kosáček
Ing. Ph.D. Martin Čudejko
Dr.-Ing. Jaroslav Lain
Ing. Martin Budáč
Mgr. Petr Oulehle
Ing. Roman Svoboda
DiS. Jiří Šmerák
Zbyněk Zámečník

Databáze průřezů a materiálů

Ing. Ph.D. Jan Rybín
Jan Brnušák

Design programu, dialogů a ikon

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
MgA. Robert Kolouch
Ing. Jan Miléř

Testování programu

Ing. Martin Vasek
Dipl.-Ing. (FH) René Flori

Manuály, dokumentace a překlady

Ing. Ph.D. Martin Čudejko
Ing. Ladislav Kábrt
Ing. Mgr. Hana Macková
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Mgr. Michaela Kryšková
Mgr. Petra Pokorná
Dipl.- Ü. Gundel Pietzcker

Technická podpora a závěrečná kontrola

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. Frank Faulstich
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel
Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich
M.Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

1.3 Poznámka k příručce

Tematické oblasti jako instalace, uživatelské prostředí, vyhodnocení výsledků a výstup jsou podrobně popsány v manuálu k hlavnímu programu RFEM, a proto je v této příručce ponecháme stranou. Pozornost naopak soustředíme na zvláštnosti, které přináší práce s tímto přídavným modulem.

Při popisu modulu RF-ALUMINIUM vycházíme z pořadí a struktury tabulek se vstupními a výstupními daty. V textu uvádíme popisované **ikony** (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [Detaily…]. 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.

Do této příručky zařazujeme také index pro rychlé vyhledání termínů. Pokud však ani tak nenaleznete to, co potřebujete, pak se Vám na našich webových stránkách **www.dlubal.cz** nabízí vyhledávač, pomocí kterého můžete dle zadaných kritérií listovat v rozsáhlém seznamu *Otázky a odpovědi*.

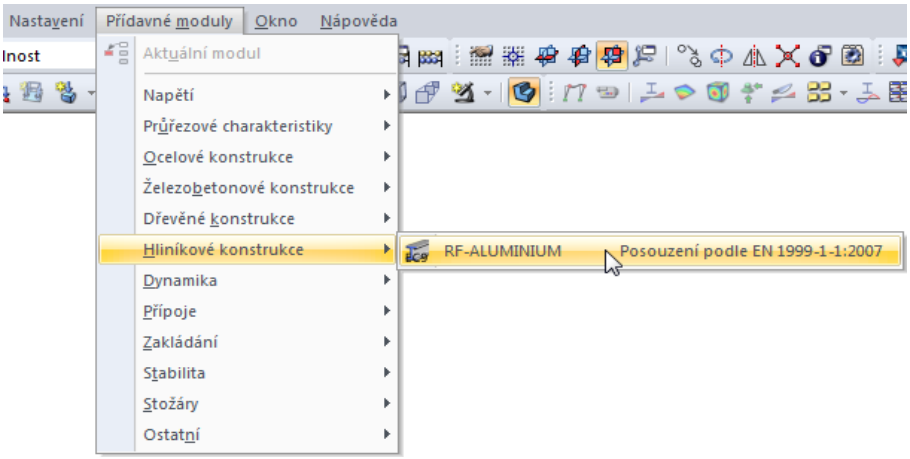
1.4 Spuštění modulu RF-ALUMINIUM

Přídavný modul RF-ALUMINIUM lze v RFEMu spustit několika způsoby.

Hlavní nabídka

Modul RF-ALUMINIUM můžeme vyvolat příkazem z hlavní nabídky programu RFEM

Přídavné moduly → Hliníkové konstrukce → RF-ALUMINIUM.

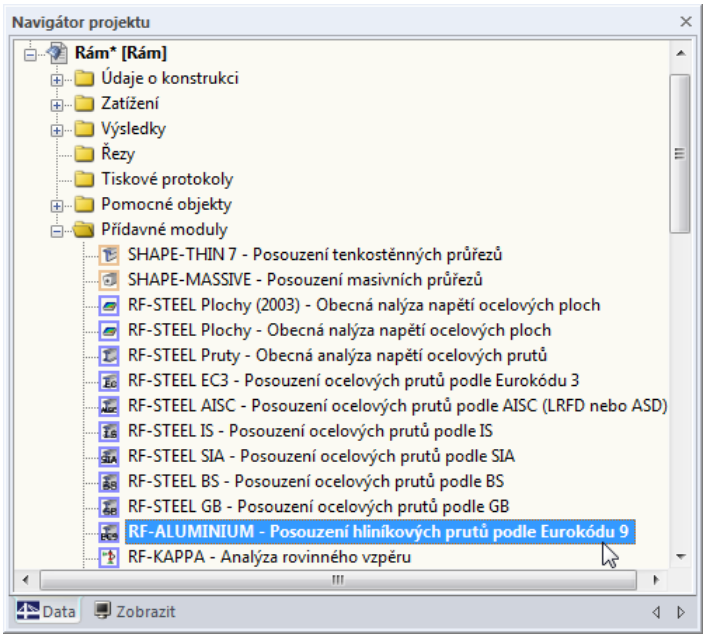


Obr. 1.1: Hlavní nabídka: *Přídavné moduly → Hliníkové konstrukce →* **RF-ALUMINIUM**

Navigátor

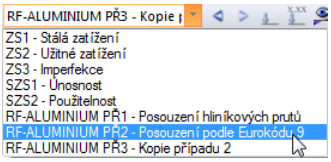
Modul RF-ALUMINIUM lze dále vyvolat z navigátoru *Data* kliknutím na položku

Přídavné moduly → RF-ALUMINIUM.



Obr. 1.2: Navigátor Data: *Přídavné moduly → RF-ALUMINIUM*

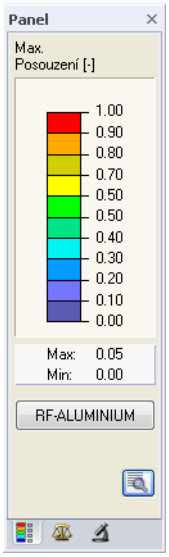
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.



Panel

Pokud jsou v určité úloze v RFEMu již k dispozici výsledky z modulu RF-ALUMINIUM, pak lze daný případ z tohoto modulu nastavit v seznamu zatěžovacích stavů. Pomocí tlačítka [Zapnout/vypnout výsledky] se v grafickém okně zobrazí výsledky posouzení na prutech.

V panelu je k dispozici tlačítko [RF-ALUMINIUM], kterým lze modul RF-ALUMINIUM spustit.



Obr. 1.3: Panel: Tlačítko [RF-ALUMINIUM]

2. Vstupní údaje

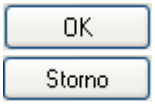
Údaje pro definování návrhových případů se zadávají ve vstupních dialozích. Pro pruty a sady prutů se dále nabízí grafické zadání pomocí funkce [Vybrat].

Po spuštění modulu RF-ALUMINIUM se zobrazí nové okno, v jehož levé části vidíme navigátor, z něhož máme přístup ke všem stávajícím dialogům. Nad navigátorem se nachází rozbalovací seznam všech případně již zadaných návrhových případů (viz kapitola 7.1, strana 52).

Pokud modul RF-ALUMINIUM spouštíme v dané úloze v RFEMu poprvé, pak se automaticky načtou následující důležité údaje:

- Pruty a sady prutů
- Zatěžovací stavy a skupiny a kombinace zatěžovacích stavů
- Materiály
- Průřezy
- Vnitřní síly (na pozadí – pokud byly vypočítány)

Mezi dialogy můžeme přepínat buď klikáním na jednotlivé položky v navigátoru modulu RF-ALUMINIUM nebo pomocí vlevo znázorněných tlačítek. Funkční klávesy [F2] a [F3] slouží také k listování v dialozích, a to buď dopředu, nebo zpět.

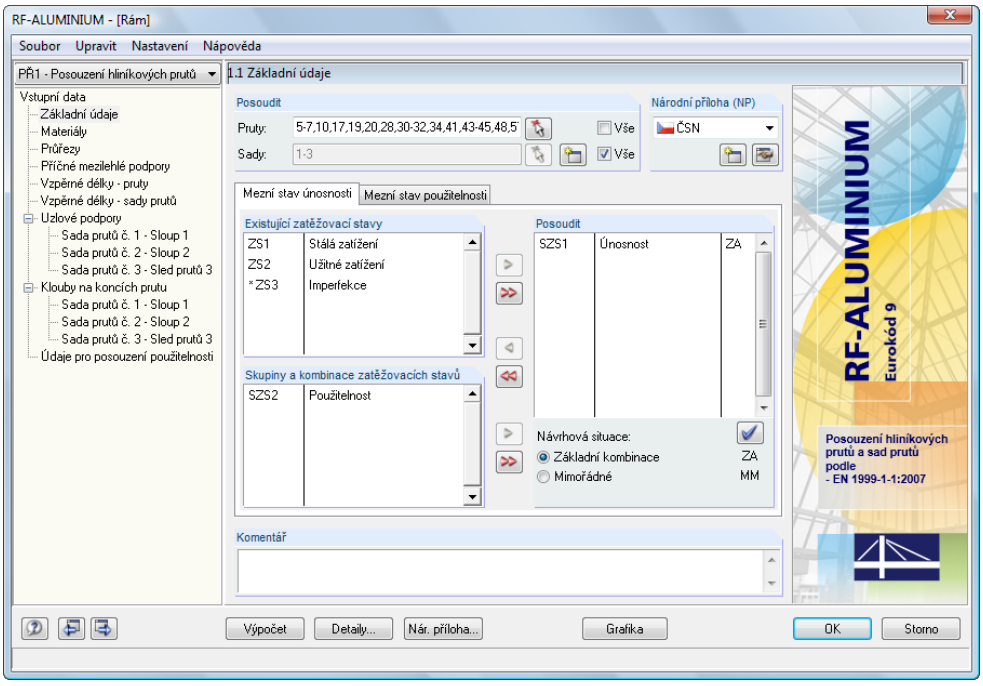


Tlačítkem [OK] uložíme zadané údaje a zavřeme modul RF-ALUMINIUM, zatímco tlačítkem [Storno] modul ukončíme bez uložení dat.

2.1 Základní údaje

V dialogu 1.1 *Základní údaje* se vybírají pruty, sady prutů a zatížení k posouzení. Uživatel má možnost stanovit zatěžovací stavy, skupiny a kombinace pro posouzení na mezní stav únosnosti a použitelnosti zvlášť v příslušných záložkách.

2.1.1 Záložka Únosnost



Obr. 2.1: Dialog 1.1 *Základní údaje*, záložka *Mezní stav únosnosti*

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

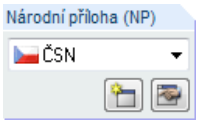
Posoudit

K posouzení lze vybírat jak *pruty* tak *sady prutů*. Pokud mají být posouzeny pouze některé objekty, je třeba deaktivovat zaškrtávací políčko *Vše*. Tím se zpřístupní obě vstupní pole, do nichž lze zadávat čísla příslušných prutů nebo sad prutů. Pomocí tlačítka [Vybrat] lze pruty, příp. sady prutů zvolit i graficky v pracovním okně RFEMu. Seznam již přednastavených čísel prutů lze rychle vybrat dvojím kliknutím a přepsat ručně.

Pokud jsme v RFEMu dosud nedefinovali žádné sady prutů, pak je lze zadat pomocí tlačítka [Vytvořit novou sadu prutů…] přímo v modulu RF-ALUMINIUM. Otevře se dialog pro vytvoření nové sady prutů, který již známe z programu RFEM, kde vyplníme příslušné údaje.

Při posouzení sady prutů se spočítají extrémní hodnoty pro všechny pruty z dané sady a při stabilitní analýze se zohlední okrajové podmínky připojených prutů. Po výpočtu se navíc zobrazí výsledné tabulky 2.3 *Posouzení po sadách prutů*, 3.2 *Rozhodující vnitřní síly po sadách prutů* a 4.2 *Výkaz materiálu po sadách prutů*.

Národní příloha (NP)



V seznamu v pravém horním rohu tohoto dialogu může uživatel nastavit národní přílohu, kterou se budou následně řídit příslušné parametry a mezní hodnoty deformace.

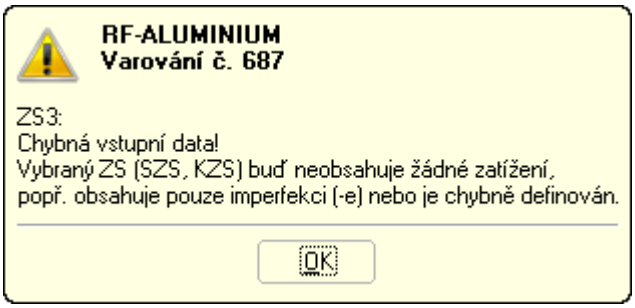
Pomocí tlačítka [Upravit národní přílohu (NP)...] otevřeme dialog s detailním nastavením vybrané národní přílohy, kde můžeme překontrolovat a případně upravit některé parametry. Tento dialog popisujeme v kapitole 2.1.3 na straně 11.

Existující zatěžovací stavy / Skupiny a kombinace zatěžovacích stavů

V těchto dvou sekcích se zobrazí seznam všech zatěžovacích stavů a skupin a kombinací zatěžovacích stavů vytvořených v RFEMu, které připadají v úvahu pro posouzení. Pomocí tlačítka [▶] lze vybrané zatěžovací stavy, skupiny nebo kombinace zařadit do seznamu vpravo *Posoudit*. Jednotlivé položky lze vybrat i dvojím kliknutím. Tlačítkem [▶▶] převedeme do seznamu vpravo všechny položky najednou.

Pokud je u zatěžovacích stavů nebo kombinací zatěžovacích stavů uvedena hvězdička (*), jak například vidíme na obr. 2.1 u zatěžovacího stavu 3, nelze je posoudit. V takovém případě jim totiž nebyla přiřazena žádná zatížení nebo obsahují výlučně imperfekce (stejně jako v našem případě).

Je třeba upozornit na to, že posoudit lze pouze kombinace zatěžovacích stavů, u nichž lze jednoznačně určit minima a maxima (tzn. kombinace buď/anebo s kombinačním kritériem *Stálé*). Jedná se o nezbytné omezení, protože výpočet pružného kritického momentu při klopení vyžaduje jednoznačné přiřazení průběhů momentů. Pokud přesto vybereme k posouzení nepřípustnou kombinaci zatěžovacích stavů, zobrazí se následující chybové hlášení:



Obr. 2.2: Varovné hlášení při výběru nepřípustné kombinace zatěžovacích stavů

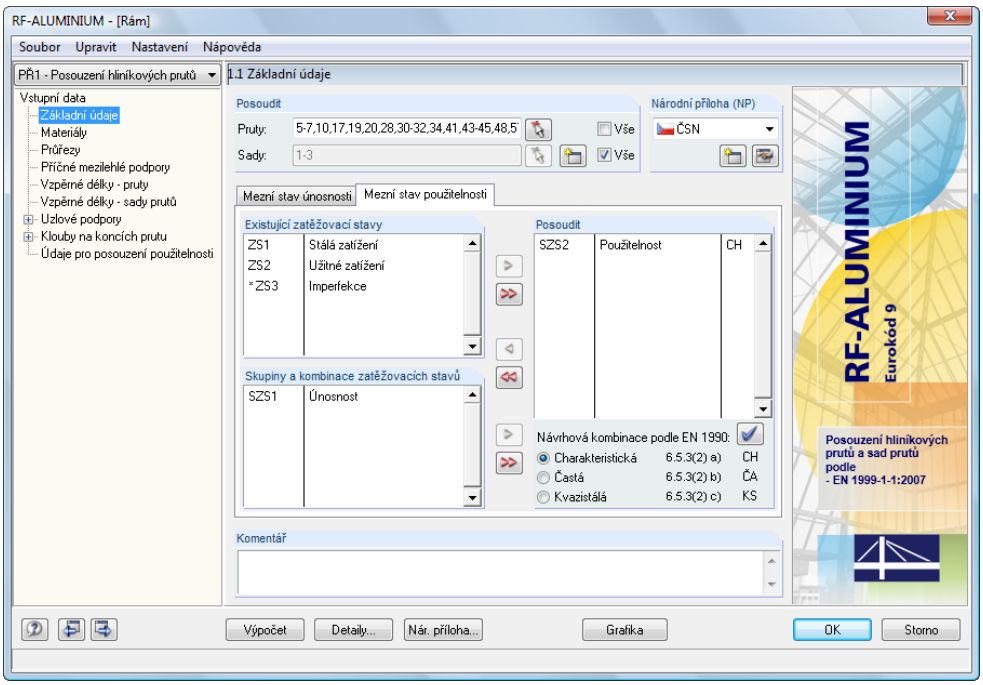
Několikanásobný výběr zatěžovacích stavů lze provést také pomocí klávesy [Ctrl], jak je běžné ve Windows. Lze tak převést do seznamu vpravo několik zatěžovacích stavů najednou.

Posoudit

V pravém sloupci jsou uvedena zatížení vybraná k posouzení. Tlačítkem [◀] můžeme vybrané zatěžovací stavy, skupiny nebo kombinace ze seznamu opět odstranit. I zde lze výběr položek provést dvojím kliknutím. Tlačítkem [◀◀] smažeme celý seznam.

Výpočet obálky hodnot kombinace zatěžovacích stavů *Nebo* bývá rychlejší než posouzení všech příslušných zatěžovacích stavů nebo skupin. Na druhé straně nesmíme zapomenout na výše uvedené omezení: k jednoznačnému určení maxima nebo minima je nutné, aby kombinace zatěžovacích stavů *Nebo* obsahovala výlučně zatěžovací stavy, skupiny nebo kombinace, které vstupují do kombinace s kritériem *Stálé*. Při posouzení kombinace ZS lze navíc méně zřetelně rozlišit vliv jednotlivých zatížení.

2.1.2 Záložka Mezní stav použitelnosti



Obr. 2.3: Dialog 1.1 *Základní údaje*, záložka *Mezní stav použitelnosti*

Existující zatěžovací stavy / Skupiny a kombinace zatěžovacích stavů

V těchto dvou sekcích se zobrazí seznam všech zatěžovacích stavů (ZS), skupin a kombinací zatěžovacích stavů vytvořených v RFEMu.

Posoudit

Zařazení zatěžovacích stavů a jejich skupin a kombinací do seznamu k posouzení, příp. jejich odstranění ze seznamu se provádí stejným způsobem jako v předchozí záložce (viz kapitola 2.1.1).

Návrhová kombinace podle EN 1990

V této sekci lze jednotlivým zatěžovacím stavům, skupinám a kombinacím ZS přiřazovat různé mezní hodnoty pro průhyb. Nejdříve je třeba vybrat příslušné zatížení v tabulce *Posoudit*. Kliknutím na modrý háček [☑] se pak k vybrané položce přiřadí odpovídající mezní hodnota zvolené návrhové situace. Vybrat lze některou z následujících návrhových kombinací:

- Charakteristická (CH)

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

- Častá (ČA)
- Kvazistálá (KS)

Mezní hodnoty deformací se řídí nastavenou národní přílohou a lze je upravit u jednotlivých návrhových situací v dialogu *Parametry národní přílohy* (viz obr. 2.4, strana 11).

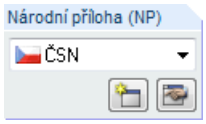
Vztažné délky rozhodující pro posouzení mezního stavu použitelnosti se zadávají v dialogu 1.9 (viz kapitola 2.9, strana 26).

Komentář

V tomto poli může uživatel uvést vlastní poznámky k danému návrhovému případu.

Tlačítko [Nár. příloha...] máme k dispozici ve všech vstupních dialozích. Můžeme jím kdykoli otevřít dialog *Parametry národní přílohy* a v něm zkontrolovat a případně upravit dílčí součinitele spolehlivosti, mezní hodnoty průhybů a stav obecné trojosé napjatosti v průřezu.

2.1.3 Národní příloha (NP)



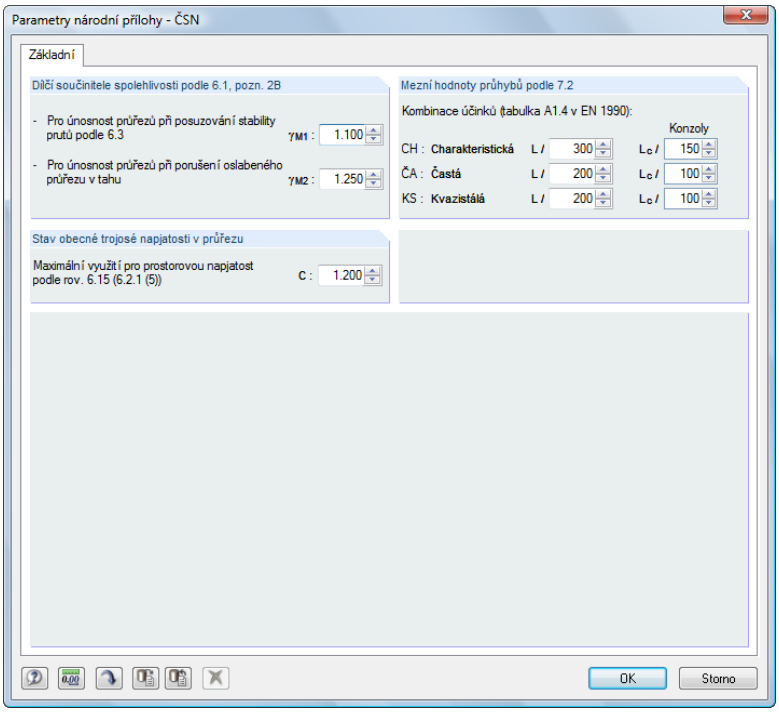
V seznamu v pravém horním rohu dialogu 1.1 *Základní údaje* může uživatel nastavit národní přílohu, kterou se budou následně řídit příslušné parametry a mezní hodnoty deformace.

Pomocí tlačítka [Upravit národní přílohu (NP)...] otevřeme dialog s detailním nastavením vybrané národní přílohy, kde můžeme překontrolovat a případně upravit některé parametry (viz obr. 2.4).

Pomocí tlačítka [Vytvořit novou národní přílohu (NP)…] může uživatel v programu sám zadat další národní přílohu.

Tlačítka, která se nacházejí v levém dolním rohu dialogu *Parametry národní přílohy*, umožňují upravené parametry uložit jako standard a znovu je načíst nebo naopak obnovit přednastavené standardní hodnoty z programu.

Národní přílohy, které definoval sám uživatel, lze opět odstranit pomocí tlačítka [Smazat].



Obr. 2.4: Dialog *Parametry národní přílohy - ČSN*

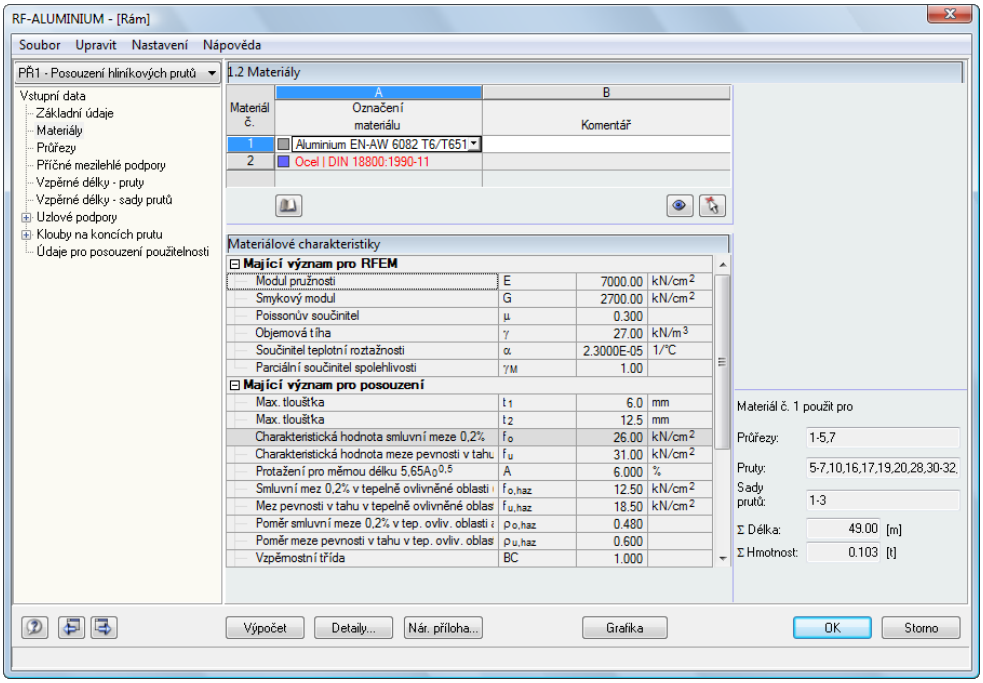
2.2 Materiály

Tento dialog je rozdělen do dvou částí. V horní sekci jsou uvedeny materiály, které se mají posoudit. Ve spodní sekci *Materiálové charakteristiky* se zobrazí hodnoty aktuálního materiálu, tzn. materiálu, jehož řádek jsme vybrali v horní sekci.

Materiály, které se nebudou při posouzení uvažovat, jsou uvedeny šedým písmem. Nepřípustné materiály se zvýrazní červeně, upravené materiály pak modře.

Hodnoty materiálu, které jsou nezbytné pro výpočet vnitřních sil v RFEMu, podrobně popisujeme v manuálu k programu RFEM v kapitole 5.3 *Materiál*. Materiálové charakteristiky, které jsou důležité pro posouzení, se spolu s označením materiálu uloží do globální databáze materiálů a automaticky se přednastaví.

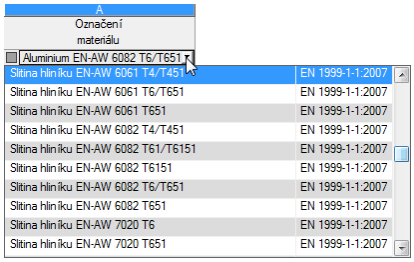
Jednotky a desetinná místa materiálových hodnot a napětí lze měnit z hlavní nabídky **Nastavení** → **Jednotky a desetinná místa...** (viz kapitola 7.4, strana 57).



Obr. 2.5: Dialog 1.2 *Materiály*

Označení materiálu

V tomto sloupci se automaticky nastaví materiály definované v RFEMu. Pokud změníme *označení materiálu* a v databázi materiálů existuje položka se stejným názvem, načte RF-ALUMINIUM příslušné materiálové hodnoty.



Jiný materiál můžeme vybrat ze seznamu: kurzor umístíme do sloupce A a klikneme na tlačítko [▼] nebo stiskneme klávesu [F7]. Otevře se seznam, který vidíme na levém okraji. Jakmile vybereme požadovaný materiál, aktualizují se materiálové charakteristiky.

Seznam obsahuje v souladu s koncepcí posouzení podle EN 1999-1-1 pouze materiály z kategorie Hliník. Možnost převzetí materiálů z databáze popisujeme níže.

Materiálové charakteristiky nelze v programu RF-ALUMINIUM zásadně upravovat.

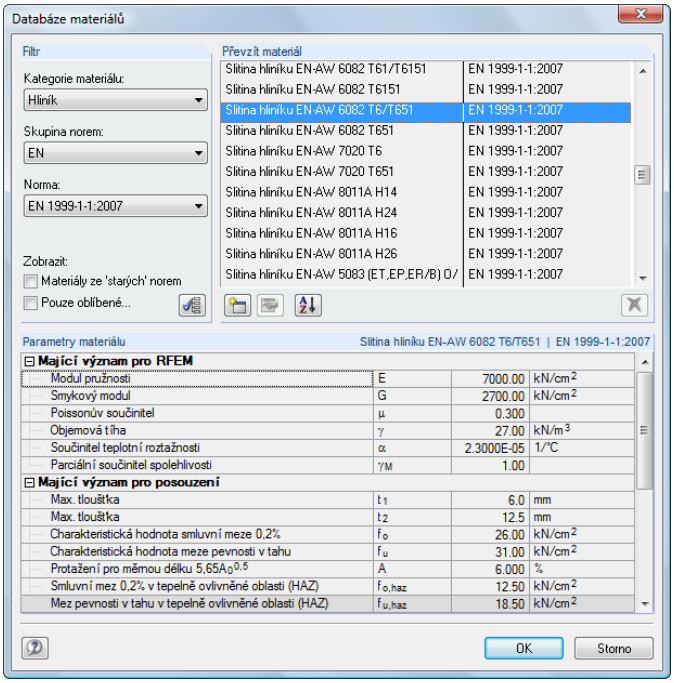
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Databáze materiálů

V databázi je uloženo značné množství materiálů. Databázi otevřeme příkazem v hlavní nabídce

Upravit → Databáze materiálů...

nebo kliknutím na vlevo znázorněné tlačítko.



Obr. 2.6: Dialog *Databáze materiálů*

V sekci *Filtr* je přednastavena kategorie materiálu Hliník. V seznamu *Převzít materiál*, který se nachází vpravo, lze vybrat určitý materiál a ve spodní části dialogu překontrolovat jeho charakteristické hodnoty.

Po kliknutí na tlačítko [OK] nebo stisknutím klávesy [↵] se materiál převezme do dialogu 1.2 modulu RF-ALUMINIUM.

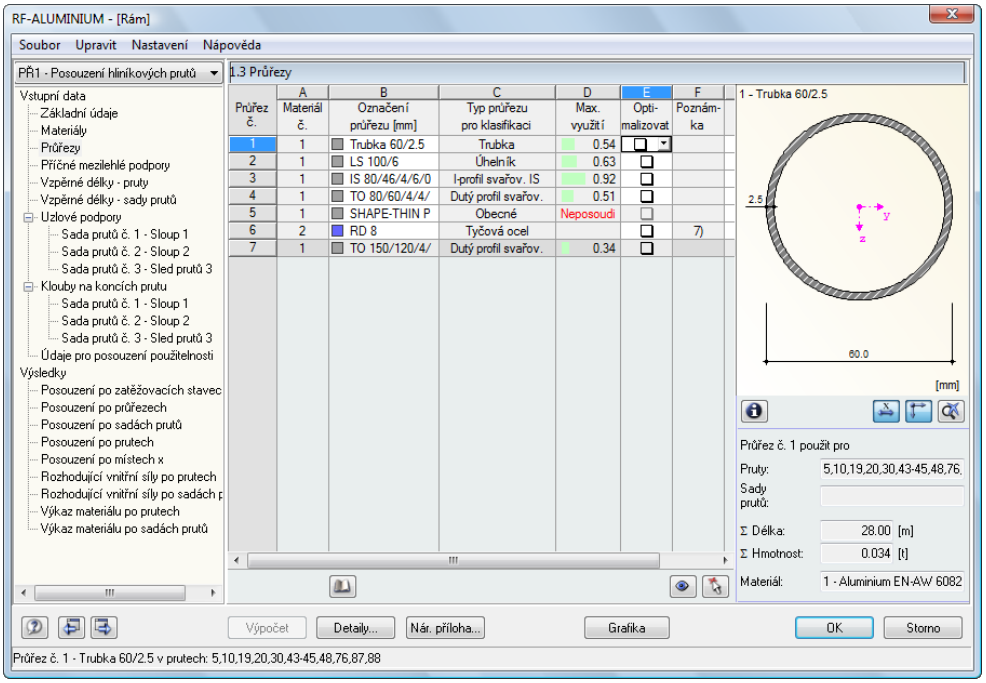
V kapitole 5.3 *Materiál* v manuálu k programu RFEM je podrobně popsáno, jak lze materiály filtrovat, přidávat do databáze nebo nově třídit.

V modulu RF-ALUMINIUM lze posuzovat pouze materiály uvedené v EN 1999-1-1, v tabulce 3.2. Z tohoto důvodu také nelze upravovat materiálové charakteristiky.

Program neověřuje ani tvar výrobku (srov. [1], tabulka 3.2b, sloupec *Tvar výrobku*) ani tvar průřezu, což je třeba vzít v úvahu při výběru vhodného materiálu.

2.3 Průřezy

V tomto dialogu se pracuje s průřezy, které přicházejí v úvahu pro posouzení. Dále tu lze stanovit parametry pro optimalizaci.



Obr. 2.7: Dialog 1.3 *Průřezy*

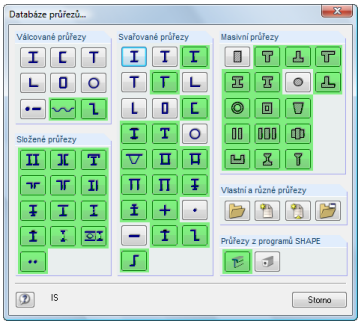
Označení průřezu

Při otevření dialogu jsou již přednastaveny průřezy použité v RFEMu i s přiřazenými čísly materiálů.

Zadané průřezy lze pro posouzení kdykoli změnit. Označení upraveného průřezu se v tomto sloupci zvýrazní modře.

Pokud chceme určitý profil upravit, uvedeme nové označení průřezu do příslušného řádku nebo vybereme nový profil z databáze. Databázi otevřeme kliknutím na tlačítko [Převzít průřez z databáze…] nebo umístíme kurzor do požadovaného řádku a klikneme na tlačítko [...], případně stiskneme klávesu [F7]. Otevře se nám tak databáze průřezů RFEMu nebo příslušná řada profilů.

Výběr průřezů z databáze podrobně popisujeme v kapitole 5.13 *Průřezy* v manuálu k programu RFEM.



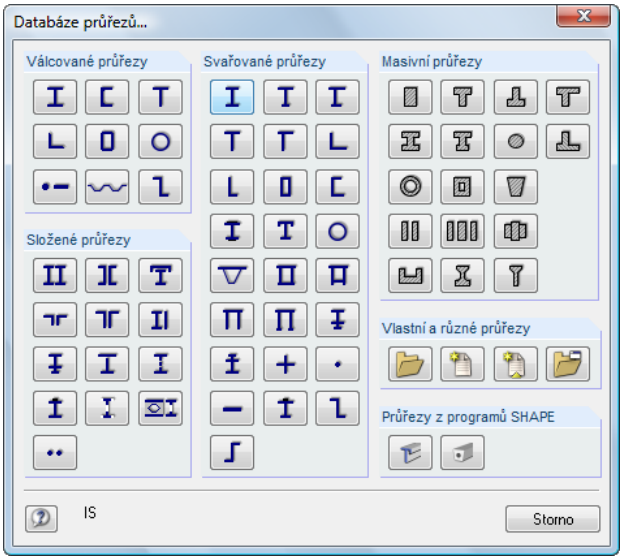
Obecné průřezy (uložené v databázi)

V modulu RF-ALUMINIUM lze obsáhle posuzovat následující typy průřezů:

- I průřezy: válcované/svařované, dvouose symetrické nebo symetrické podle osy z
- Uzavřené duté profily: válcované/svařované, čtvercového/obdélníkového průřezu, dvouose symetrické
- Masivní průřezy: kruhové/obdélníkové
- Trubky
- Úhelníky: válcované/svařované profily rovnoramenné či nerovnoramenné
- T průřezy: válcované/svařované, symetrické podle osy z
- U průřezy: válcované/svařované, symetrické podle osy y

Posoudit lze i další průřezy z databáze nebo z programu SHAPE-THIN, které se řadí mezi „*obecné*“ průřezy. V jejich případě ovšem nejsou k dispozici všechny možnosti posouzení. Průřezy z programu SHAPE-THIN musí být modelovány výlučně z rovných prvků.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.



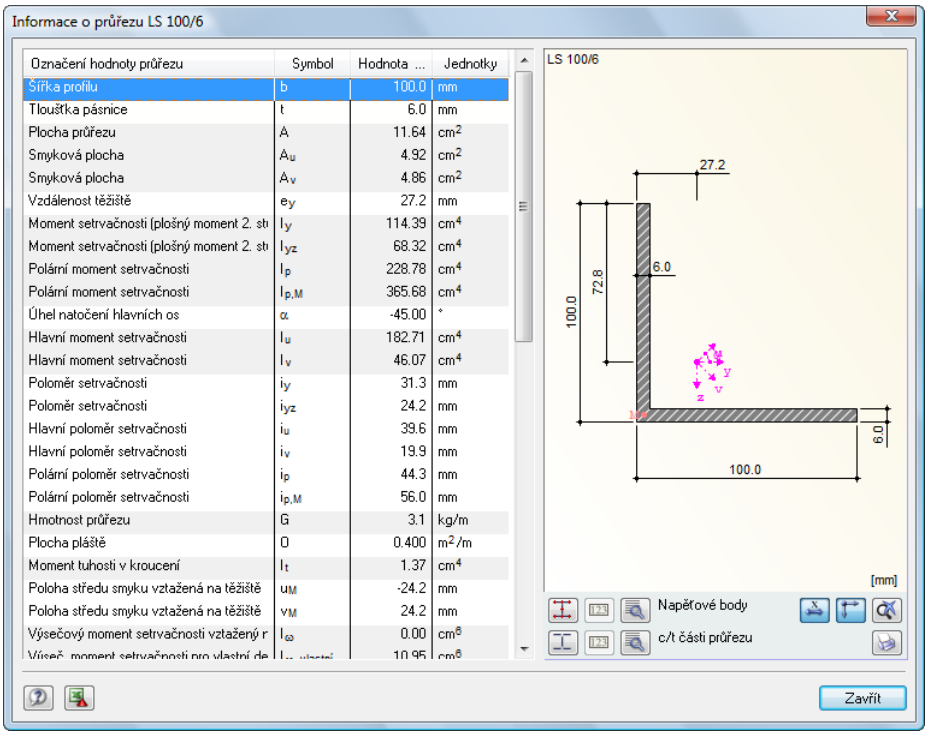
Obr. 2.8: Databáze průřezů

Prut s náběhy

Posouzení prutů s náběhy ze složených průřezů modul RF-ALUMINIUM nepodporuje. Po výpočtu se v případě náběhů zobrazí chyba 1021).

Informace o průřezu

Pokud chceme zkontrolovat průřezové hodnoty, napěťové body a c/t části průřezu, umístíme kurzor myši do řádku příslušného průřezu a následně klikneme na tlačítko [Průřezové charakteristiky...]. Otevře se následující dialog:



Obr. 2.9: Dialog *Informace o průřezu*

V pravé části dialogu je znázorněn aktuálně vybraný průřez. Tlačítka pod obrázkem mají následující funkce:

Tlačítko	Funkce
	Slouží k zobrazení, příp. vypnutí napěťových bodů.
	Slouží k zobrazení, příp. vypnutí (c/t) částí průřezu.
	Slouží k zobrazení, příp. vypnutí číslování napěťových bodů, resp. (c/t) částí průřezu.
	Zobrazí, příp. vypne detaily napěťových bodů, resp. (c/t) částí průřezu.
	Slouží k zobrazení, příp. vypnutí kót průřezu.
	Slouží k zobrazení, resp. vypnutí hlavních os průřezu.
	Obnoví celkový náhled na průřez.

Tabulka 2.1: Tlačítka pro grafické zobrazení průřezu

Max. využití

Tento sloupec se zobrazí až po výpočtu. Na jeho základě lze rozhodnout, zda se má průřez optimalizovat. Z údajů v tomto sloupci a z barevných referenčních pruhů je zřejmé, které průřezy jsou téměř nevyužity, a tudíž předimenzovány, a naopak které jsou příliš silně namáhány, a tudíž poddimenzovány.

Optimalizovat

Každý profil z databáze může být optimalizován. Při optimalizaci se na základě vnitřních sil z RFEMu spočítá v rámci dané řady průřezů profil, který se nejvíce blíží maximálnímu využití stanovenému v záložce *Ostatní* dialogu *Detaily* (viz obr. 3.4, strana 32).

Pokud chceme určitý průřez optimalizovat, zaškrtneme u něj políčko ve sloupci D, resp. E. Doporučení k optimalizaci průřezů najdeme v kapitole 7.2 na straně 54.

Poznámka

V tomto sloupci jsou uvedeny odkazy na poznámky pod čarou, které najdeme pod seznamem průřezů.

Pokud se před výpočtem zobrazí hlášení *Nepřípustný průřez č. XX*, pak se jedná o průřez, který nebyl uložen do databáze průřezů. Průřez mohl definovat sám uživatel nebo se může jednat o nespočítaný průřez z programu SHAPE-THIN. Pomocí tlačítka [...] ve sloupci B *Označení průřezu* pak lze nastavit vhodný průřez pro posouzení (viz obr. 2.8).

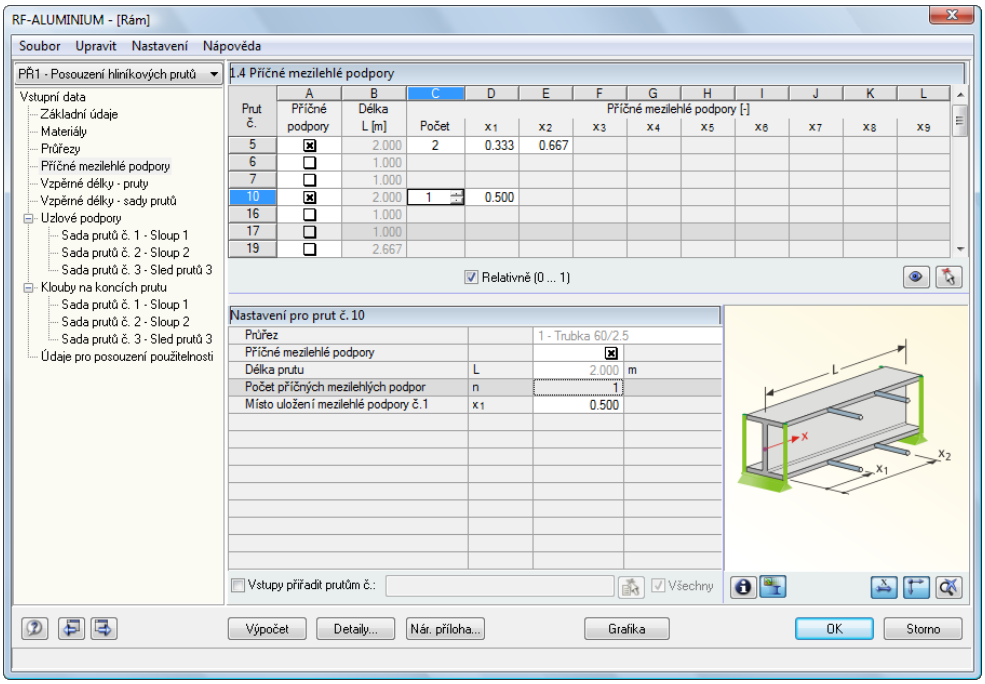
Databáze průřezů obsahuje různé *svařované profily*. Jedná se přitom o parametrizované průřezy, které se zpravidla zhotovují v ocelářské výrobě svařováním plechů. U modulu RF-ALUMINIUM je přitom třeba upozornit na to, že posouzení svarů (účinků tepelně ovlivněné oblasti) není do současné verze implementováno.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

2.4 Příčné mezilehlé podpory

V dialogu 1.4 může uživatel definovat na prutech příčné mezilehlé podpory. Tyto podpory program vždy dosadí kolmo k vedlejší ose *z* daného průřezu (viz obr. 2.9). Tím se změní vzpěrné délky prutu, které jsou důležité pro stabilitní posouzení na vzpěr a klopení.

Příčné mezilehlé podpory se při výpočtu vždy zohlední jako vidlicové podepření.



Obr. 2.10: Dialog 1.4 *Příčné mezilehlé podpory*

V horní části dialogu má uživatel možnost vytvořit až devět příčných mezilehlých podpor na každém prutu. Ve spodní části dialogu se zobrazí souhrn zadaných údajů u prutu, který jsme vybrali v horní tabulce.

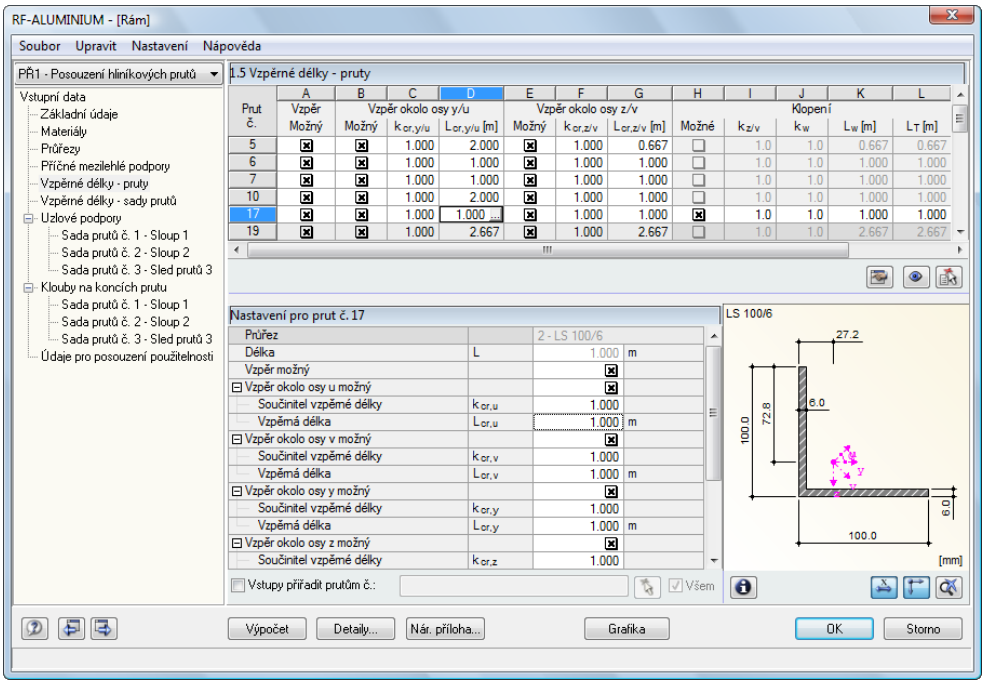
☑ Relativně (0 ... 1)

Příčné mezilehlé podpory lze definovat buď tak, že přímo zadáme vzdálenosti podpor, anebo relativně. Pro relativní určení místa uložení podpor je třeba zaškrtnout políčko *Relativně (0 … 1)*. Poloha podpory se pak spočítá na základě délky prutu a zadaných rozestupů.

Pokud u sad prutů na přímce uplatníme *způsob zadání jako pro pruty* (viz dialog *Detaily*, záložka *Stabilita*), tak jak vidíme na obr. 3.2 na straně 28, můžeme příčné mezilehlé podpory umístit na mezilehlých uzlech daných sad prutů. V opačném případě nelze zadat přímo na uzlech žádné příčné mezilehlé podpory.

2.5 Vzpěrné délky - pruty

Dialog 1.5 je pro přehlednost rozdělen do dvou částí. V horní části se nachází souhrnná tabulka s údaji o součinitelích vzpěrné délky, o délce náhradního prutu a součinitelích vzpěrné délky pro klopení posuzovaných prutů. V dolní části tabulky se zobrazí detailní informace o prutu, který jsme právě vybrali v horní tabulce.



Obr. 2.11: Dialog 1.5 *Vzpěrné délky - pruty*

Vzpěrné délky prutu pro vybočení okolo hlavní osy se automaticky nastaví v souladu s údaji v dialogu 1.4. Pokud příčné mezilehlé podpory rozdělují prut na různě dlouhé úseky, pak se v příslušných sloupcích G, K a L v tabulce 1.5 nezobrazí žádná hodnota.

Uživatel může měnit součinitele vzpěrné délky ve spodní části dialogu v detailním nastavení i v horním souhrnném přehledu. Údaje v druhé části dialogu se pak automaticky aktualizují. Vzpěrnou délku prutu můžeme určit i graficky pomocí funkce [Vybrat].

Stromová struktura v dolní části dialogu *Nastavení pro prut* obsahuje následující parametry:

- *Průřez*
- *Délka* (skutečná délka prutu)
- *Vzpěr možný* (srov. sloupec A)
- *Vzpěr okolo osy y možný* (součinitel vzpěrné délky, srov. sloupce B až D)
- *Vzpěr okolo osy z možný* (součinitel vzpěrné délky, srov. sloupce E až G)
- *Klopení možné* (součinitele vzpěrné délky při klopení, srov. sloupce H až L)

Uživatel může upravovat *součinitele vzpěrné délky* a *součinitele vzpěrné délky při klopení* v příslušných směrech a má možnost uvést, zda se má posouzení na vzpěr nebo klopení vůbec provádět. V případě, že se změní součinitel vzpěrné délky, délka náhradního prutu se automaticky upraví.

V případě, že volbu *Klopení možné* deaktivujeme, neprovádí se žádné posouzení na klopení v důsledku ohybu okolo hlavní osy. Posouzení na klopení vlivem normálové síly se rovněž automaticky deaktivuje.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Vzpěr možný

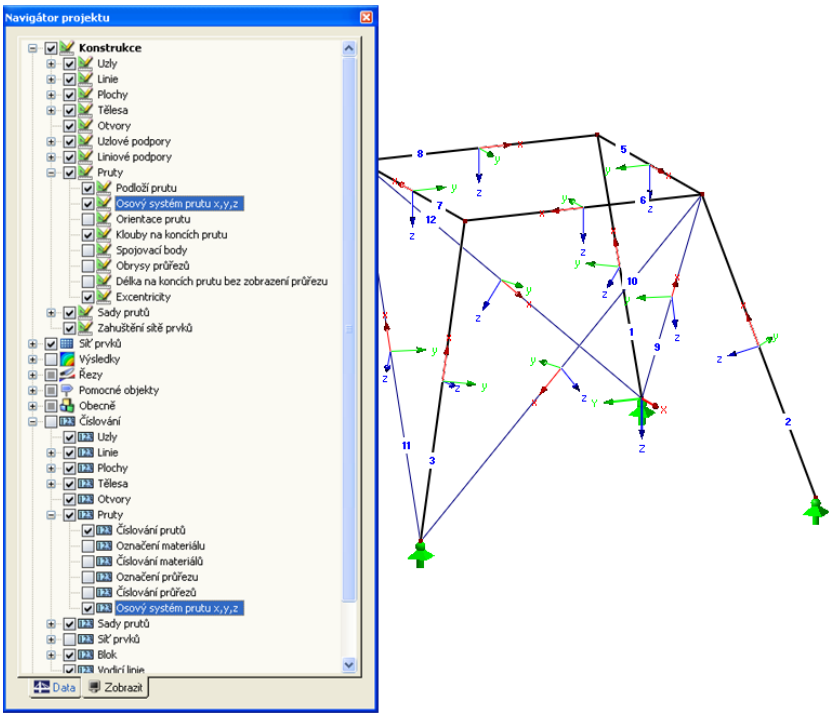
Při stabilitním posouzení na vzpěr a klopení je nezbytné, aby prut mohl přenášet tlakové síly. Pruty, které tlakové síly nemohou přenášet, protože například patří k typu tahové pruty, pružná podloží nebo tuhá spojení, jsou v modulu RF-ALUMINIUM již od počátku z posouzení vyloučeny. Příslušné řádky se pak vybarví šedě a ve sloupci *Komentář* se zobrazí příslušná poznámka k danému prutu.

Sloupec *Vzpěr možný* nabízí uživateli možnost dodatečně klasifikovat pruty jako tlakové nebo je případně z posouzení vyřadit. Zaškrtávací políčka ve sloupci A a také v tabulce *Nastavení pro prut* tak mají vliv na to, zda budou u daného prutu přístupná vstupní políčka ke stanovení parametrů vzpěrné délky.

Vzpěr okolo osy y resp. osy z

Sloupce *Vzpěr možný* uvádějí, zda existuje pro daný prut nebezpečí vybočení okolo osy y a/nebo z. Jedná se přitom o lokální osy prutu: osa y je „hlavní" a osa z „vedlejší" osa prutu. Součinitele vzpěrné délky $k_{cr,y}$ a $k_{cr,z}$ lze pro vzpěr okolo hlavní i vedlejší osy zvolit libovolně.

Polohu os prutu lze zkontrolovat v tabulce 1.3 *Průřezy* na obrázku průřezu (viz obr. 2.7). Na pracovní ploše RFEMu, kterou můžeme kdykoli otevřít kliknutím na tlačítko [Grafika], lze lokální osy prutu zobrazit z navigátoru *Zobrazit*.



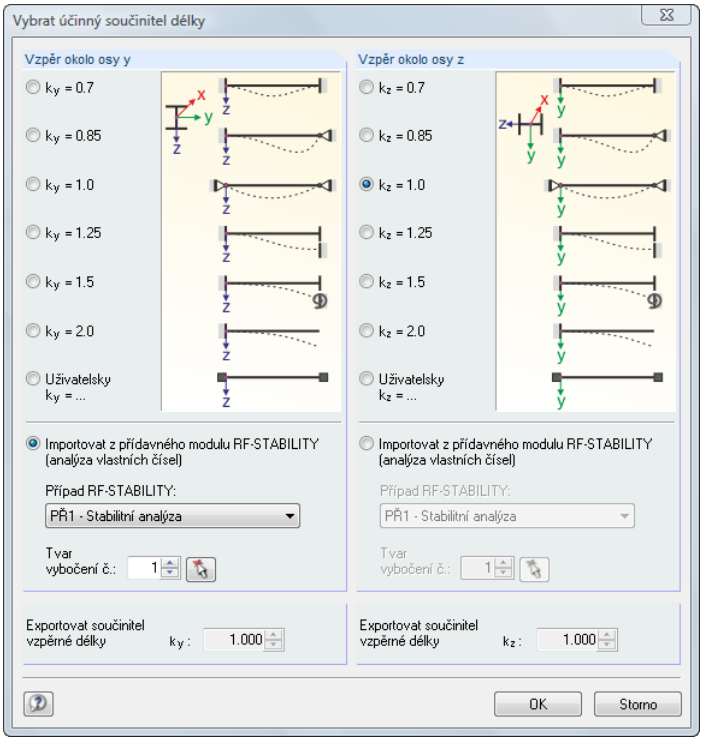
Obr. 2.12: Zobrazení lokálních osových systémů prutu v navigátoru *Zobrazit* v RFEMu

Pokud existuje nebezpečí vybočení prutu okolo jedné nebo obou os, lze zadat součinitele vzpěrné délky a vzpěrné délky ve sloupcích C a D, resp. F a G nebo v tabulce *Nastavení pro prut*.

Pokud byl definován součinitel vzpěrné délky k_{cr}, stanoví se vzpěrná délka L_{cr} tak, že se délka prutu L vynásobí součinitelem vzpěrné délky. Zadávací políčka jsou interaktivní.

Pomocí tlačítka [...] na konci vstupních políček pro zadání L_{cr} lze také vybrat graficky dva uzly v pracovním okně RFEMu; jejich vzdálenost pak definuje vzpěrnou délku.

Vzpěrnou délku prutu můžeme stanovit také ve zvláštním dialogu, který otevřeme vlevo znázorněným tlačítkem. Tlačítko se nachází pod horní tabulkou.



Obr. 2.13: Dialog *Vybrat účinný součinitel délky*

Hodnoty součinitelů $k_{cr,y}$ a $k_{cr,z}$ jsou předem nastaveny v souladu s [1], tabulkou 6.8:

- k = 0,70 u obou konců prutu je zabráněno vodorovnému posunu a natočení
- k = 0,85 u obou konců prutu je zabráněno vodorovnému posunu a u jednoho je zabráněno natočení
- k = 1,00 u obou konců prutu je zabráněno vodorovnému posunu, ale natočení není zabráněno
- k = 1,25 u jednoho konce prutu je zabráněno vodorovnému posunu a u obou konců prutu je zabráněno natočení
- k = 1,50 u jednoho konce prutu je zabráněno vodorovnému posunu a natočení a u druhého konce je částečně zabráněno vodorovnému posunu, ale ne natočení
- k = 2,00 u jednoho konce prutu je zabráněno vodorovnému posunu a natočení a u druhého konce není zabráněno ani vodorovnému posunu ani natočení

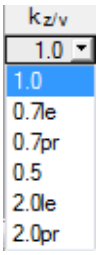
Vzpěrné délky můžeme importovat také z přídavného modulu RF-STABILITY.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

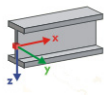
Klopení

Ve sloupci H může uživatel rozhodnout, které pruty se mají posoudit na klopení.

Pro výpočet M_{cr} metodou vlastních čísel je třeba vytvořit interní model prutu se čtyřmi stupni volnosti. Ke znázornění stupňů volnosti na podporách interního modelu prutu se používají následující definice k_z a k_w (viz níže):



$k_z = 1,0$	odpovídá vidlicovému uložení obou konců nosníku
$k_z = 0,7le$	odpovídá vetknutí levého a vidlicovému uložení pravého konce
$k_z = 0,7pr$	odpovídá vetknutí pravého a vidlicovému uložení levého konce
$k_z = 0,5$	odpovídá vetknutí obou konců nosníku
$k_z = 2,0le$	odpovídá vetknutí levého konce a volnému pravému konci prutu
$k_z = 2,0pr$	odpovídá vetknutí pravého konce a volnému levému konci prutu



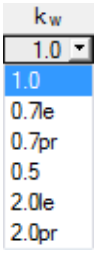
Obr. 2.14: Zadání os pro k_z a k_w

Vidlicové uložení s k_z=1,0 odpovídá zabránění vodorovnému posunu ve směru osy y a zamezení natočení okolo osy x (podélné osy) prutu. V případě vetknutí je kromě výše uvedených omezení stupňů volnosti bráněno natočení průřezu okolo osy z. Zkratky *le* a *pr* označují levou a pravou stranu. Zkratka *le* se přitom vztahuje k podmínkám uložení na počátku prutu.

Vzhledem k tomu, že se zadané součinitele k_z a k_w vztahují vždy k počátku a konci prutu, je třeba být zvláště pozorný v případě definování mezilehlých podpor. Mezilehlé podpory rozdělují prut pro výpočet na několik částí. V případě konzol se mezilehlé podpory nezadávají, protože by se tím vytvořil staticky neurčitý díl vidlicově podepřený pouze na jedné straně.

Pomocí součinitele vzpěrné délky při klopení k_w definuje uživatel čtvrtý stupeň volnosti na podpoře. Zde je třeba u průřezu zadat buď volnou deplanaci nebo zamezení deplanace. Vzhledem k tomu, že potřebujeme interní model prutu pouze se čtyřmi stupni volnosti, není třeba definovat ostatní stupně volnosti (posun ve směru x a z).

Ve sloupci J lze vybrat součinitel vzpěrné délky k_w, který má význam při posouzení na kroucení a klopení. Vychází se z něj při výpočtu pružného kritického momentu při klopení M_{cr}. Ze seznamu lze vybrat některou z následujících možností:



$k_w = 1,0$	odpovídá uložení bez zamezení deplanace na obou koncích nosníku
$k_w = 0,7le$	odpovídá zamezení deplanace na levém a vidlicovému uložení na pravém konci
$k_w = 0,7pr$	odpovídá zamezení deplanace na pravém a vidlicovému uložení na levém konci
$k_w = 0,5$	odpovídá uložení se zamezením deplanace na obou koncích nosníku
$k_w = 2,0le$	odpovídá zamezení deplanace na levém konci a volnému pravému konci prutu
$k_w = 2,0pr$	odpovídá zamezení deplanace na pravém konci a volnému levému konci prutu

Hodnoty ve sloupci K představují vzdálenosti mezi příčně podepřenými body. L_w se používá pro výpočet pružného kritického momentu při klopení M_{cr}.

Vzpěrnou délku při zkroucení L_T (sloupec L) potřebujeme pro výpočet torzní síly $N_{cr.T}$ a pružné kritické síly při vybočení zkroucením $N_{cr.TF}$.

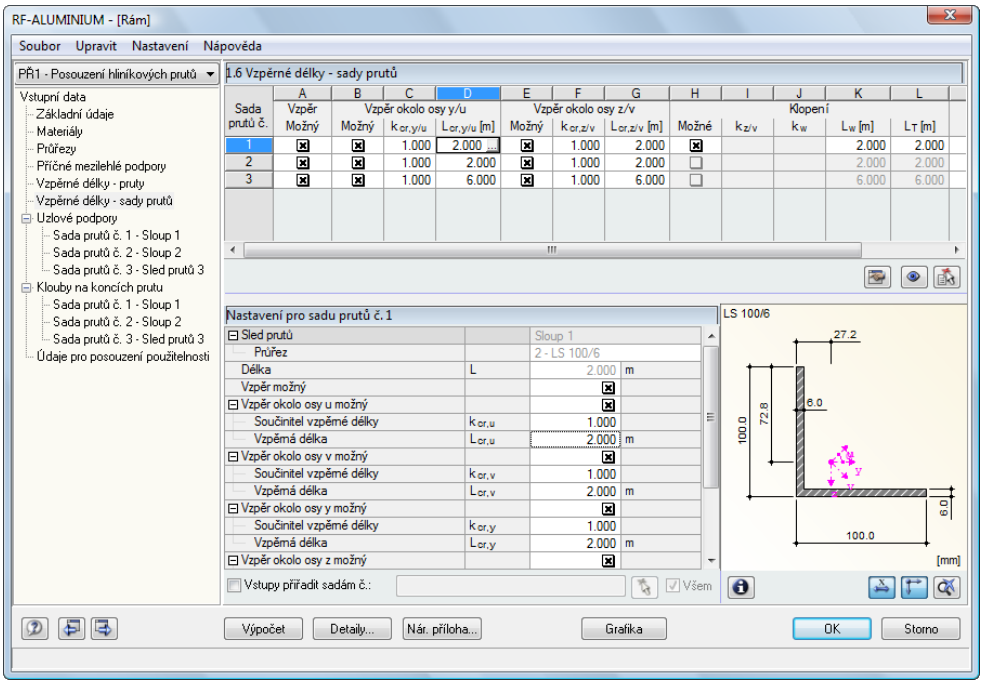
Pod tabulkou *Nastavení pro prut* se nachází zaškrtávací pole *Vstupy přiřadit prutům č.*. Pokud toto pole zaškrtneme, budou následně zadané údaje platit pro vybrané pruty (ručně uvedené nebo vybrané v grafickém okně), resp. pro *všechny* pruty. Tato volba je užitečná, pokud chceme několika prutům přiřadit stejné okrajové podmínky. Upozorňujeme ovšem na to, že je třeba tuto funkci aktivovat před zadáním údajů. Pokud nejdříve definujeme údaje a až poté vybereme tuto volbu, data se prutům zpětně nepřiřadí.

Komentář

V posledním sloupci může uživatel u každého prutu uvést vlastní poznámky, např. blíže vysvětlit zvolené délky náhradního prutu.

2.6 Vzpěrné délky - sady prutů

V dialogu 1.6 se zadávají vzpěrné délky sad prutů. Tento dialog máme k dispozici pouze v případě, že jsme v dialogu 1.1 *Základní údaje* vybrali k posouzení alespoň jednu sadu prutů.



Obr. 2.15: Dialog 1.6 *Vzpěrné délky - sady prutů*

Tento dialog je uspořádán stejně jako předchozí dialog 1.5. Vzpěrné délky pro vybočení okolo obou hlavních os sady prutů se zadávají tak, jak jsme popsali výše.

Odlišná je ovšem situace v případě zadání parametrů k_z a k_w pro posouzení na klopení: při výpočtu se z nich vychází pouze u sad prutů na přímce, pokud jsme pro ně zvolili *způsob zadání jako pro pruty* v dialogu *Detaily*, v záložce *Stabilita* (viz obr. 3.2, strana 28). U sad prutů, které se neposuzují touto metodou, lze dané parametry stanovit pomocí okrajových podmínek v dialozích 1.7 a 1.8.

Pokud jsme u sady prutů zvolili *způsob zadání jako pro pruty* (viz obr. 3.2, strana 28) a sada prutů leží na přímce, dialogy 1.7 a 1.8 se nezobrazí. Příčné mezilehlé podpory pak lze definovat dělicími body v dialogu 1.4.

Výpočet x_s podle [1], rov. (6.71) se nedoporučuje v případě stabilitní analýzy na klopení u vybočených sad prutů: ohybové momenty na počátku a konci prutu mohou vést k nespolehlivým hodnotám x_s, ω_x a ω_{xLT}, a výsledky mohou být tudíž zavádějící.

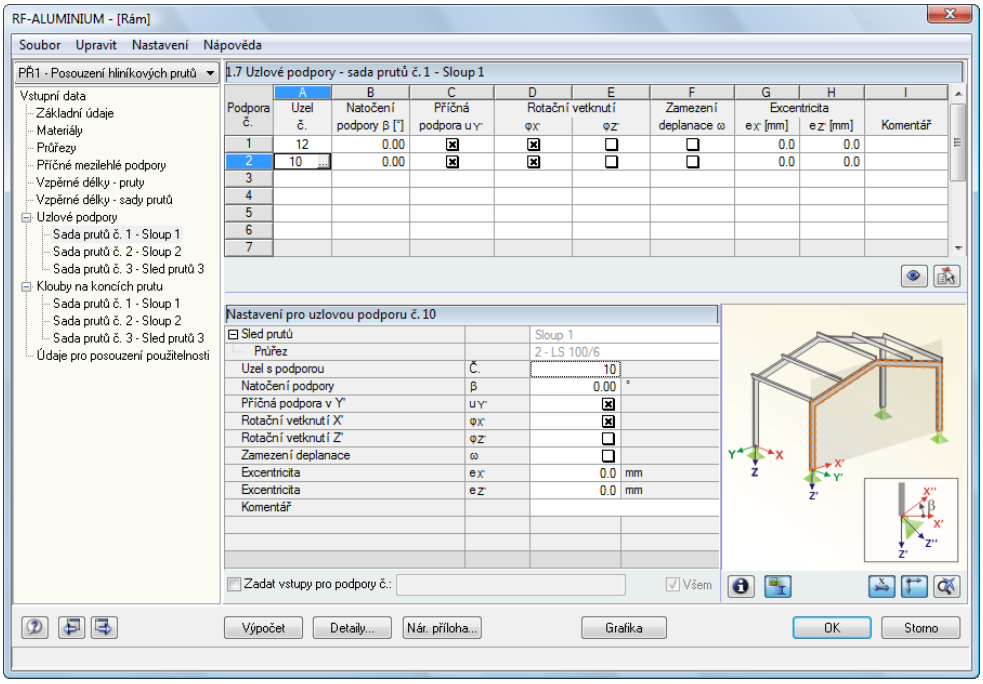
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

2.7 Uzlové podpory – sady prutů

Pokud jsme u sady prutů zvolili *způsob zadání jako pro pruty* (viz obr. 3.2, strana 28) a sada prutů leží na přímce, tento dialog se nezobrazí. Příčné mezilehlé podpory pak lze definovat dělicími body v dialogu 1.4.

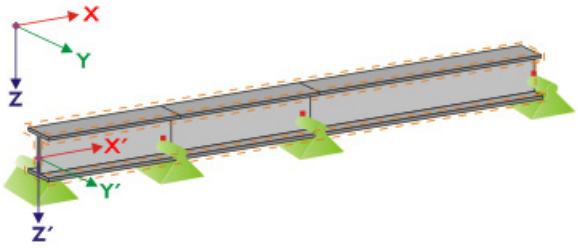
Při vyšetřování stability sad prutů se vychází ze zatížení a okrajových podmínek daných sad prutů. Přitom je třeba určit hodnotu násobitele α_{cr} pro celou sadu prutů, aby bylo možné stanovit pružný kritický moment při klopení M_{cr}. Výpočet α_{cr} je závislý na nastavení v dialogu *Detaily* (viz kapitola 3.1).

Ke stanovení α_{cr} se vytvoří rovinná prutová konstrukce se čtyřmi stupni volnosti na uzel. Příslušné podporové podmínky definuje uživatel v dialogu 1.7, který je k dispozici pouze v případě, že uživatel v dialogu 1.1 *Základní údaje* vybral k posouzení alespoň jednu sadu prutů.



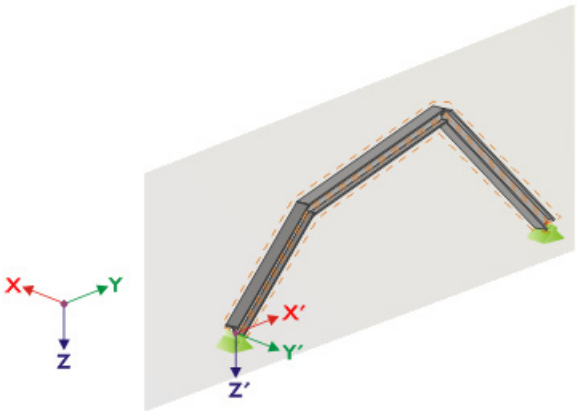
Obr. 2.16: Dialog 1.7 *Uzlové podpory - sady prutů*

Pro zadání uzlových podpor je důležitá orientace os sady prutů. Program interně zkontroluje polohu uzlů a stanoví osový systém pro uzlové podpory, které se zadávají v dialogu 1.7 (viz obr. 2.17 až obr. 2.20).



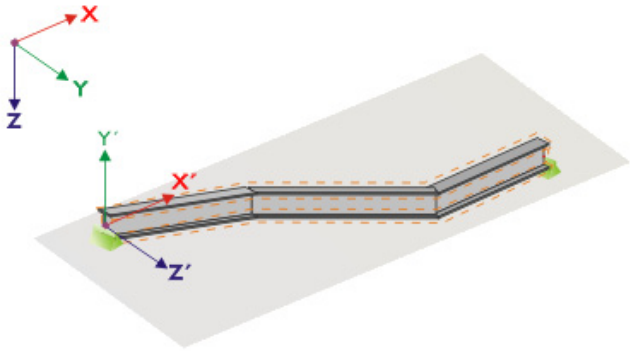
Obr. 2.17: Pomocný souřadný systém pro uzlové podpory – sada prutů na přímce

Pokud všechny pruty ze sady prutů leží na přímce stejně jako na obr. 2.17, odpovídá lokální souřadný systém prvního prutu v sadě náhradnímu souřadnému systému sady prutů.



Obr. 2.18: Pomocný souřadný systém pro uzlové podpory – sada prutů ve svislé rovině

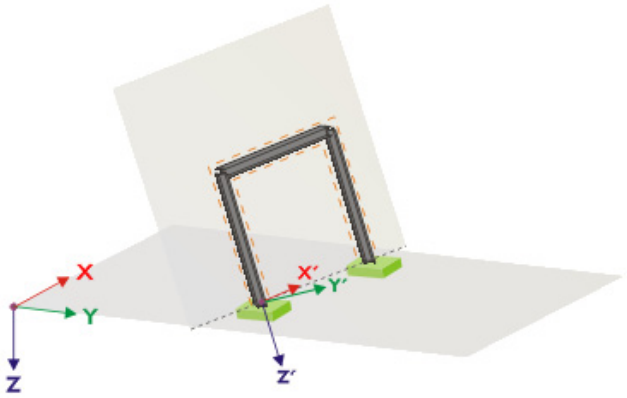
I když pruty ze sady prutů neleží na přímce, musí stále ležet v jedné rovině. Na obr. 2.18 se jedná o svislou rovinu. V tomto případě je osa X′ vodorovná a vede ve směru roviny. Osa Y′ je také vodorovná a svírá s osou X′ pravý úhel. Osa Z′ směřuje svisle dolů.



Obr. 2.19: Pomocný souřadný systém pro uzlové podpory – sada prutů v horizontální rovině

Pokud pruty vybočené sady prutů leží v horizontální rovině, je osa X′ rovnoběžná s osou X globálního souřadného systému. Osa Y′ pak míří opačným směrem než globální osa Z. Osa Z′ je rovnoběžná s osou Y globálního souřadného systému.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

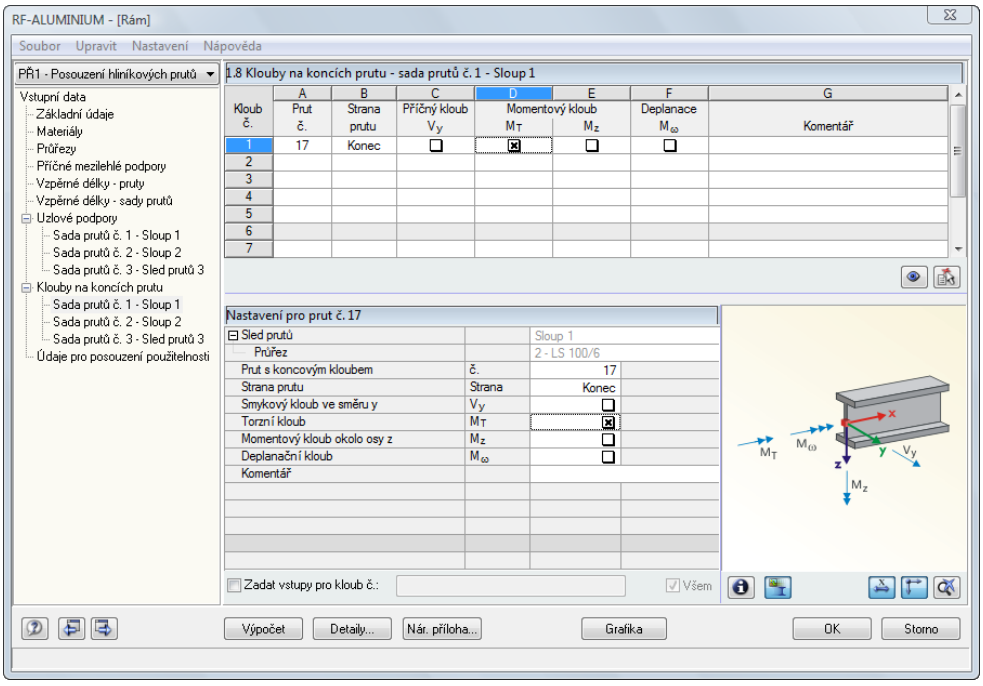


Obr. 2.20: Pomocný souřadný systém pro uzlové podpory – sada prutů v šikmé rovině

Na obr. 2.20 je znázorněn nejobecnější případ vybočené sady prutů: pruty tu neleží na jedné přímce, ale nacházejí se v jedné šikmé rovině. Osu X' pak určuje průsečnice mezi šikmou a horizontální rovinou. Osa Y' svírá s osou X' pravý úhel a je kolmá na šikmou rovinu. Osa Z' svírá pravý úhel s osou X' i Y'.

2.8 Klouby na koncích prutu - sady prutů

Také tento dialog máme k dispozici pouze v případě, že jsme v dialogu 1.1 *Základní údaje* vybrali k posouzení alespoň jednu sadu prutů. Pokud některý prut v dané sadě prutů nemůže v důsledku svého připojení přenášet vnitřní síly odpovídající stupňům volnosti omezeným v dialogu 1.7, pak může uživatel v dialogu 1.8 přiřadit prutu kloub. Přitom má možnost ve sloupci B stanovit, na které *straně prutu* má kloub působit, nebo může kloub umístit na obou stranách.

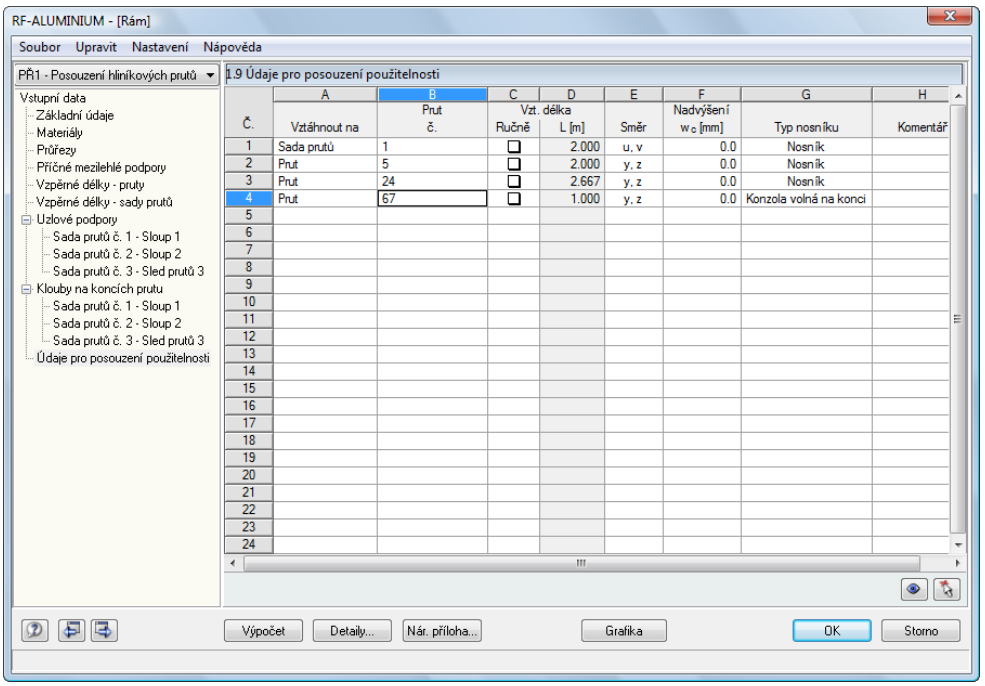


Obr. 2.21: Dialog 1.8 *Klouby na koncích prutu - sady prutů*

Tento dialog se nezobrazí, pokud jsme zvolili *způsob zadání jako pro pruty* (viz obr. 3.2, strana 28) a sada prutů leží na přímce. Příčné mezilehlé podpory pak lze definovat dělicími body v dialogu 1.4.

2.9 Údaje pro posouzení použitelnosti

Poslední vstupní dialog nabízí různé možnosti pro posouzení mezního stavu použitelnosti. K dispozici ho máme pouze v případě, že jsme v záložce *Mezní stav použitelnosti* dialogu 1.1 zadali příslušné údaje (viz obr. 2.3).



Obr. 2.22: Dialog 1.9 *Údaje pro posouzení použitelnosti*

Ve sloupci A lze deformaci vztáhnout na jednotlivé pruty anebo seznamy či sady prutů.

Ve sloupci B vyplníme čísla příslušných prutů nebo sad prutů, příp. je můžeme vybrat v grafickém okně RFEMu pomocí funkce [Vybrat]. Odpovídající *vztažná délka* se pak vyplní automaticky ve sloupci D. Jedná se přitom o délku vybraných prutů, resp. sad či seznamů prutů. V případě potřeby lze dané hodnoty upravit, pokud zaškrtneme políčko *Ručně* ve sloupci C.

Ve sloupci E uvedeme rozhodující *směr* pro posouzení deformace, ve sloupci F lze případně zohlednit *nadvýšení* w_c.

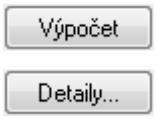
Pro správné stanovení mezních deformací je velmi důležitý *typ nosníku*. Ve sloupci G můžeme vybrat buď nosník nebo konzolu.

V záložce *Použitelnost* dialogu *Detaily* máme možnost stanovit, zda budou deformace vztaženy na výchozí nedeformovanou konstrukci nebo na posunuté konce prutů, resp. sady prutů (viz obr. 3.3, strana 31).

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

3. Výpočet

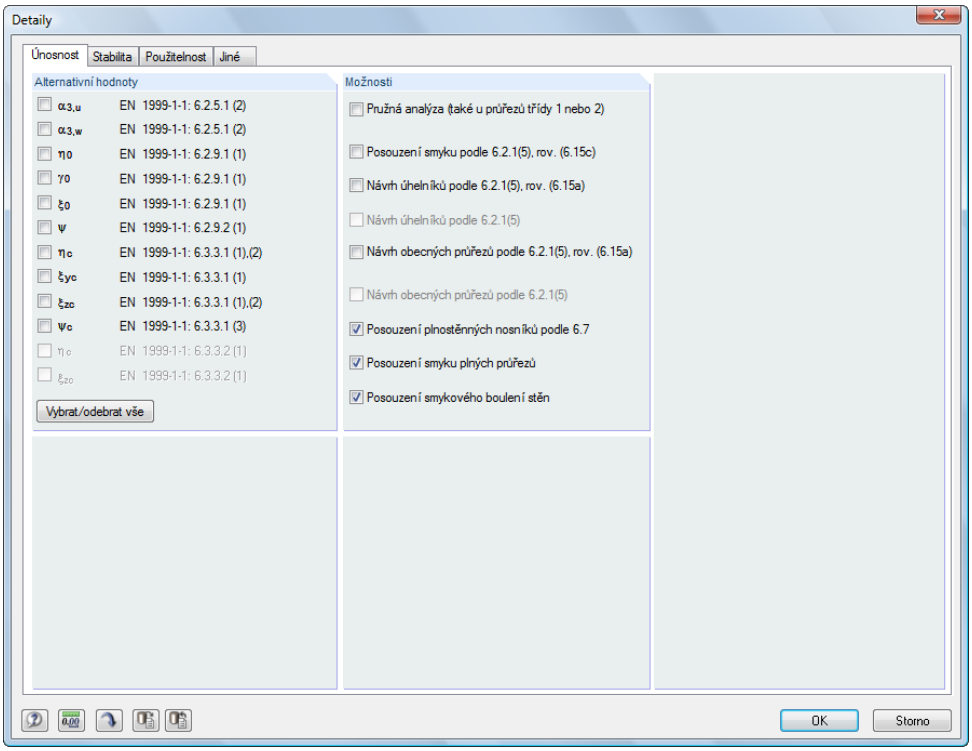
3.1 Detaily



Při jednotlivých posouzeních se vychází z vnitřních sil spočítaných v programu RFEM. Před spuštěním výpočtu pomocí tlačítka [Výpočet] bychom měli ještě zkontrolovat detailní nastavení pro posouzení. Příslušný dialog otevřeme z každého vstupního i výstupního dialogu kliknutím na tlačítko [Detaily…].

Dialog *Detaily* se skládá ze záložek *Únosnost*, *Stabilita*, *Použitelnost* a *Jiné*.

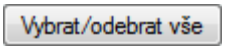
3.1.1 Záložka Únosnost



Obr. 3.1: Dialog *Detaily*, záložka *Únosnost*

Alternativní hodnoty

Tato sekce dialogu obsahuje seznam parametrů, jejichž hodnoty lze spočítat podle EN 1999-1-1 i jiným způsobem. Pokud u určitého parametru neoznačíme zaškrtávací políčko, použije se standardní hodnota. U každého parametru se uvádí příslušné články z dané normy.



U každého parametru lze stanovit, zda se mají použít standardní nebo alternativní hodnoty. Tlačítkem [Vybrat/odebrat vše] lze zaškrtnout všechny parametry zároveň, resp. zrušit jejich označení.

Možnosti

Standardně modul RF-ALUMINIUM provádí pružné nebo plastické posouzení v závislosti na třídě průřezu. V případě potřeby lze aktivovat výlučně *pružnou analýzu*. Poté se i u všech průřezů třídy 1 a 2 použijí pružné parametry (jako u třídy 3).

Pružná analýza smyku je možná, pokud se při posouzení na smyk nevychází z plastické únosnosti ve smyku (předem nastavená možnost), nýbrž ze smykových napětí.

Pružný návrh úhelníků (založený na napětí) lze vybrat, pokud se mají úhelníky posuzovat podle [1], čl. 6.2.5 až 6.2.10 na základě napětí a nikoli hodnot únosnosti, což je přednastavená možnost. Součinitele ξ_0, η_0, γ_0 a ω_0 se přitom nastaví na 1,00.

Uživatel se dále může rozhodnout pro *pružný návrh obecných průřezů* (založený na napětí) podle [1], čl. 6.2.5 až 6.2.10 pro "obecné" typy profilů. Jedná se přitom o některé průřezy z databáze hlavního programu RFEM nebo programu SHAPE-THIN. Při posouzení se pak nevychází z hodnot únosnosti (předem nastavená možnost), nýbrž z napětí. Uživatel může navíc aktivovat *návrh obecných průřezů podle 6.2.1(5)*. Přitom se meze plasticity spočítají podle VON MISESE v každém napěťovém bodu. Největší využití podle [1], rov. (6.15) se pak použije k určení rozhodujícího napěťového bodu a konečného poměru napětí u každého místa x na prutu. Hodnotu parametru *C* můžeme nastavit v dialogu *Parametry národní přílohy* (viz kapitola 2.1.3, strana 11).

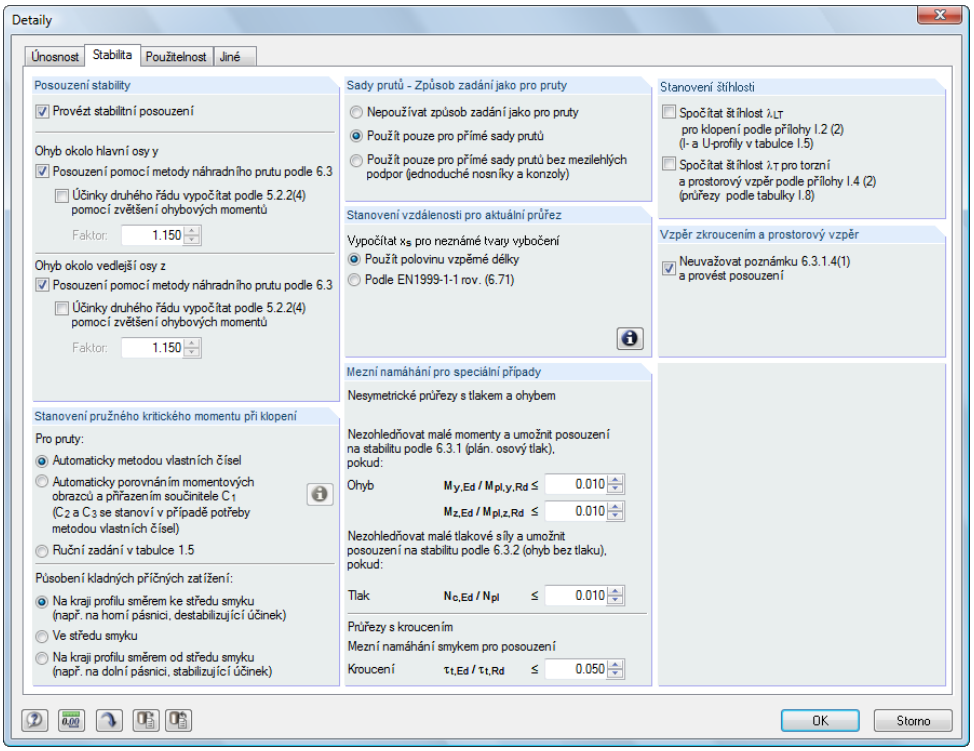
Posouzení plnostěnných nosníků podle 6.7 je vhodné pro průřezy, které splňují předpoklady plnostěnného nosníku a neoznačují se jako "obecné" průřezy. RF-ALUMINIUM ovšem neprovádí posouzení podélných a příčných výztuží.

Volba *Posouzení smyku plných průřezů* umožňuje posoudit masivní průřezy na posouvající síly a ohyb. Pokud políčko nezaškrtneme, ohybové momenty, krouticí moment i posouvající síly se zanedbávají, i když byly v RFEMu spočítány.

V případě *posouzení smykového boulení stěn* se postupuje podle [1], čl. 6.5.5 a 6.7.4.

Dílčí součinitele spolehlivosti γ_M materiálu lze stanovit v dialogu *Parametry národní přílohy* (viz kapitola 2.1.3, strana 11). Chceme také upozornit na to, že posouzení svarů (účinků tepelně ovlivněné oblasti) není do současné verze programu implementováno.

3.1.2 Stabilita



Obr. 3.2: Dialog *Detaily,* záložka *Stabilita*

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Posouzení stability

V této sekci může uživatel obecně rozhodnout, zda se má *provést stabilitní posouzení*. V případě, že zruší zaškrtnutí políčka, vstupní dialogy 1.4 až 1.8 se nezobrazí.

Pokud zůstane dané políčko označeno, může uživatel určit, zda se stabilitní posouzení *metodou náhradního prutu* provede pro ohyb okolo ‚hlavní' nebo ‚vedlejší' osy. Vypočítat lze přitom i *účinky druhého řádu* podle [1], 5.2.2(4), kdy lze ručně zadat faktor zvětšení pro ohybové momenty. Tento součinitel je vhodné použít například v případě rámu, u něhož je rozhodujícím tvarem příčné vybočení. Vnitřní síly lze v tomto případě spočítat podle teorie prvního řádu a pak je zvětšit pomocí vhodných součinitelů.

Stanovení pružného kritického momentu při klopení

Standardně se pružný kritický moment počítá *automaticky metodou vlastních čísel*. Vychází se přitom z interního modelu konečných prvků a při výpočtu M_{cr} se zohledňují následující skutečnosti:

- Rozměry neoslabeného průřezu
- Typ zatížení a poloha působiště zatížení
- Skutečné rozdělení momentů
- Příčné vynucené deformace (na základě podmínek uložení)
- Skutečné okrajové podmínky

Stupně volnosti interního modelu prutu jsou přitom vyjádřeny pomocí součinitelů k_z a k_w (viz kapitola 2.5).

Pokud se uživatel rozhodne pro druhou metodu automatického výpočtu pružného kritického momentu *porovnáním momentových obrazců*, může pomocí tlačítka [Informace…] otevřít dialog pro nastavení výpočtu součinitele C_1. Součinitele C_2 a C_3 se vypočítají automaticky metodou vlastních čísel.

Pokud na průřez působí příčná zatížení, je třeba zadat jejich působiště. V závislosti na místě *působení* mohou mít příčná zatížení stabilizující nebo naopak destabilizující účinky, a mohou tak mít značný vliv na pružný kritický moment při klopení.

Teoretické pozadí se podrobně popisuje v [1], v příloze I.

Sady prutů - Způsob zadání jako pro pruty

Stabilitní chování sad prutů lze vyšetřovat třemi způsoby. Posouzení v modulu RF-ALUMINIUM doporučujeme v zásadě pouze u sad prutů ležících na přímce.

Pokud zvolíme předem nastavenou volbu *Nepoužívat způsob zadání jako pro pruty*, provede se obecná analýza, při níž se vychází ze součinitele α_{cr}. Podporové podmínky je třeba zadat pro všechny sady prutů v dialogu 1.7. Součinitele k_z a k_w z dialogu 1.6 se nepoužijí.

Způsob zadání jako pro pruty lze *použít pouze pro přímé sady prutů*, které mají stejný průřez (např. spojité nosníky). Příslušné součinitele k_z a k_w, které se použijí k výpočtu podporových podmínek β, u_y, φ_x, φ_z a ω, je třeba stanovit v dialogu 1.6. Dialogy 1.7 a 1.8 se v případě sad prutů na přímce nezobrazí. Připomínáme, že součinitele k_z a k_w jsou u každého úseku či dílčího prutu dané sady stejné.

Třetí volba omezuje způsob zadání jako pro pruty na *přímé sady prutů bez mezilehlých podpor* podle zadání v RFEMu. Způsob zadání jako pro pruty tak bude platit pouze pro sady prutů s podporami na koncích. Tato volba je vhodná pro posouzení např. jednoduchých nosníků a konzol. Nosníky, které jsou bočně připojeny na mezilehlé uzly, se ovšem nezohledňují. Dialogy 1.7 a 1.8 se nezobrazí v případě sad prutů na přímce, které nemají žádné mezilehlé podpory.

Stanovení vzdálenosti pro aktuální průřez

Vzdálenost x_s se stanoví v [1], na obr. 6.14. x_s vyjadřuje vzdálenost vyšetřovaného průřezu k podpoře nebo inflexnímu bodu při pružném vybočení při působení pouze osové síly. Konzervativní metodou je *použít polovinu vzpěrné délky* nebo lze x_s určit podle [1], rov. (6.71) pro pruty s koncovými momenty (příčná zatížení nejsou přípustná). Vzhledem k tomu, že z této rovnice vychází pro x_s jediná hodnota, použije se daná hodnota pro všechny jednotlivé úseky prutu.

Výpočet podle[1], rov. (6.71) lze použít pouze v případě lineárních průběhů momentů v prutu. Dále musí pravá strana rovnice nabývat hodnoty mezi –1,0 a 1,0, protože na levé straně je kosinus. Pokud není některá z těchto dvou podmínek splněna, tato rovnice se nepoužije: x_s se pak uvažuje jako polovina vzpěrné délky pro daný úsek.

V aktuální verzi programu se nepočítá s žádnými známými tvary vybočení. Výpočet x_s pro běžné tvary vybočení na základě ohybových momentů a natočení nebyl do programu implementován.

Mezní namáhání pro speciální případy

Pokud chce uživatel posoudit nesymetrické průřezy na osový tlak podle [1], kapitoly 6.3.1, pak lze po příslušném nastavení v této sekci zanedbat malé momenty okolo hlavní i vedlejší osy.

Podobně lze pro posouzení na prostý ohyb podle [1], kapitoly 6.3.2 zanedbat velmi malé osové síly. Jako kritérium se přitom nastaví mezní poměr N ku N_{pl}.

Plánovité kroucení norma ČSN EN 1999-1-1 jednoznačně neupravuje. Pokud existuje namáhání kroucením, avšak poměr návrhového a mezního smykového napětí od kroucení nepřekračuje hranici standardně nastavenou na 5 %, pak se namáhání kroucením při stabilitním posouzení nezohledňuje. V takovém případě program zobrazí výsledky posouzení na vzpěr a klopení.

Pokud je některá z uvedených hranic překročena, zobrazí se v tabulce výsledků varovné hlášení a stabilitní analýza se neprovede. Nezávisle na tom se zobrazí výsledky posouzení průřezů.

Stanovení štíhlosti

V příloze I normy ČSN EN 1999-1-1 se nabízí alternativní, zjednodušená metoda výpočtu poměrných štíhlostí pro klopení bez působení normálové síly (příloha I.2, čl. 2) a také pro vzpěr zkroucením a prostorový vzpěr při působení normálové síly (příloha I.4, čl. 2). Zaškrtnutím příslušného políčka alternativní výpočet aktivujeme.

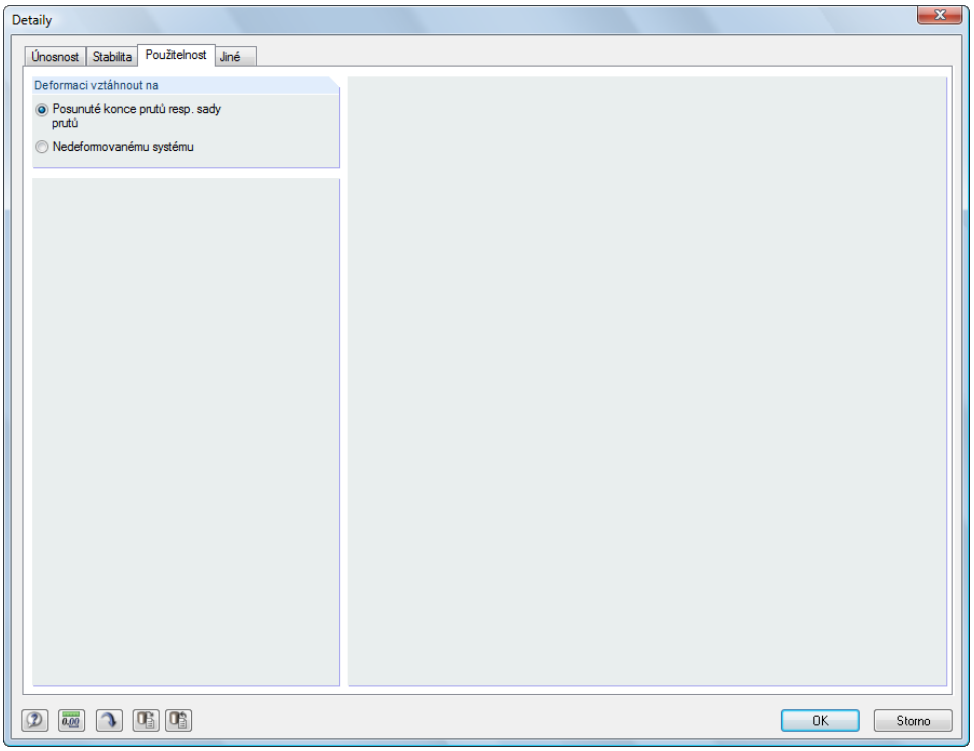
Poměrné štíhlosti nerovnoramenných úhelníků, dvojic úhelníků, křížových průřezů, průřezů s koutovými svary a nálitky a obecných průřezů se nikdy alternativní metodou nepočítají.

Vzpěr zkroucením a prostorový vzpěr

V článku 6.3.1.4(1) jsou vyjmenovány typy profilů, které není třeba vyšetřovat na vzpěr zkroucením a prostorový vzpěr: jedná se o duté profily, dvojose symetrické I průřezy a svazkové průřezy (úhelníky, T průřezy), které se řadí do třídy 1 nebo 2. Pokud políčko v dané sekci dialogu neoznačíme, možnost ztráty stability při vzpěru zkroucením nebo prostorovém vzpěru se u těchto průřezů zanedbává.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

3.1.3 Záložka Použitelnost

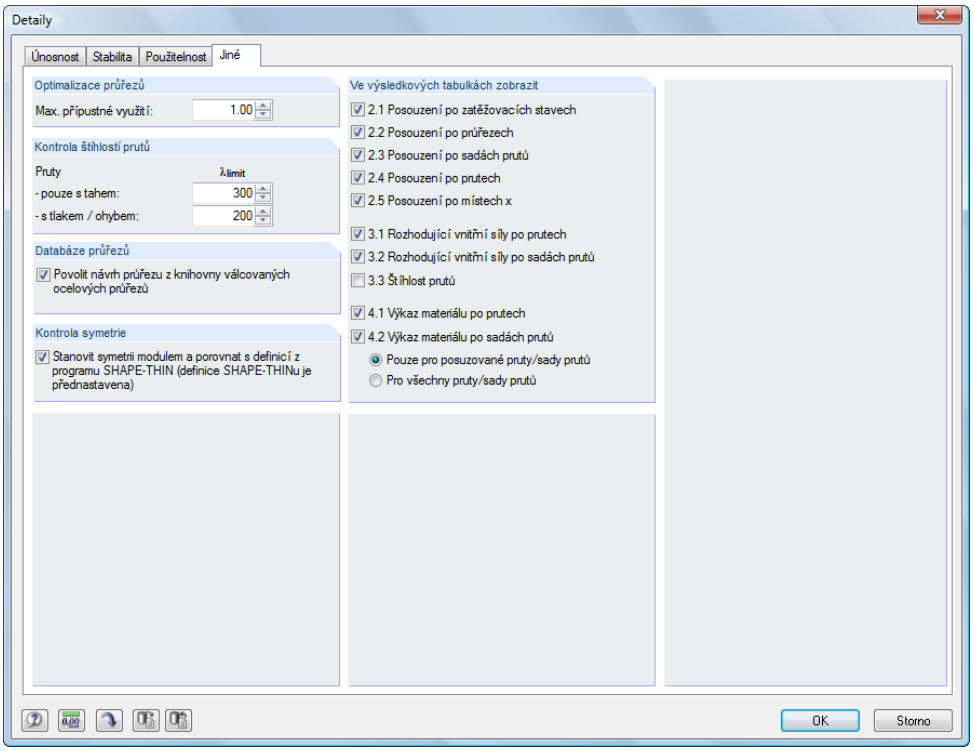


Obr. 3.3: Dialog *Detaily,* záložka *Použitelnost*

Pomocí přepínače v sekci *Deformaci vztáhnout na* může uživatel zvolit, zda se budou maximální deformace vztahovat k nedeformované výchozí konstrukci nebo k pomyslné spojovací linii mezi počátkem a koncem prutu v deformované konstrukci čili k posunutým koncům prutu, příp. sady prutů.

Mezní deformace lze zkontrolovat a případně upravit v dialogu *Parametry národní přílohy* (viz kapitola 2.1.3, strana 11).

3.1.4 Jiné



Obr. 3.4: Dialog *Detaily,* záložka *Jiné*

Optimalizace průřezů

Pokud se nemají průřezy optimalizovat na maximální 100 % využití, lze v tomto vstupním poli předepsat jinou mezní hodnotu.

Kontrola štíhlostí prutů

V příslušných dvou vstupních polích můžeme stanovit mezní hodnoty λ_{limit} pro kontrolu štíhlostí prutů. Hodnoty lze zadat samostatně pro pruty namáhané prostým tahem a pro pruty namáhané na ohyb a tlak.

Skutečné štíhlosti se s mezními hodnotami porovnávají v dialogu 3.3, který se zobrazí po výpočtu (viz kapitola 4.8, strana 40) v případě, že jsme ho označili v sekci *Ve výsledkových tabulkách zobrazit* v pravé části dialogu.

Databáze průřezů

Standardně lze v modulu RF-ALUMINIUM posoudit také profily, které jsou zhotoveny v první řadě z oceli (válcované profily). Pokud zrušíme označení políčka v této sekci, posoudí se pouze profily z kategorie *svařovaných*, *masivních* nebo *vlastních průřezů*.

Kontrola symetrie

Tato volba umožňuje ověřit, zda je průřez symetrický z hlediska systému hlavních os. Některé průřezy z programu SHAPE-THIN nebo obecné průřezy z RFEMu nesplňují za určitých okolností předpoklady pro posouzení v modulu RF-ALUMINIUM, protože osa y je vždy považována za osu hlavní a osa z za osu vedlejší. Pokud je např. $I_y < I_z$ nebo z natočení hlavních os vyplývá, že osa z je hlavní osa, mohou výsledky z modulu RF-ALUMINIUM vést k mylným interpretacím.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

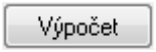
Tato volba tak umožňuje ověřit symetrii obecných profilů - nezávisle na vyhodnocení v programu SHAPE-THIN. Pokud oba postupy ověřování symetrie vedou k odlišným výsledkům, zobrazí se chybové hlášení.

Ve výsledkových tabulkách zobrazit

V této sekci může uživatel vybrat, které tabulky výsledků se mají zobrazit. Může také rozhodnout, zda se má zobrazit výkaz materiálu. Jednotlivé výstupní tabulky popisujeme v kapitole 4.

Dialog 3.3 *Štíhlost prutů* je standardně vypnut. Pokud ovšem chceme dané údaje zobrazit a vyhodnotit, můžeme tu zaškrtnout příslušné kontrolní políčko.

3.2 Spuštění výpočtu



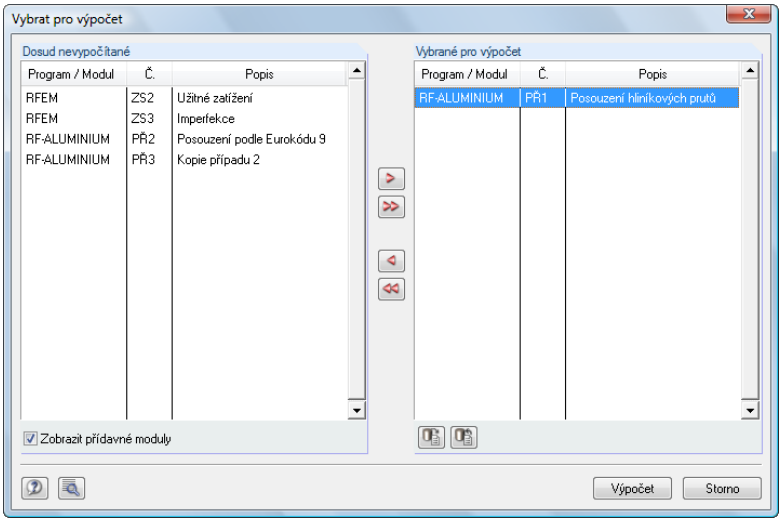
Ve všech vstupních dialozích modulu RF-ALUMINIUM lze spustit výpočet kliknutím na tlačítko [Výpočet].

RF-ALUMINIUM nejdříve vyhledá výsledky vybraných zatěžovacích stavů, skupin a kombinací zatěžovacích stavů. Pokud je nenajde, spustí se okamžitě v RFEMu výpočet rozhodujících vnitřních sil. Vychází se přitom z výpočetních parametrů zadaných v RFEMu.

Pokud se mají optimalizovat průřezy (viz kapitola 7.2, strana 54), spočítají se potřebné profily a provedou příslušná posouzení.

Výpočet výsledků modulu RF-ALUMINIUM lze spustit také z uživatelského prostředí RFEMu. Případy zadané v přídavných modulech se zobrazí v dialogu *Vybrat pro výpočet* jako zatěžovací stavy nebo skupiny zatěžovacích stavů. Tento dialog otevřeme v RFEMu příkazem z hlavní nabídky

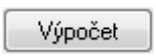
Výpočet → **Vybrat pro výpočet...**.



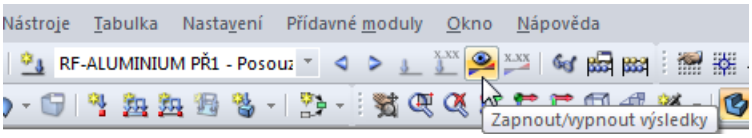
Obr. 3.5: Dialog *Vybrat pro výpočet*

Pokud v seznamu *Dosud nevypočítané* chybí návrhové případy z modulu RF-ALUMINIUM, je třeba pod seznamem zaškrtnout políčko *Zobrazit přídavné moduly*.

Tlačítkem [▶] převedeme vybrané návrhové případy do seznamu na pravé straně. Výpočet pak spustíme pomocí tlačítka [Výpočet].

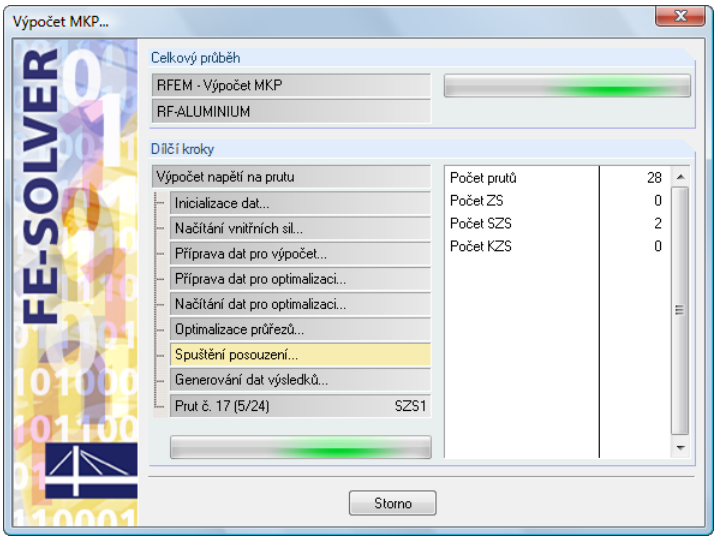


Výpočet určitého návrhového případu z modulu RF-ALUMINIUM lze spustit přímo také z panelu nástrojů. V seznamu nastavíme požadovaný návrhový případ a následně klikneme na tlačítko [Zapnout/vypnout výsledky].



Obr. 3.6: Přímý výpočet návrhového případu z modulu RF-ALUMINIUM v programu RFEM

Následně se zobrazí dialog, v kterém lze sledovat průběh výpočtu.



Obr. 3.7: Výpočet v modulu RF-ALUMINIUM

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

4. Výsledky

Ihned po skončení výpočtu se zobrazí dialog 2.1 *Posouzení po zatěžovacích stavech*. V jeho horní části se zobrazí souhrnný přehled posouzení pro jednotlivé zatěžovací stavy a skupiny a kombinace zatěžovacích stavů. Ve spodní části jsou pak uvedeny podrobné materiálové charakteristiky, návrhové vnitřní síly a údaje o provedeném posouzení pro zatěžovací stav, který jsme vybrali v tabulce nahoře.

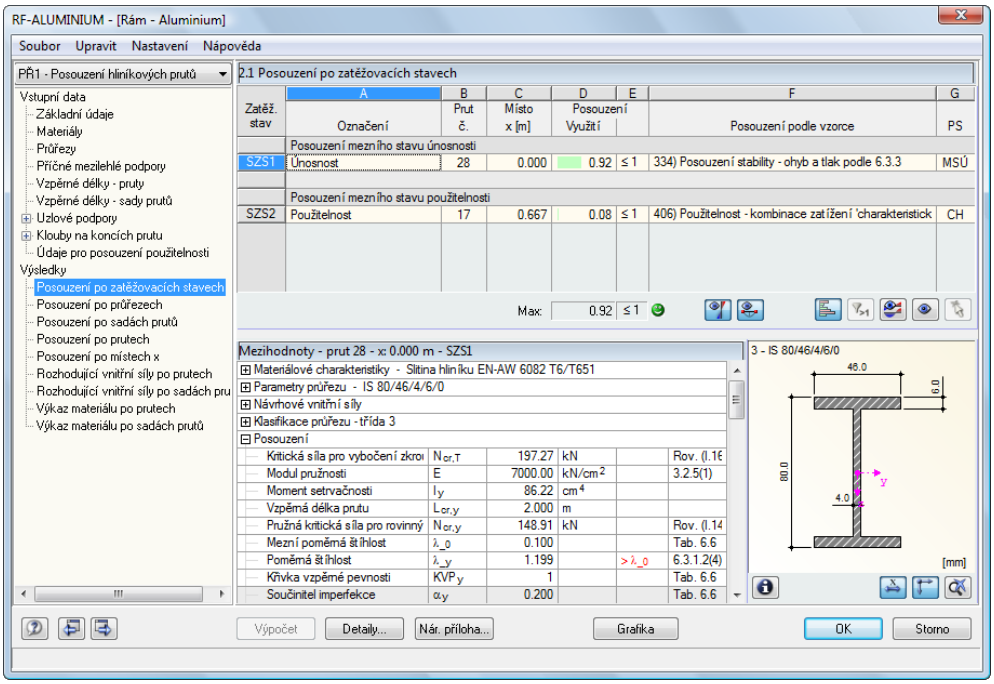
V tabulkách výsledků 2.1 až 2.5 se zobrazí podrobný přehled posouzení seřazených podle různých kritérií. Tabulky 3.1 a 3.2 pak obsahují rozhodující vnitřní síly. V dialogu 3.3 najdeme informace o štíhlosti prutů. V posledních dvou tabulkách 4.1 a 4.2 se zobrazí výkaz materiálu pro pruty nebo sady prutů.

Tabulky výsledků jsou přístupné z navigátoru v tomto modulu. Uživatel může přepínat mezi výstupními dialogy také pomocí vlevo znázorněných tlačítek nebo pomocí funkčních kláves [F2] a [F3].

Tlačítkem [OK] uložíme výsledky, zavřeme modul RF-ALUMINIUM a vrátíme se do pracovního okna hlavního programu RFEM.

V kapitole 4 *Výsledky* popíšeme jednotlivé výstupní dialogy v příslušném pořadí. Vyhodnocení a kontrole výsledků se budeme věnovat v následující kapitole 5 *Vyhodnocení výsledků* na straně 43.

4.1 Posouzení po zatěžovacích stavech



Obr. 4.1: Dialog 2.1 *Posouzení po zatěžovacích stavech*

Označení

V tomto sloupci se pro informaci zobrazí označení zatěžovacích stavů, resp. skupin či kombinací ZS, které jsou pro příslušná posouzení rozhodující.

Prut č.

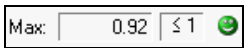
U každého posuzovaného zatěžovacího stavu, resp. skupiny nebo kombinace zatěžovacích stavů bude uvedeno číslo prutu s maximálním využitím.

Místo x

V tomto sloupci se vždy zobrazí místo x na prutu s největším využitím. Zohledňují se následující místa *x* na prutu:

- Počáteční a koncový uzel
- Vnitřní uzly podle zadaného dělení prutu
- Dělicí body podle počtu dílů prutu, který jsme zadali pro zobrazení výsledků na prutu v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Možnosti* v RFEMu
- Extrémní hodnoty vnitřních sil

Posouzení



Pro každý typ posouzení a pro každý zatěžovací stav, resp. skupinu nebo kombinaci ZS se v tomto sloupci zobrazí podmínky posouzení podle EN 1999-1-1.

Barevné referenční pruhy znázorňují míru využití v daných zatěžovacích stavech.

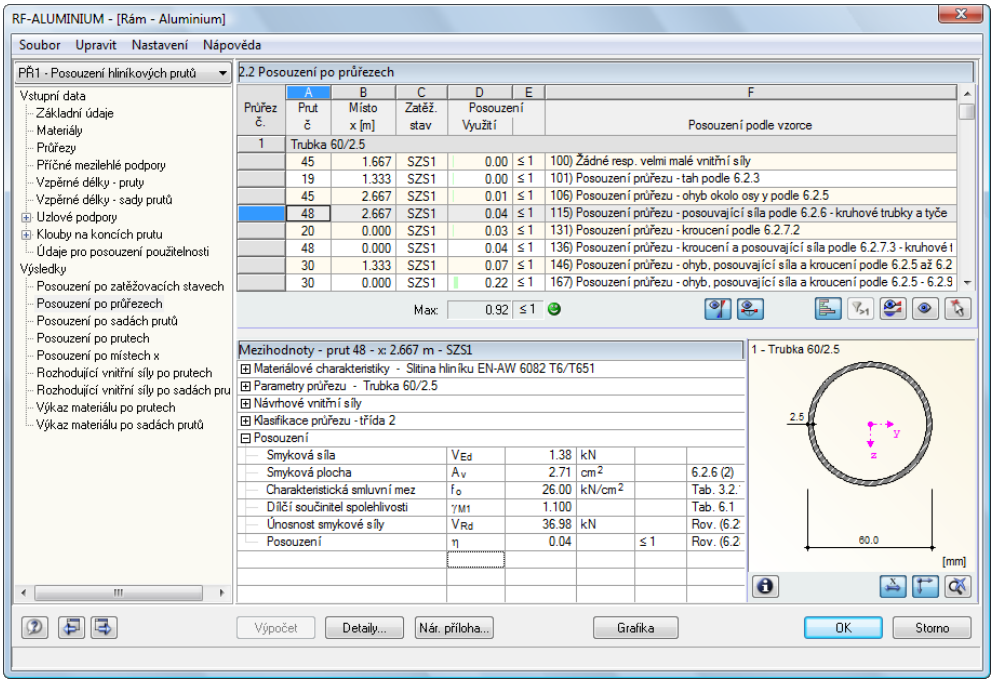
Posouzení podle vzorce

V tomto sloupci se zobrazí rovnice, které se při jednotlivých posouzeních uplatnily.

PS

V posledním sloupci se uvádí, která *návrhová situace* je pro posouzení relevantní - zda se jedná o *MSÚ* (mezní stav únosnosti) nebo o některou ze tří návrhových situací pro posouzení mezního stavu použitelnosti (*CH*, *ČA*, *KS*) podle zadání v dialogu 1.1 *Základní údaje* (viz obr. 2.3, strana 10).

4.2 Posouzení po průřezech

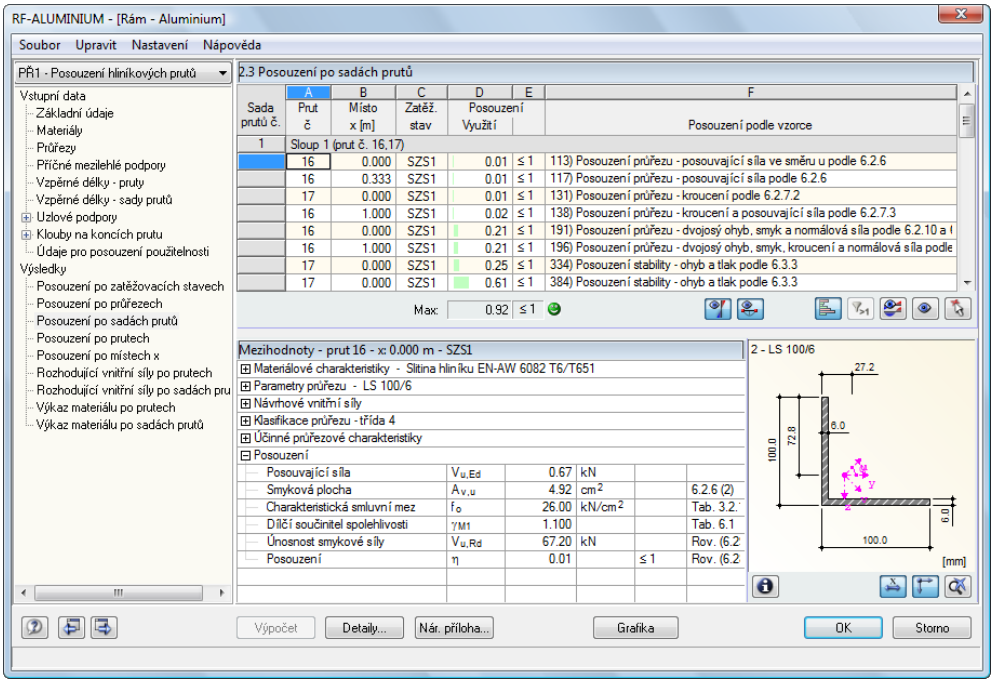


Obr. 4.2: Dialog 2.2 *Posouzení po průřezech*

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

V tomto dialogu se u všech posuzovaných prutů zobrazí maximální využití ve zvolených zatěžovacích stavech. Hodnoty jsou seřazeny podle průřezů.

4.3 Posouzení po sadách prutů

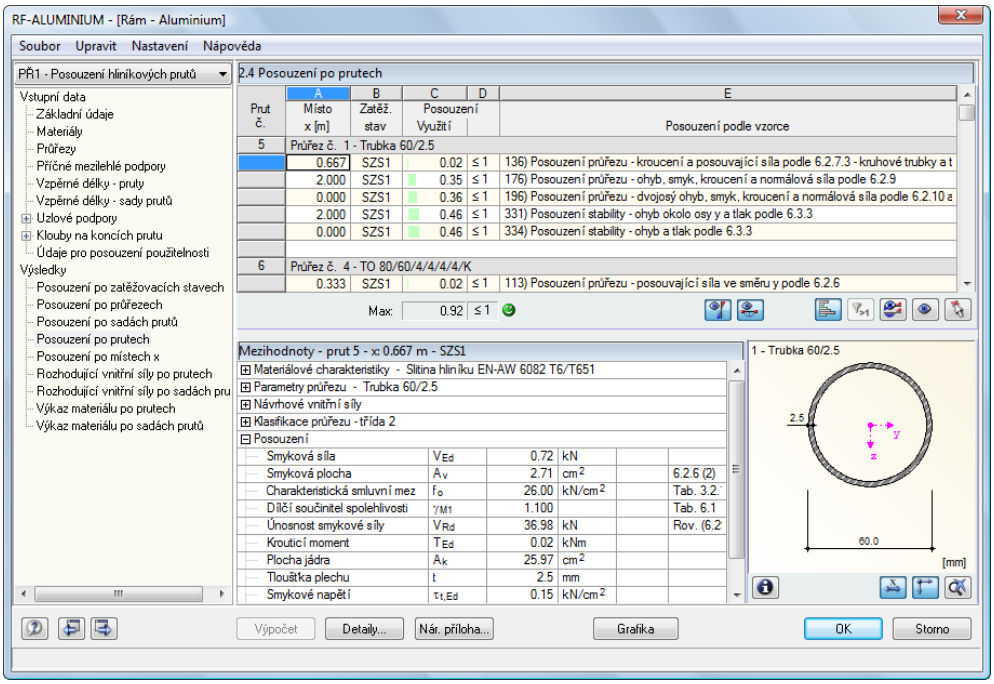


Obr. 4.3: Dialog 2.3 *Posouzení po sadách prutů*

Tento výstupní dialog se zobrazí, pokud byla k posouzení vybrána alespoň jedna sada prutů. Maximální využití jsou v seznamu seřazena podle sad prutů. Ve sloupci *Prut č.* se uvádí číslo prutu, který vykazuje v dané sadě prutů největší využití.

Výsledky rozčleněné podle sad prutů mají tu výhodu, že se nám v jednom dialogu přehledně zobrazí výsledky posouzení celé skupiny prvků (např. rámu).

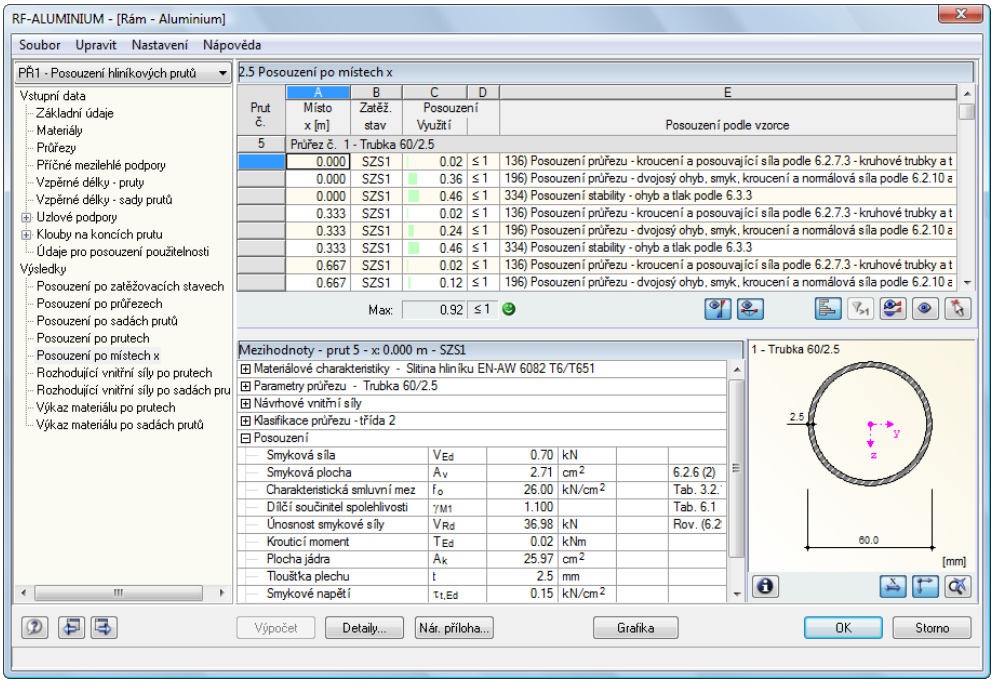
4.4 Posouzení po prutech



Obr. 4.4: Dialog 2.4 *Posouzení po prutech*

V tomto výstupním dialogu se zobrazí maximální využití seřazená podle čísel prutů. Jednotlivé sloupce popisujeme v kapitole 4.1 na straně 35.

4.5 Posouzení po místech x



Obr. 4.5: Dialog 2.5 *Posouzení po místech x*

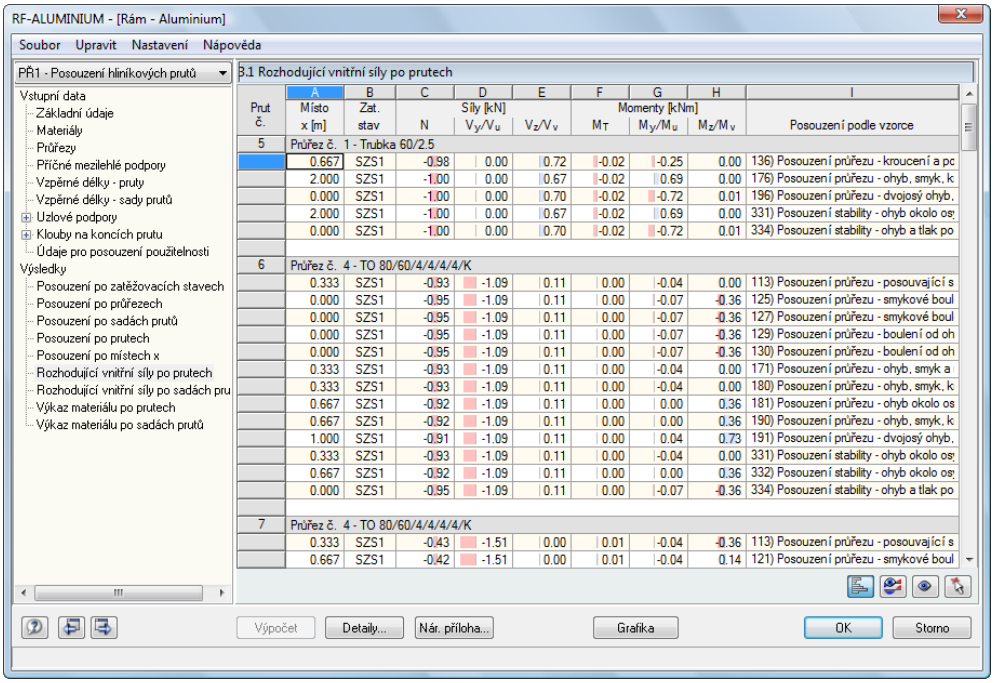
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Tento výstupní dialog obsahuje seznam maximálních hodnot u každého prutu v následujících místech ***x*** podle dělení zadaného v RFEMu:

- Počáteční a koncový uzel
- Vnitřní uzly podle zadaného dělení prutu
- Dělicí body podle počtu dílů prutu, který jsme zadali pro zobrazení výsledků na prutu v dialogu *Parametry výpočtu* v záložce *Možnosti* v RFEMu
- Extrémní hodnoty vnitřních sil

4.6 Rozhodující vnitřní síly po prutech

V tomto dialogu se pro každý prut zobrazí rozhodující vnitřní síly, které vyvozují maximální využití.



Obr. 4.6: Dialog 3.1 *Rozhodující vnitřní síly po prutech*

Místo x

V tomto sloupci se vždy zobrazí místo x na prutu, kde bylo zjištěno maximální využití.

Zatěžovací stav

V tomto sloupci se vždy zobrazí číslo zatěžovacího stavu (popř. skupiny nebo kombinace zatěžovacích stavů), u kterého vnitřní síly na prutu vyvozují maximální využití.

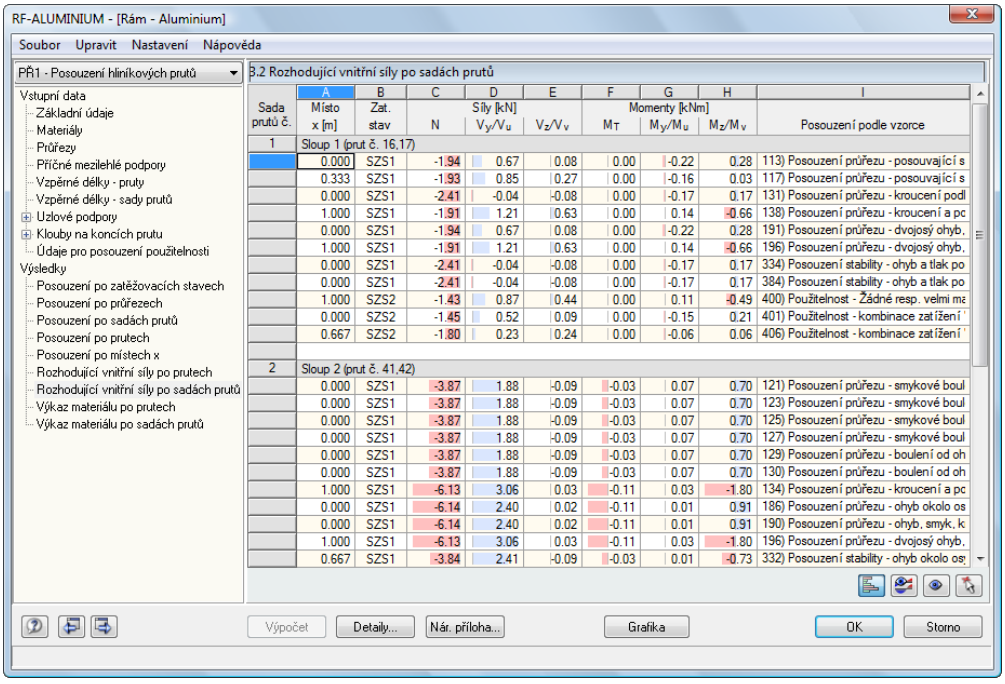
Síly / Momenty

Pro každý prut se zobrazí rozhodující osové a smykové síly a také krouticí a ohybové momenty.

Posouzení podle vzorce

V posledním sloupci se uvádí informace o typu posouzení a použitých rovnicích z normy EN 1999-1-1.

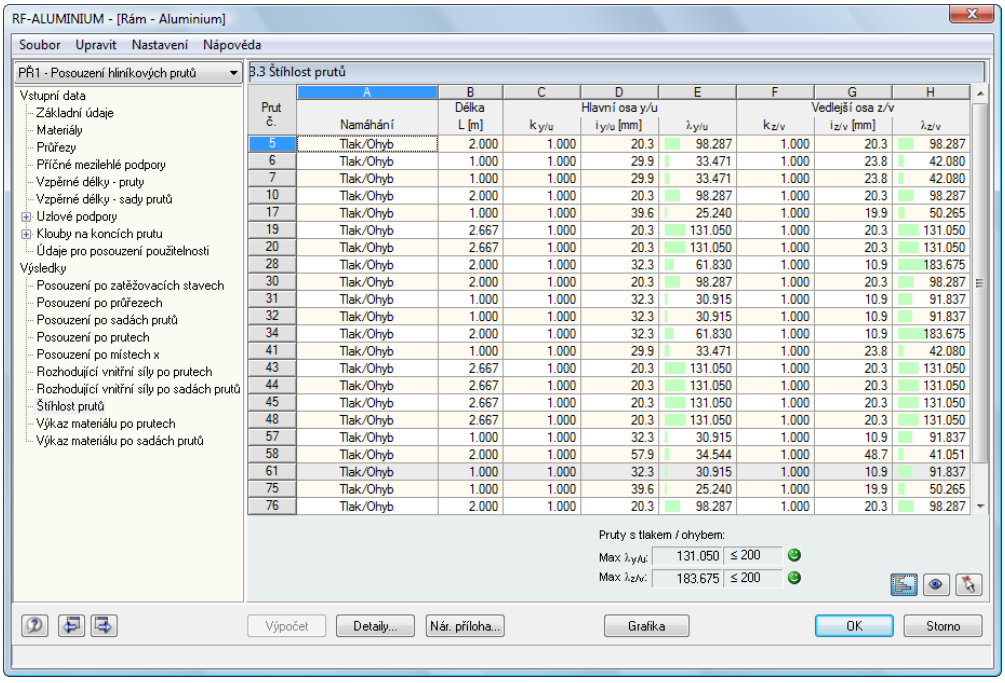
4.7 Rozhodující vnitřní síly po sadách prutů



Obr. 4.7: Dialog 3.2 *Rozhodující vnitřní síly po sadách prutů*

V tomto dialogu se zobrazí u každé sady prutů rozhodující vnitřní síly, které vyvozují maximální využití.

4.8 Štíhlost prutů



Obr. 4.8: Dialog 3.3 *Štíhlost prutů*

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

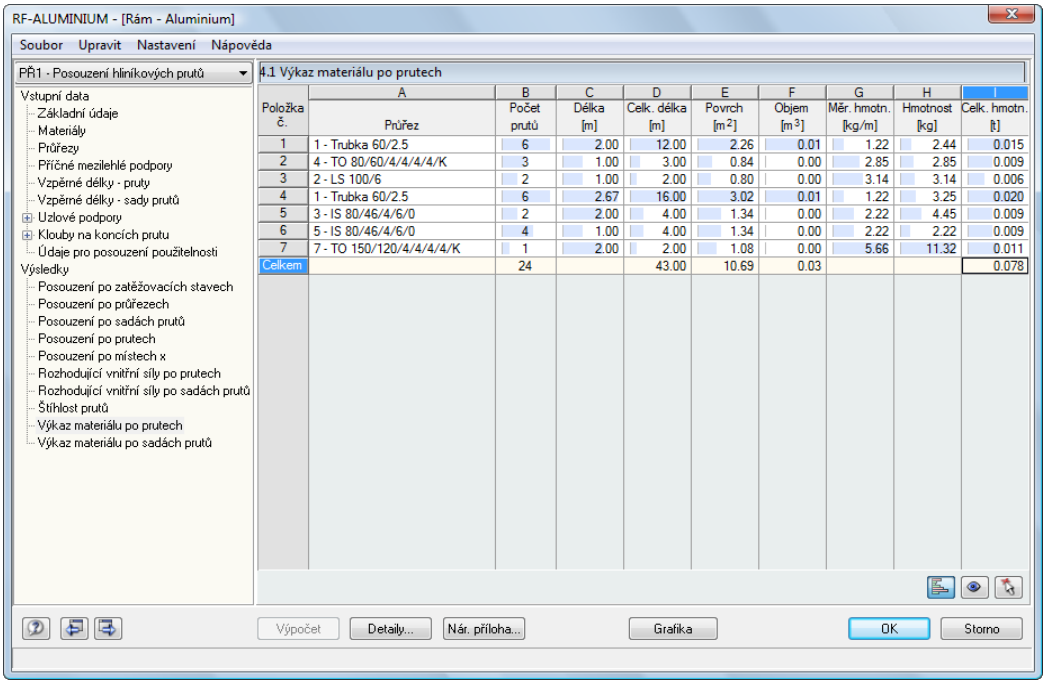
Detaily...

V této tabulce se uvádí účinné štíhlostní poměry posuzovaných prutů v obou hlavních směrech v závislosti na typu zatížení a porovnávají se s hodnotami stanovenými v dialogu *Detaily* (viz kapitola 3.1.4, strana 32). Tato tabulka je pouze informativní, protože stabilitní posouzení štíhlosti se neprovádí.

Pruty typu „tahový prut“ či „lano“ jsou z tabulky vyřazeny.

4.9 Výkaz materiálu po prutech

Nakonec se zobrazí seznam všech profilů použitých v daném návrhovém případu.



Položka č.	A Průřez	B Počet prutů	C Délka [m]	D Celk. délka [m]	E Povrch [m²]	F Objem [m³]	G Měr. hmotn. [kg/m]	H Hmotnost [kg]	I Celk. hmotn. [t]
1	1 - Trubka 60/2.5	6	2.00	12.00	2.26	0.01	1.22	2.44	0.015
2	4 - TO 80/60/4/4/4/4/K	3	1.00	3.00	0.84	0.00	2.85	2.85	0.009
3	2 - LS 100/6	2	1.00	2.00	0.80	0.00	3.14	3.14	0.006
4	1 - Trubka 60/2.5	6	2.67	16.00	3.02	0.01	1.22	3.25	0.020
5	3 - IS 80/46/4/6/0	2	2.00	4.00	1.34	0.00	2.22	4.45	0.009
6	5 - IS 80/46/4/6/0	4	1.00	4.00	1.34	0.00	2.22	2.22	0.009
7	7 - TO 150/120/4/4/4/4/K	1	2.00	2.00	1.08	0.00	5.66	11.32	0.011
Celkem		24		43.00	10.69	0.03			0.078

Obr. 4.9: Dialog 4.1 *Výkaz materiálu po prutech*

Detaily...

Při standardním nastavení bude seznam obsahovat jen posuzované pruty. Pokud chceme, aby výkaz zahrnoval všechny pruty v konstrukci, lze upravit nastavení v záložce *Jiné* dialogu *Detaily* (viz obr. 3.4, strana 32), který otevřeme pomocí stejnojmenného tlačítka.

Položka č.

Stejným prutům se automaticky přiřadí stejné číslo položky.

Průřez

V tomto sloupci se zobrazí čísla a označení průřezů.

Počet prutů

U každé položky se uvede počet stejných použitých prutů.

Délka

V tomto sloupci se zobrazí délka jednotlivých prutů.

Celková délka

Údaj v tomto sloupci je součinem hodnot uvedených v obou předešlých sloupcích.

Povrch

V tomto sloupci je uvedena plocha ve vztahu k celkové délce příslušné položky. Tato plocha se spočítá na základě *plochy pláště* daných průřezů, kterou lze zkontrolovat po kliknutí na tlačítko [Informace o průřezu...] v dialogu 1.3 nebo také 2.1 až 2.5 (viz obr. 2.9, strana 15).

Objem

Objem položky se spočítá na základě plochy průřezu a celkové délky.

Měrná hmotnost

Měrná hmotnost průřezu představuje hmotnost na 1 m délky.

Hmotnost

Údaj v tomto sloupci se vypočítá jako součin hodnot ve sloupci C a G.

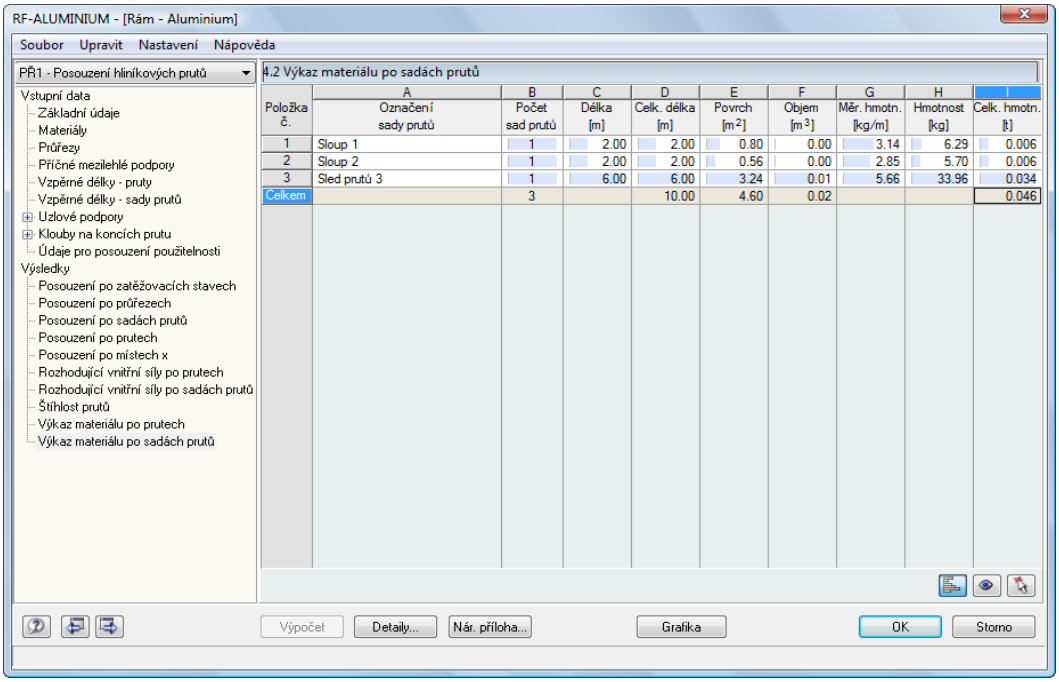
Celková hmotnost

V posledním sloupci v tabulce se zobrazí celková hmotnost dané položky.

Celkem

V řádku pod seznamem je uveden součet hodnot ve sloupcích B, D, E, F a I. V poli *Celková hmotnost* vidíme celkové požadované množství hliníku.

4.10 Výkaz materiálu po sadách prutů



Obr. 4.10: Dialog 4.2 *Výkaz materiálu po sadách prutů*

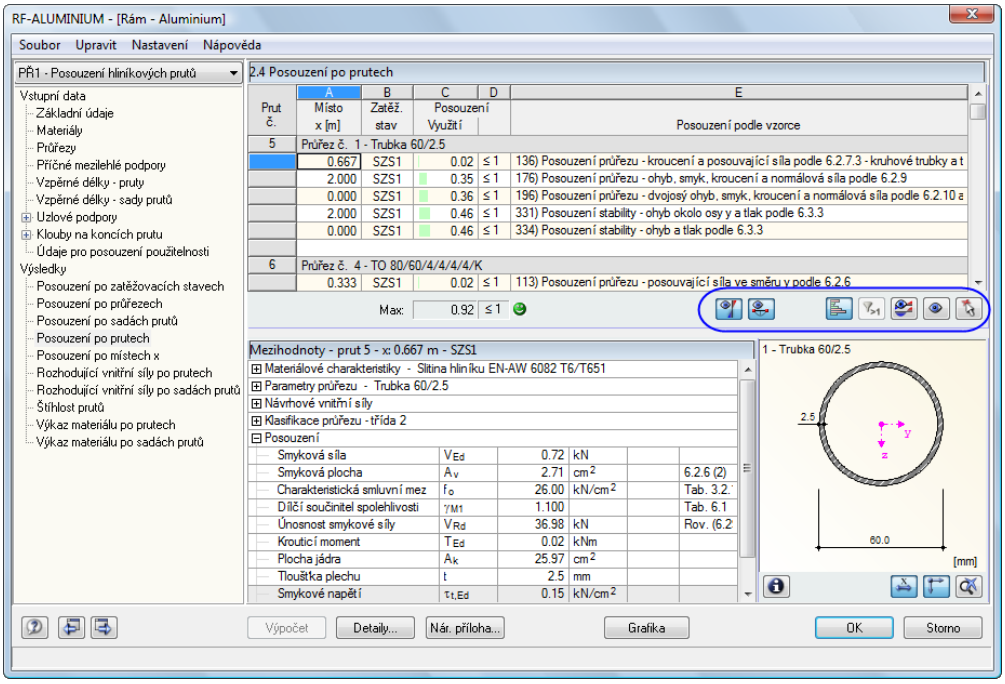
Tento poslední dialog modulu RF-ALUMINIUM se zobrazí pouze v případě, že k posouzení byla vybrána alespoň jedna sada prutů. Výhodou je, že se tu zobrazí souhrnný výkaz materiálu pro celou skupinu prvků (např. pro rám).

Jednotlivé sloupce tabulky popisujeme v předchozí kapitole 4.9. V případě, že sada prutů se skládá z různých průřezů, stanoví se povrch, objem a měrná hmotnost jako průměr příslušných hodnot.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

5. Vyhodnocení výsledků

Jakmile se spočítají výsledky posouzení, může je uživatel různým způsobem vyhodnotit. Velmi užitečná jsou přitom tlačítka vpravo pod tabulkou s výsledky posouzení.



Obr. 5.1: Tlačítka pro vyhodnocení výsledků

Tlačítka mají následující funkce:

Tlačítko	Označení	Funkce
	Posouzení mezního stavu únosnosti	Zobrazí, popř. skryje výsledky posouzení mezního stavu únosnosti
	Posouzení mezního stavu použitelnosti	Zobrazí, popř. skryje výsledky posouzení mezního stavu použitelnosti
	Zobrazit barvy v tabulce	Zobrazí barevné pozadí v tabulkách výsledků podle referenční stupnice
	Zobrazit řádky s poměrem > 1	Zobrazí pouze řádky s využitím větším než 1, kdy posouzení není splněno
	Průběhy výsledků	Otevře diagram *Průběhy výsledků na prutu* → kapitola 5.2, strana 46
	Skok do grafiky pro změnu zobrazení	Umožňuje přepnout do pracovního okna RFEMu, kde lze změnit nastavení zobrazení
	Vybrat prut v grafice a přejít na tento prut do tabulky	Umožňuje vybrat určitý prut v pracovním okně RFEMu, jehož výsledné hodnoty chceme zobrazit v tabulce

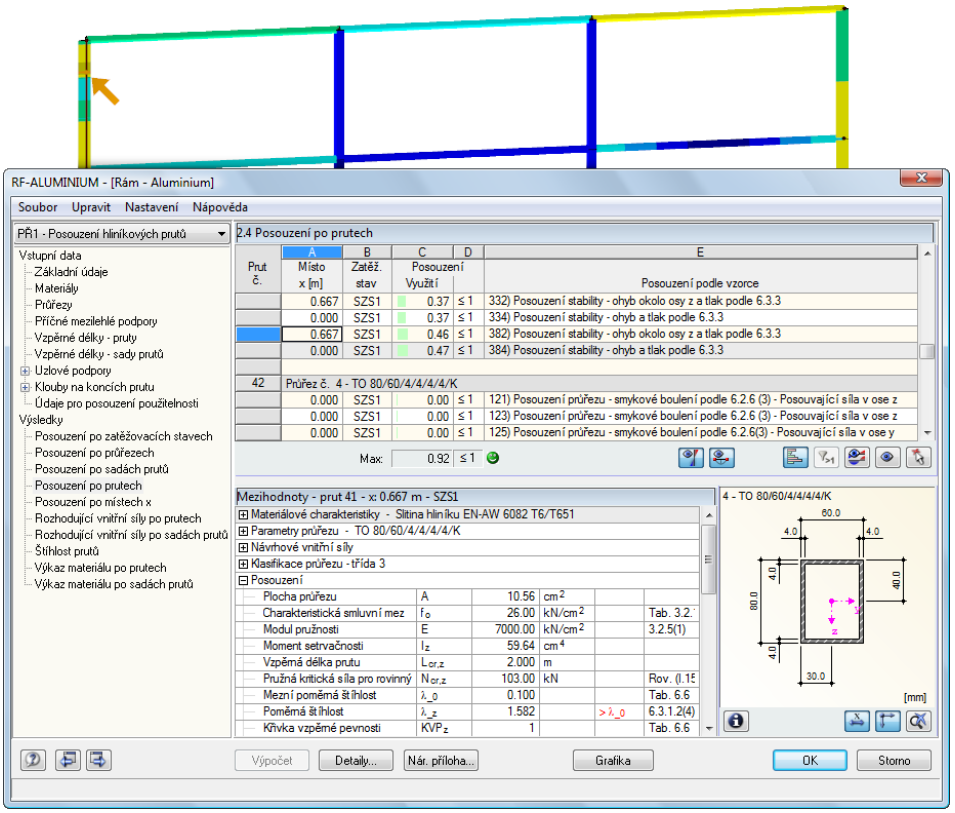
Tabulka 5.1: Tlačítka v tabulkách výsledků 2.1 až 2.5

5.1 Výsledky na modelu v RFEMu

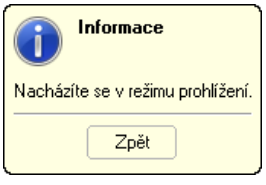
Pro vyhodnocení výsledků posouzení lze využít i pracovní okno RFEMu.

Grafické zobrazení v RFEMu na pozadí a režim prohlížení

Grafické zobrazení v RFEMu na pozadí může být užitečné, pokud chceme zkontrolovat polohu určitého prutu v modelu. Prut vybraný v tabulce výsledků v modulu RF-ALUMINIUM se v grafickém okně RFEMu na pozadí zvýrazní odlišnou barvou. Kromě toho se šipkou označí místo x na prutu, které je uvedeno jako rozhodující v aktuálně vybraném řádku v tabulce.



Obr. 5.2: Vyznačení prutu a aktuálního *místa x* v modelu konstrukce v RFEMu



Pokud ani posunem okna modulu RF-ALUMINIUM nezískáme požadovaný náhled, lze pomocí tlačítka [Skok do grafiky pro změnu zobrazení] přepnout do takzvaného *režimu prohlížení*: okno modulu RF-ALUMINIUM se vypne a na ploše RFEMu lze nyní upravit náhled. V režimu prohlížení máme k dispozici funkce z nabídky *Zobrazit*, např. zoom, posun nebo natočení náhledu.

Tlačítkem [Zpět] se můžeme vrátit do modulu RF-ALUMINIUM.

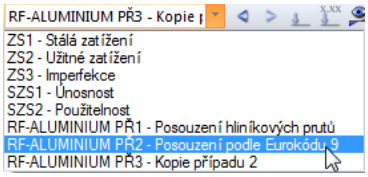
Pracovní okno RFEMu

Stupně využití lze také zobrazit přímo v modelu konstrukce. Pomocí tlačítka [Grafika] modul RF-ALUMINIUM zavřeme. V pracovním okně RFEMu se pak využití zobrazí graficky.

Stejně jako v případě vnitřních sil v RFEMu lze pomocí tlačítka [Zapnout/vypnout výsledky] aktivovat nebo deaktivovat zobrazení výsledků posouzení, pomocí tlačítka po pravé straně [Zobrazit výsledky s hodnotami] lze nastavit zobrazení výsledných číselných hodnot v obrázku.

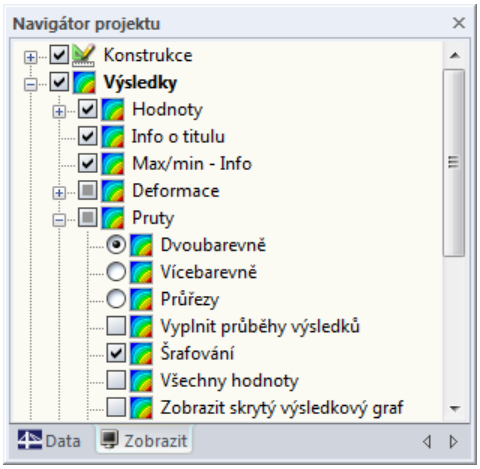
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Vzhledem k tomu, že tabulky RFEMu nemají pro vyhodnocení výsledků v modulu RF-ALUMINIUM žádný význam, lze je případně deaktivovat pomocí vlevo znázorněného tlačítka.



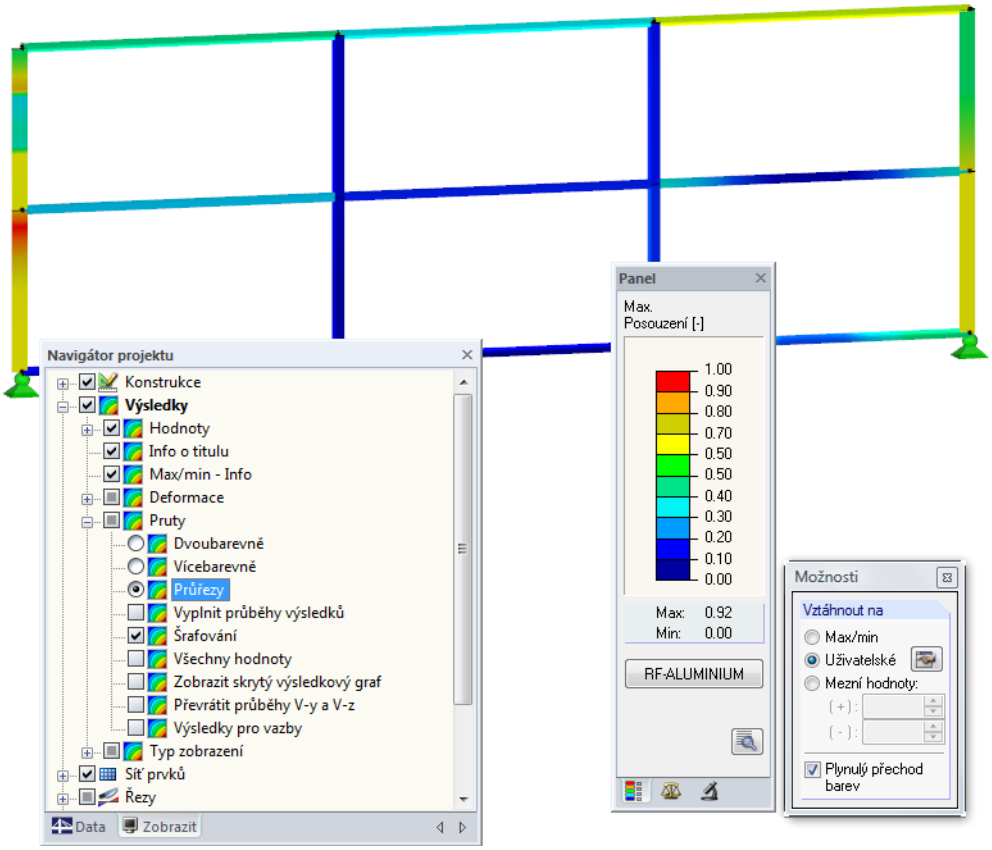
Konkrétní návrhový případ lze jako obvykle vybrat ze seznamu případů v panelu nástrojů RFEMu.

Zobrazení výsledků lze nastavit také z navigátoru *Zobrazit* v položce *Výsledky* → *Pruty*. Standardně se využití zobrazí *dvoubarevně*.



Obr. 5.3: Navigátor *Zobrazit*: Výsledky → Pruty

Pokud zvolíme vícebarevné zobrazení výsledků (volby *Průřezy* či *Vícebarevně*), budeme mít k dispozici panel s různými možnostmi nastavení barevného zobrazení. Funkce panelu jsou podrobně popsány v manuálu k programu RFEM v kapitole 4.4.6 *Řídící panel*.



Obr. 5.4: Stupně využití při označení možnosti *Průřezy*

Stejně jako v případě vnitřních sil na prutu lze v záložce *Faktory zobrazení* nastavit faktor nadvýšení pro grafické zobrazení výsledků posouzení. Pokud v poli *Průběhy - pruty* uvedeme faktor *0*, znázorní se výsledky bez nadvýšení zesílenou tloušťkou linií.

Grafická zobrazení lze začlenit do výstupního protokolu (viz kapitola 6.2, strana 50).

Tlačítkem [RF-ALUMINIUM] v panelu se do modulu vrátíme.

5.2 Průběhy výsledků

Pokud si uživatel chce prohlédnout průběh výsledků na určitém prutu, má k dispozici graf výsledků. Nejdříve vybereme daný prut nebo sadu prutů ve výstupní tabulce modulu RF-ALUMINIUM tak, že kurzor myši umístíme do řádku s příslušným prutem a následně pomocí vlevo znázorněného tlačítka graf výsledků otevřeme. Tlačítko se nachází pod tabulkou výsledků v horní části dialogu (viz obr. 5.1, strana 43).

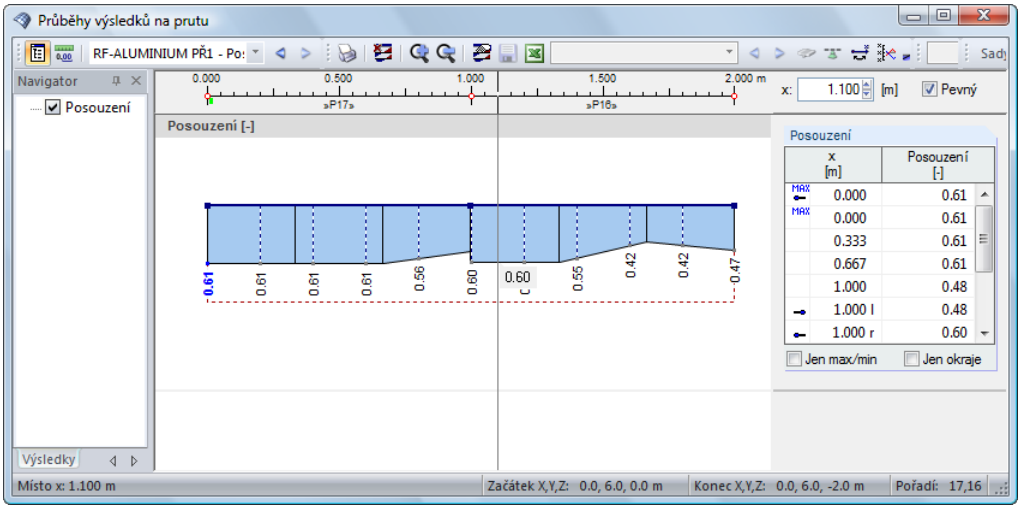
V okně RFEMu lze průběhy výsledků zobrazit příkazem z hlavní nabídky

Výsledky → Průběhy výsledků na vybraných prutech...

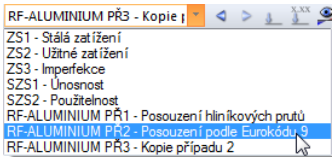
nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

Otevře se okno, v němž je znázorněn průběh výsledků na vybraném prutu nebo sadě prutů.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.



Obr. 5.5: Dialog *Průběhy výsledků na prutu*



V seznamu v panelu nástrojů můžeme přepínat mezi jednotlivými návrhovými případy.

Podrobný popis dialogu *Průběhy výsledků na prutu* najdeme v manuálu k programu RFEM v kapitole 10.5 *Průběhy výsledků*.

5.3 Filtrování výsledků

Kromě tabulek v modulu RF-ALUMINIUM, které již svou strukturou umožňují výběr výsledků podle určitých kritérií, lze ke grafickému vyhodnocení výsledků tohoto modulu použít filtrovací funkce, které jsou popsány v manuálu k programu RFEM.

V první řadě lze použít již nadefinované výřezy (viz manuál k RFEMu, kapitola 10.9 *Filtrování výsledků*), které vhodně seskupují určité objekty.

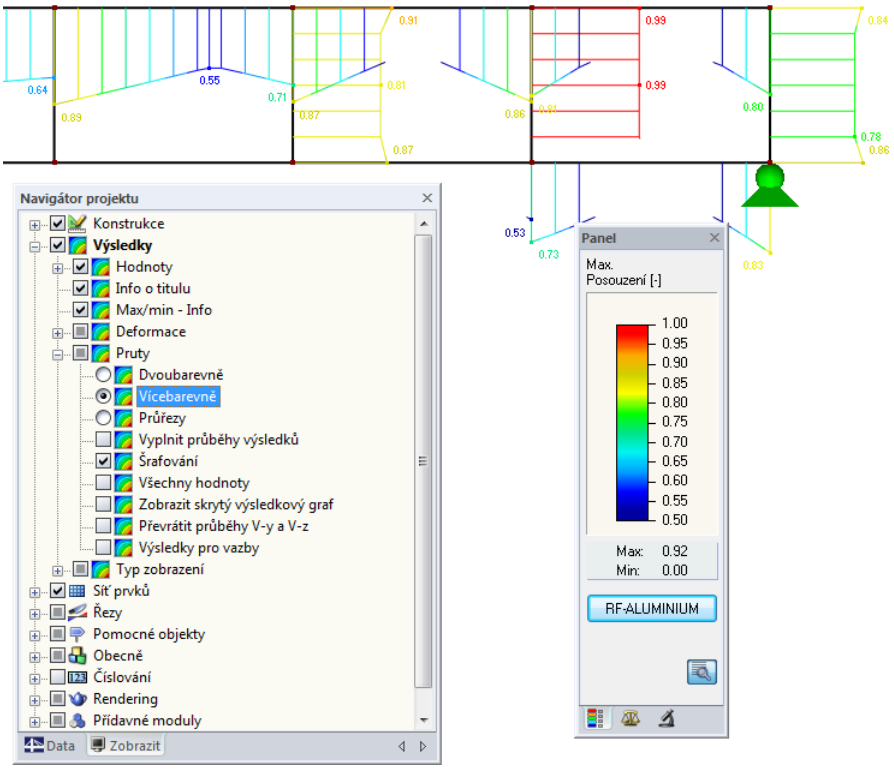
Filtrování výsledků posouzení

Jako kritérium pro filtrování výsledků na pracovní ploše RFEMu lze stanovit stupně využití. K tomu je třeba zobrazit takzvaný řídící panel. Pokud není aktivován, můžeme ho zapnout příkazem z hlavní nabídky

Zobrazit → Řídící panel

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Tento panel popisujeme v kapitole 4.4.6 manuálu k programu RFEM. Kritéria pro filtrování výsledků se nastavují v záložce *Stupnice barev*. Vzhledem k tomu, že tato záložka není k dispozici v případě dvoubarevného zobrazení, je třeba v navigátoru *Zobrazit* přepnout na volbu *Vícebarevně* nebo na volbu *Průřezy*.



Obr. 5.6: Filtrování stupňů využití pomocí upravené stupnice barev

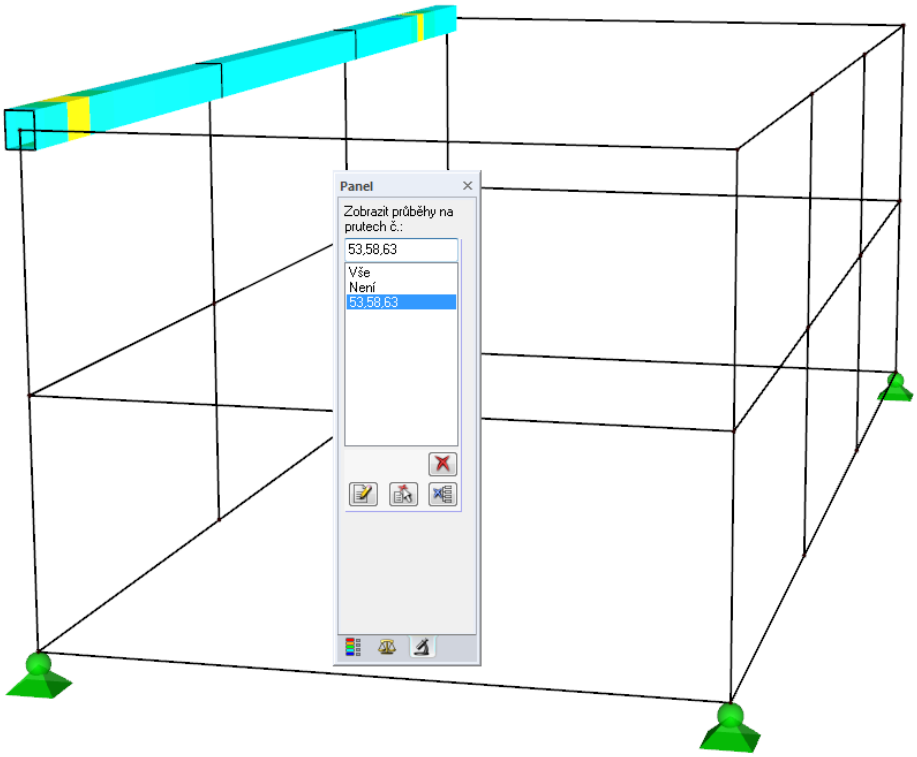
V případě vícebarevného zobrazení výsledků tak například v panelu můžeme nastavit, aby se zobrazily pouze stupně využití větší než 0,5. Stupnici barev přitom můžeme upravit tak, že jedna barevná oblast bude pokrývat vždy stupeň využití 0,05 (viz obrázek výše).

Pomocí volby *Zobrazit skrytý výsledkový graf* (v navigátoru *Zobrazit* v položce *Výsledky* → *Pruty*) lze zobrazit i stupně využití, které danou podmínku nesplňují. Tyto výsledky se pak zobrazí přerušovanou čarou.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Filtrování prutů

Pokud si přejeme zobrazit v grafickém okně výsledky pouze u některých prutů, můžeme v záložce *Filtry* řídícího panelu zadat jejich čísla. Tuto funkci popisujeme v manuálu k programu RFEM v kapitole 10.9 *Filtrování výsledků*.



Obr. 5.7: Filtrování prutů: využití v krajním nosníku

Na rozdíl od funkce výřezu se přitom zobrazí kompletní konstrukce. Na obrázku výše jsou znázorněna využití v krajním nosníku kontejneru. Ostatní posouzené pruty dané konstrukce se v modelu také zobrazí, ovšem bez stupňů využití.

6. Výstup

6.1 Výstupní protokol

Pro údaje z modulu RF-ALUMINIUM můžeme stejně jako v RFEMu vytvořit nejdříve výstupní protokol, do něhož lze vkládat obrázky nebo vlastní vysvětlivky. Ve výstupním protokolu můžeme také stanovit, které vstupní či výstupní tabulky se mají vytisknout.

Výstupní protokol podrobně popisujeme v manuálu k programu RFEM. Důležitá je především kapitola 11.1.3.4 *Výběr dat přídavných modulů*, která pojednává o výběru vstupních a výstupních dat v přídavných modulech.

Pro každou úlohu lze vytvořit několik výstupních protokolů. Zvláště v případě rozsáhlých konstrukcí s mnoha návrhovými případy doporučujeme místo jednoho objemného protokolu vytvořit pro přehlednost a rychlejší zpracování několik menších protokolů.

6.2 Tisk zobrazení z modulu RF-ALUMINIUM

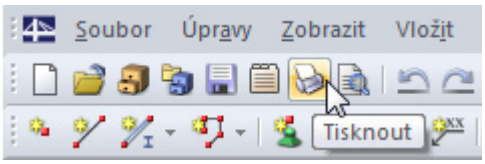
Každý obrázek z grafického okna hlavního programu RFEM lze převzít do výstupního protokolu. Proto můžeme i stupně využití znázorněné na modelu konstrukce v RFEMu připravit pro tisk. Vybraná grafická zobrazení lze začlenit do výstupního protokolu nebo poslat přímo na tiskárnu. V kapitole 11.2 *Přímý výtisk grafiky* v manuálu k programu RFEM je tisk grafických zobrazení podrobně popsán.

Výsledky posouzení na modelu v RFEMu

Aktuální grafické zobrazení z modulu RF-ALUMINIUM v pracovním okně RFEMu lze vytisknout příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Tisk...

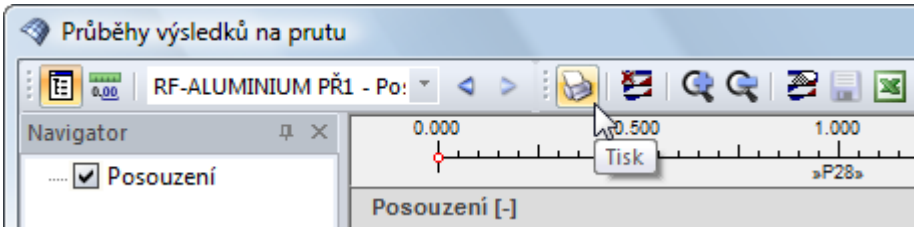
nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů.



Obr. 6.1: Tlačítko *Tisknout* v panelu nástrojů v hlavním okně

Průběhy výsledků

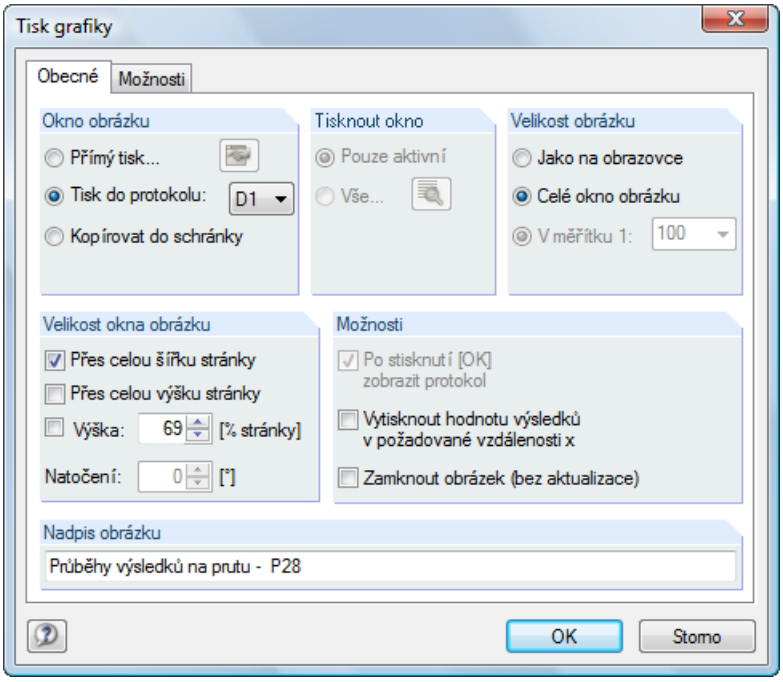
Stejně tak lze do protokolu převzít nebo přímo vytisknout i průběhy výsledků na prutech kliknutím na tlačítko [Tisk] v daném okně.



Obr. 6.2: Tlačítko *Tisk* v panelu nástrojů v okně s průběhy výsledků

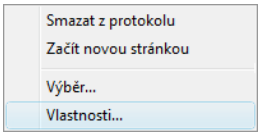
Otevře se následující dialog:

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

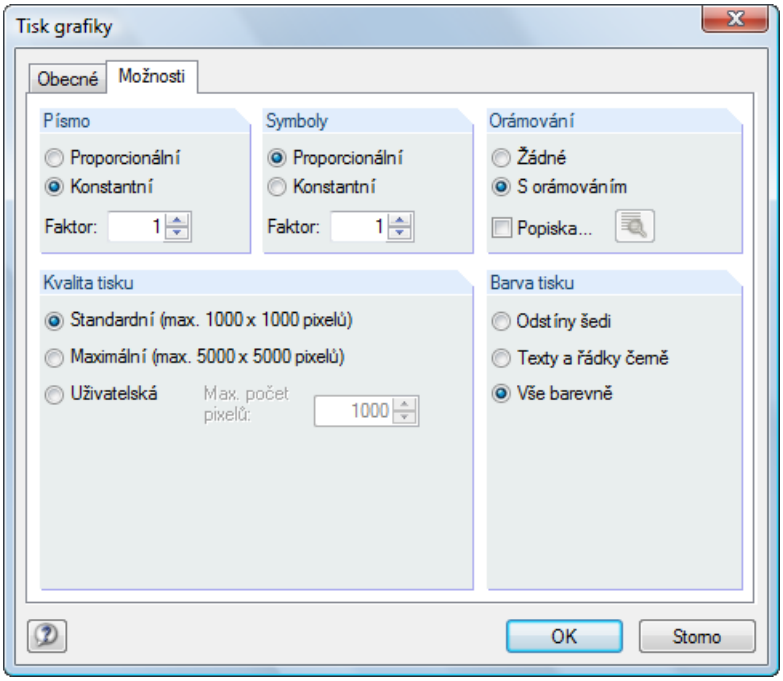


Obr. 6.3: Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Obecné*

Tento dialog podrobně popisujeme v kapitole 11.2 *Přímý výtisk grafiky* v manuálu k programu RFEM. Zabýváme se v ní i ostatními dvěma záložkami *Možnosti* a *Stupnice barev*.



Grafické zobrazení z modulu RF-ALUMINIUM lze jako ostatní obrázky ve výstupním protokolu přesunout na jiné místo pomocí funkce Drag&Drop. Vložené obrázky lze také dodatečně upravovat: pravým tlačítkem myši klikneme na příslušnou položku v navigátoru protokolu a v její místní nabídce vybereme *Vlastnosti*. Znovu se otevře dialog *Tisk grafiky*, v němž lze nastavit případné změny.



Obr. 6.4: Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Možnosti*

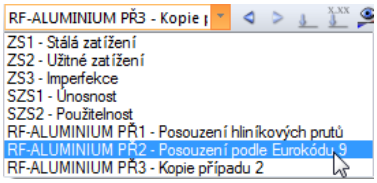
7. Obecné funkce

V této kapitole popisujeme běžně používané funkce z hlavní nabídky a také možnosti exportu výsledků posouzení.

7.1 Návrhové případy v modulu RF-ALUMINIUM

Uživatel má možnost seskupovat pruty do samostatných návrhových případů. Lze tak například samostatně posoudit určité stavební celky nebo prvky se specifickým zadáním (např. po úpravě materiálů, dílčích součinitelů spolehlivosti nebo optimalizaci).

Posuzovat prut nebo sadu prutů v různých návrhových případech přitom nepředstavuje žádný problém.



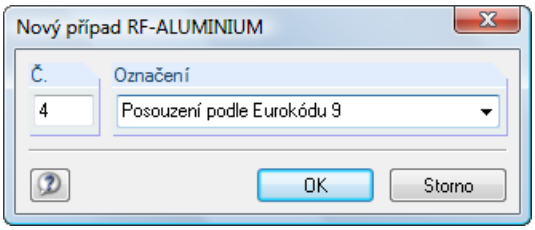
Návrhové případy založené v modulu RF-ALUMINIUM jsou obsaženy v seznamu zatěžovacích stavů a skupin zatěžovacích stavů v panelu nástrojů v pracovním okně RFEMu.

Vytvoření nového případu v modulu RF-ALUMINIUM

Nový návrhový případ lze vytvořit příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-ALUMINIUM

Soubor → Nový případ....

Otevře se následující dialog:



Obr. 7.1: Dialog *Nový případ RF-ALUMINIUM*

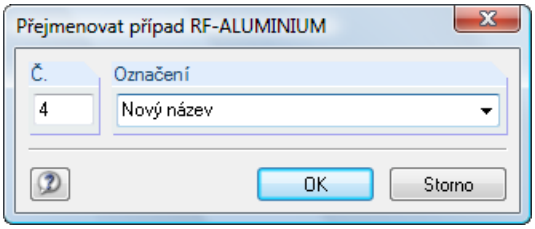
V tomto dialogu je třeba vyplnit (dosud nezadané) *číslo* a *označení* nového návrhového případu. Po ukončení dialogu kliknutím na tlačítko [OK] se zobrazí dialog modulu RF-ALUMINIUM 1.1 *Základní údaje*, kde definujeme nové údaje pro posouzení.

Přejmenování případu v modulu RF-ALUMINIUM

Označení návrhového případu lze změnit příkazem z hlavní nabídky modulu RF-ALUMINIUM

Soubor → Přejmenovat případ....

Otevře se dialog *Přejmenovat případ RF-ALUMINIUM*.



Obr. 7.2: Dialog *Přejmenovat případ RF-ALUMINIUM*

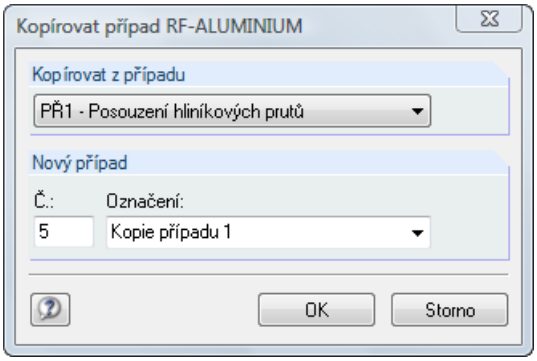
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Kopírování případu v modulu RF-ALUMINIUM

Vstupní údaje aktuálního návrhového případu lze zkopírovat příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-ALUMINIUM

Soubor → Kopírovat případ....

Otevře se dialog *Kopírovat případ RF-ALUMINIUM*, v kterém je třeba uvést číslo a označení nového případu, do něhož se vybraný případ zkopíruje.



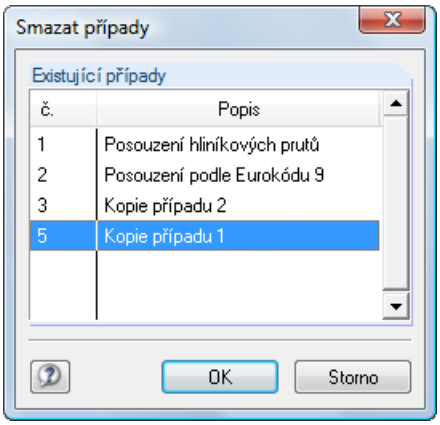
Obr. 7.3: Dialog *Kopírovat případ RF-ALUMINIUM*

Smazání případu v modulu RF-ALUMINIUM

Uživatel má možnost návrhové případy smazat příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-ALUMINIUM

Soubor → Smazat případ....

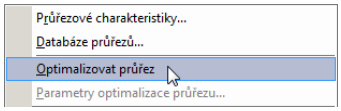
V dialogu *Smazat případy* pak ze seznamu *Existující případy* vybereme určitý případ, který se po kliknutí na tlačítko [OK] smaže.



Obr. 7.4: Dialog *Smazat případy*

7.2 Optimalizace průřezů

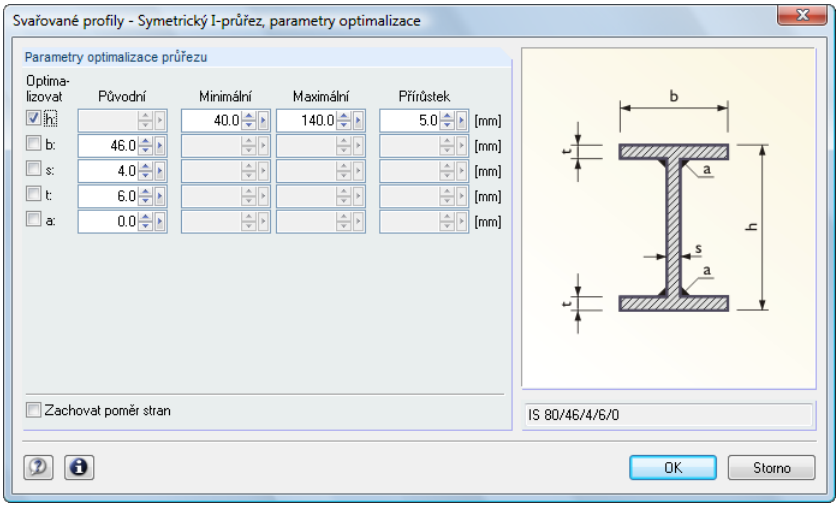
Jak jsme již zmínili v kapitole 2.3, modul RF-ALUMINIUM nabízí možnost optimalizovat průřezy. Průřez, který chceme optimalizovat, označíme zaškrtnutím políčka ve sloupci D, resp. E v tabulce 1.3 *Průřezy* (viz obr. 2.7, strana 14).



Optimalizovat průřez lze také příkazem z místní nabídky v tabulkách výsledků.

Při optimalizaci RF-ALUMINIUM prověří, který průřez ze zadané řady průřezů „optimálně" vyhovuje posouzení, tzn. nejvíce se blíží maximálnímu přípustnému využití, které jsme stanovili v dialogu *Detaily* (viz obr. 3.4, strana 32). Na základě vnitřních sil z RFEMu se spočítají nutné průřezové charakteristiky, a pokud se ukáže být některý jiný průřez vhodnější, použije se při posouzení. V dialogu 1.3 se pak zobrazí dva průřezy, jak vidíme na obr. 7.6 – původní průřez z RFEMu a optimalizovaný průřez.

V případě parametrizovaných průřezů z databáze se po zaškrtnutí políčka pro optimalizaci průřezu otevře dialog, v kterém lze zadat podrobné údaje.



Obr. 7.5: Dialog *Svařované profily – Symetrický I-průřez, parametry optimalizace*

Ve sloupci *Optimalizovat* nejdříve označíme, které parametry chceme upravit. Zpřístupní se tak sloupce *Minimální* a *Maximální*, v nichž se uvádí horní a dolní hranice optimalizovaného parametru. Ve sloupci *Přírůstek* je uvedeno, v jakém intervalu se budou měnit rozměry parametru při optimalizačním procesu.

Pokud chceme *zachovat poměr stran*, musíme označit příslušné políčko ve spodní části dialogu. Dále je třeba zaškrtnout alespoň dva parametry pro optimalizaci.

Průřezy složené z válcovaných profilů nelze optimalizovat.

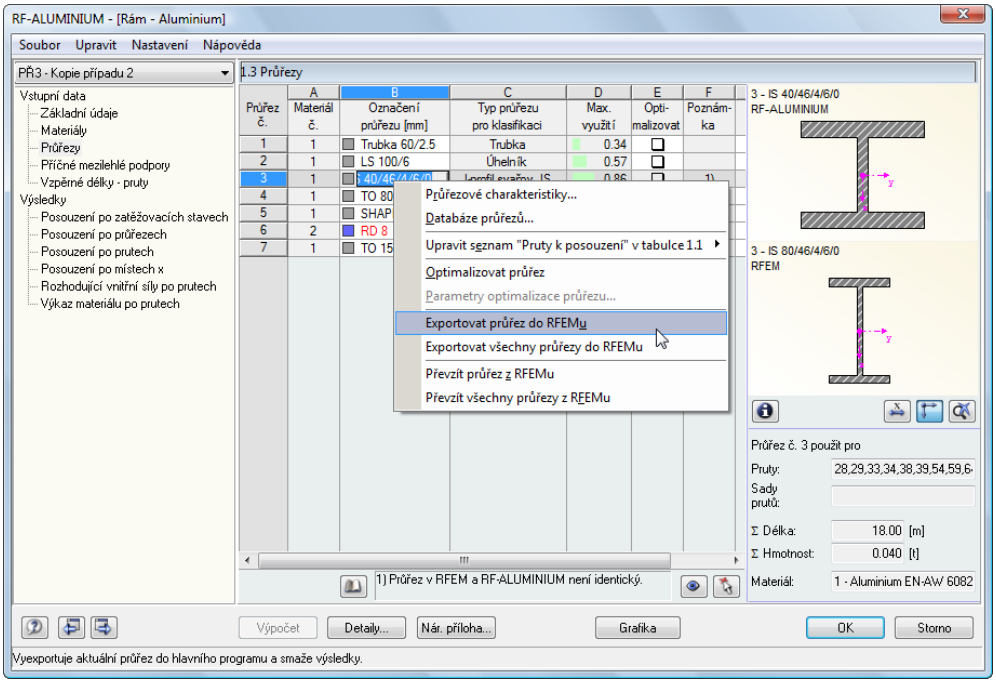
Při optimalizaci je třeba mít na paměti, že vnitřní síly se po úpravě průřezů automaticky znovu nespočítají. Záleží na rozhodnutí uživatele, kdy a jaké profily bude chtít převzít do RFEMu a provést nový výpočet. V důsledku změny tuhosti v konstrukci se mohou vnitřní síly spočítané na základě optimalizovaných průřezů značně lišit. Doporučujeme proto po první optimalizaci vnitřní síly přepočítat a následně průřezy ještě jednou optimalizovat.

Upravené průřezy není třeba převádět do RFEMu ručně. Otevřeme dialog 1.3 *Průřezy* a v hlavní nabídce vybereme příkaz

Upravit → Exportovat všechny průřezy do RFEMu.

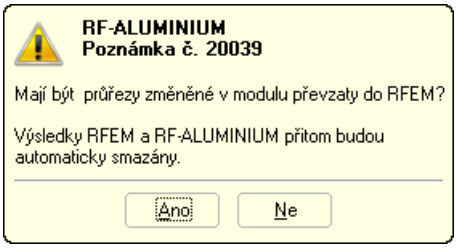
Možnost exportovat optimalizované průřezy do RFEMu nabízí i místní nabídka tabulky 1.3.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.



Obr. 7.6: Místní nabídka tabulky 1.3 *Průřezy*

Před převzetím průřezů do RFEMu program zobrazí kontrolní dotaz, protože při tomto kroku se smažou výsledky. Pokud pak v modulu RF-ALUMINIUM spustíme [Výpočet], spočítají se vnitřní síly pro RFEM a výsledky posouzení v modulu RF-ALUMINIUM v jednom výpočetním cyklu.



Obr. 7.7: Kontrolní dotaz před převzetím upravených průřezů do RFEMu

Podobně lze pomocí příslušných funkcí v hlavní nebo místní nabídce znovu načíst původní průřezy z RFEMu do modulu RF-ALUMINIUM. Je třeba upozornit na to, že tato možnost je k dispozici pouze v dialogu 1.3 *Průřezy*.

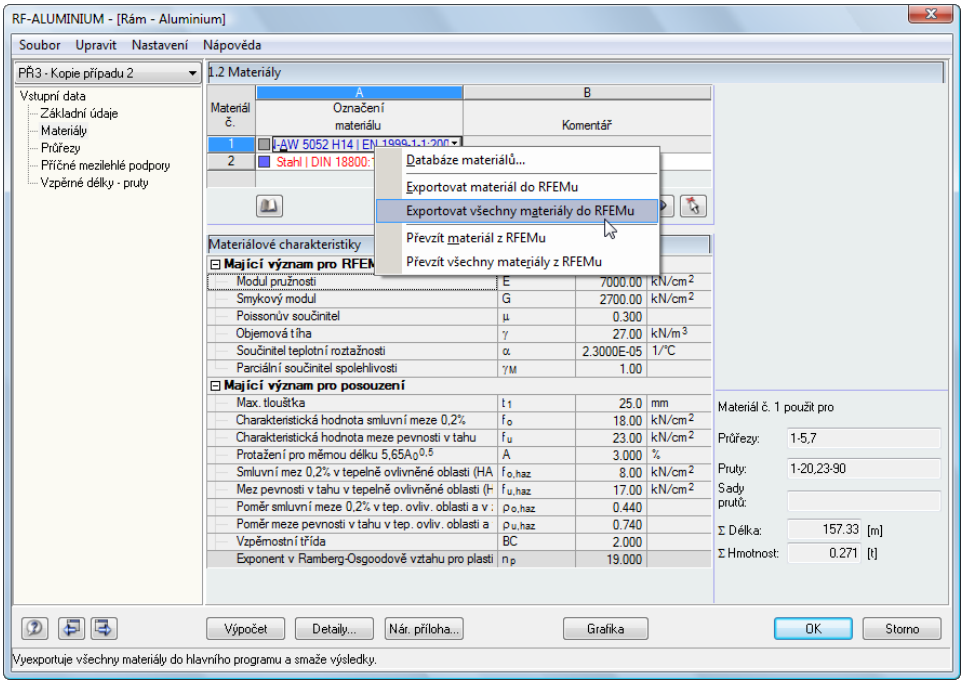
7.3 Import / export materiálů

Pokud v modulu RF-ALUMINIUM změníme materiály v dialogu 1.2, pak je lze stejně jako průřezy exportovat do RFEMu nebo lze naopak do modulu znovu načíst z RFEMu původně použité materiály. Materiály upravené v modulu se vyznačí modře.

Upravené materiály není třeba převádět do programu RFEM ručně. Otevřeme dialog 1.2 *Materiály* a v hlavní nabídce vybereme příkaz

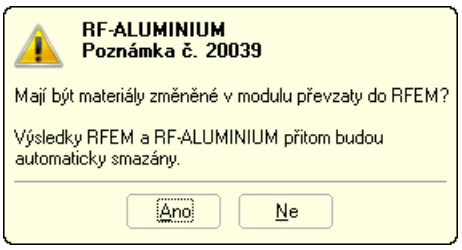
Upravit → Exportovat všechny materiály do RFEMu.

Možnost exportovat upravené materiály do RFEMu nabízí i místní nabídka tabulky 1.2.



Obr. 7.8: Místní nabídka tabulky 1.2 *Materiály*

Před převzetím materiálů do RFEMu program zobrazí kontrolní dotaz, protože při tomto kroku se smažou výsledky. Pokud pak v modulu RF-ALUMINIUM spustíme [Výpočet], spočítají se vnitřní síly pro RFEM a výsledky posouzení v modulu RF-ALUMINIUM v jednom výpočetním cyklu.



Obr. 7.9: Kontrolní dotaz před převzetím upravených materiálů do RFEMu

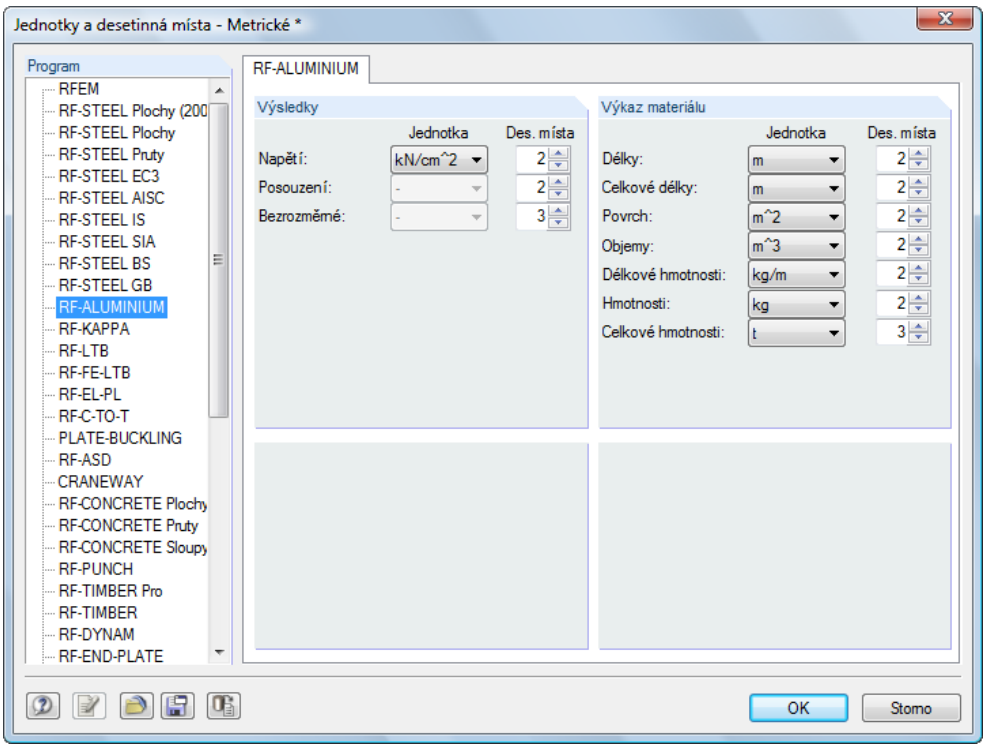
Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

7.4 Jednotky a desetinná místa

Jednotky a desetinná místa se pro RFEM i všechny jeho přídavné moduly nastavují centrálně. V modulu RF-ALUMINIUM otevřeme dialog pro nastavení jednotek příkazem z hlavní nabídky

Nastavení → Jednotky a desetinná místa....

Otevře se dialog již dobře známý z RFEMu. V něm je již přednastaven modul RF-ALUMINIUM.



Obr. 7.10: Dialog *Jednotky a desetinná místa*

Nastavení lze uložit jako uživatelský profil a použít i v jiných úlohách. Popis této funkce najdeme v kapitole 12.6.2 *Jednotky a desetinná místa* v manuálu k programu RFEM.

7.5 Export výsledků

Výsledky posouzení v modulu RF-ALUMINIUM lze různým způsobem převést i do jiných programů.

Schránka

Označené řádky v tabulkách výsledků modulu RF-ALUMINIUM lze pomocí tlačítek [Ctrl]+[C] zkopírovat do schránky a následně dvojicí tlačítek [Ctrl]+[V] převést například do některého textového procesoru. Nadpisy sloupců v tabulce exportovány nebudou.

Výstupní protokol

Údaje z modulu RF-ALUMINIUM lze odeslat do centrálního výstupního protokolu (viz kapitola 6.1, strana 50) a odtud pak exportovat příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Export do souboru RTF resp. BAUTEXT....

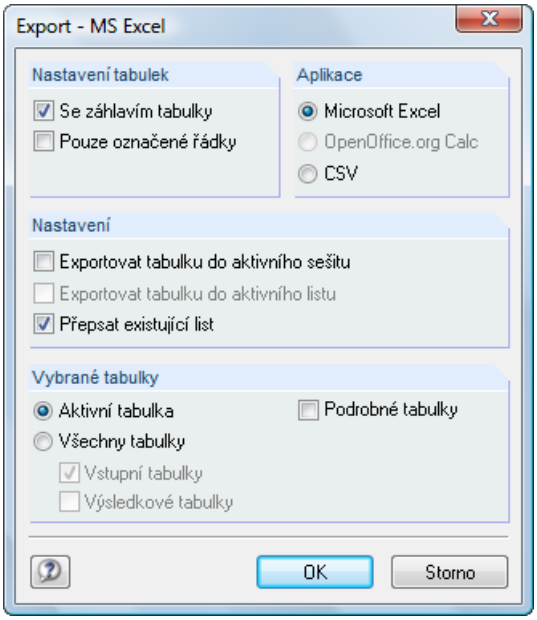
Tuto funkci popisujeme v kapitole 11.1.11 *Export protokolu* v manuálu k programu RFEM.

Excel / OpenOffice

RF-ALUMINIUM umožňuje přímý export dat do MS Excelu i do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org či do formátu CSV. Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Soubor → Exportovat tabulky....

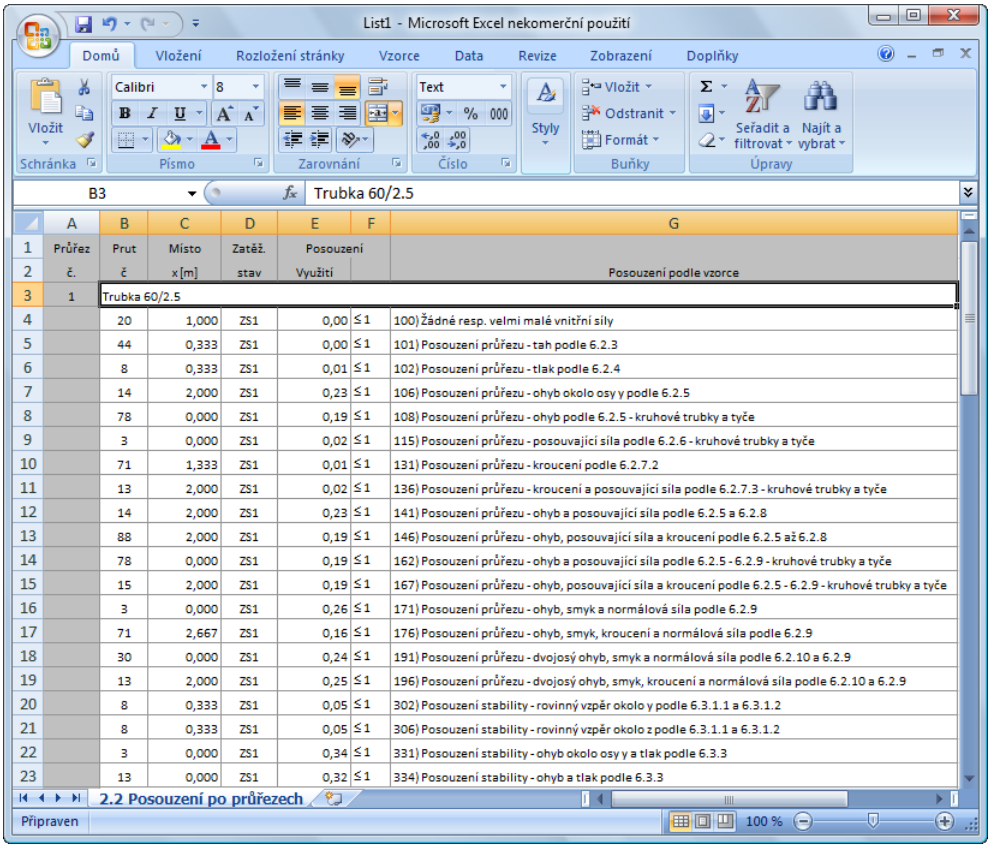
Otevře se následující dialog pro export dat:



Obr. 7.11: Dialog *Export - MS Excel*

Jakmile vybereme požadované parametry, můžeme export zahájit kliknutím na tlačítko [OK]. Excel, příp. Calc nemusí běžet na pozadí, před exportem se automaticky spustí.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.



	A	B	C	D	E	F	G
1	Průřez	Prut	Místo	Zatěž.	Posouzení		
2	č.	č	x [m]	stav	Využití		Posouzení podle vzorce
3	1	Trubka 60/2.5					
4		20	1,000	ZS1	0,00	≤ 1	100) Žádné resp. velmi malé vnitřní síly
5		44	0,333	ZS1	0,00	≤ 1	101) Posouzení průřezu - tah podle 6.2.3
6		8	0,333	ZS1	0,01	≤ 1	102) Posouzení průřezu - tlak podle 6.2.4
7		14	2,000	ZS1	0,23	≤ 1	106) Posouzení průřezu - ohyb okolo osy y podle 6.2.5
8		78	0,000	ZS1	0,19	≤ 1	108) Posouzení průřezu - ohyb podle 6.2.5 - kruhové trubky a tyče
9		3	0,000	ZS1	0,02	≤ 1	115) Posouzení průřezu - posouvající síla podle 6.2.6 - kruhové trubky a tyče
10		71	1,333	ZS1	0,01	≤ 1	131) Posouzení průřezu - kroucení podle 6.2.7.2
11		13	2,000	ZS1	0,02	≤ 1	136) Posouzení průřezu - kroucení a posouvající síla podle 6.2.7.3 - kruhové trubky a tyče
12		14	2,000	ZS1	0,23	≤ 1	141) Posouzení průřezu - ohyb a posouvající síla podle 6.2.5 a 6.2.8
13		88	2,000	ZS1	0,19	≤ 1	146) Posouzení průřezu - ohyb, posouvající síla a kroucení podle 6.2.5 až 6.2.8
14		78	0,000	ZS1	0,19	≤ 1	162) Posouzení průřezu - ohyb a posouvající síla podle 6.2.5 - 6.2.9 - kruhové trubky a tyče
15		15	2,000	ZS1	0,19	≤ 1	167) Posouzení průřezu - ohyb, posouvající síla a kroucení podle 6.2.5 - 6.2.9 - kruhové trubky a tyče
16		3	0,000	ZS1	0,26	≤ 1	171) Posouzení průřezu - ohyb, smyk a normálová síla podle 6.2.9
17		71	2,667	ZS1	0,16	≤ 1	176) Posouzení průřezu - ohyb, smyk, kroucení a normálová síla podle 6.2.9
18		30	0,000	ZS1	0,24	≤ 1	191) Posouzení průřezu - dvojosý ohyb, smyk a normálová síla podle 6.2.10 a 6.2.9
19		13	2,000	ZS1	0,25	≤ 1	196) Posouzení průřezu - dvojosý ohyb, smyk, kroucení a normálová síla podle 6.2.10 a 6.2.9
20		8	0,333	ZS1	0,05	≤ 1	302) Posouzení stability - rovinný vzpěr okolo y podle 6.3.1.1 a 6.3.1.2
21		8	0,333	ZS1	0,05	≤ 1	306) Posouzení stability - rovinný vzpěr okolo z podle 6.3.1.1 a 6.3.1.2
22		3	0,000	ZS1	0,34	≤ 1	331) Posouzení stability - ohyb okolo osy y a tlak podle 6.3.3
23		13	0,000	ZS1	0,32	≤ 1	334) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3

Obr. 7.12: Výsledky v *Excelu*

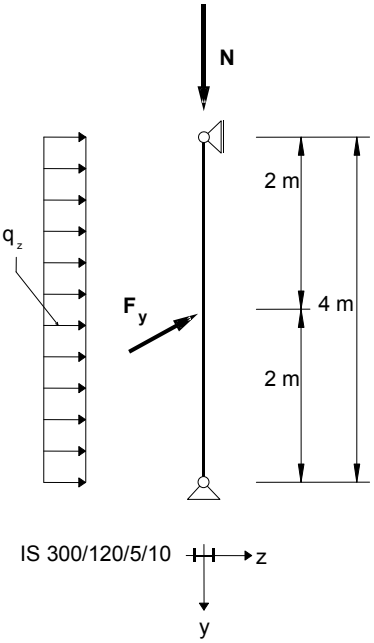
8. Příklad

Sloup namáhaný dvouosým ohybem

V tomto příkladu sloupu namáhaného dvouosým ohybem provedeme rozhodující stabilitní posouzení na vzpěr a klopení a analyzujeme příslušné podmínky interakce.

Návrhové hodnoty

Konstrukce a zatížení



Návrhové hodnoty statických zatížení:

N_d = 16 kN
$q_{z,d}$ = 4 kN/m
$F_{y,d}$ = 2 kN

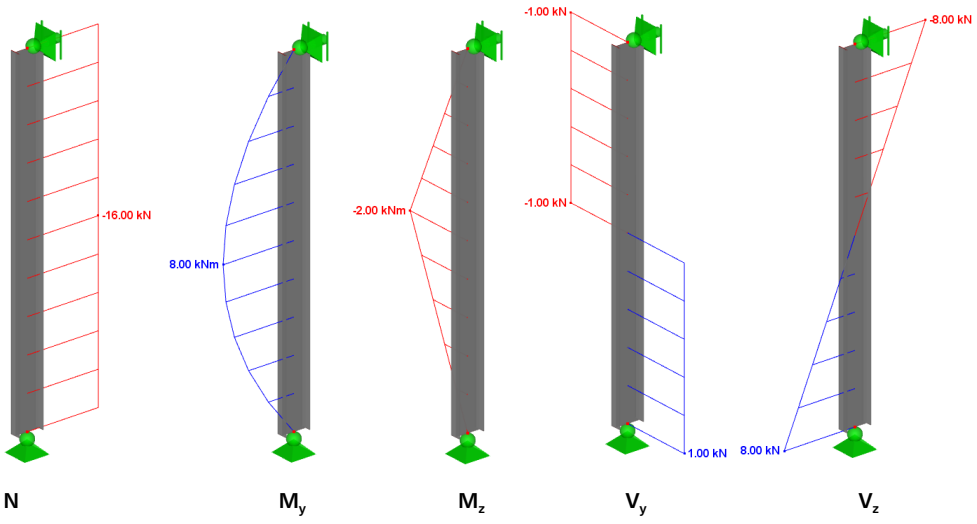
Průřez: IS 300/120/5/10

Materiál: EN-AW 6005A (EP/O, ER/B) T6

Délky:
$L_{cr,y}$ = 4 m
$L_{cr,z}$ = 4 m
L_W = 4 m
L_T = 4 m

Obr. 8.1: Konstrukce a návrhová zatížení (γ-násobek)

Vnitřní síly podle teorie prvního řádu



Obr. 8.2: Vnitřní síly

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Místo posouzení (rozhodující místo x)

Posouzení probíhá pro jednotlivá místa x, tzn. na definovaných místech x náhradního prutu. V rozhodujícím místě x = 2,00 m RFEM spočítal následující vnitřní síly:

N = –16,00 kN M_y = 8,00 kNm M_z = 2,00 kNm V_y = 1,00 kN V_z = 0,00 kN

Průřezové charakteristiky IS 300/150/4/8, EN-AW 6005A

Veličina průřezu	Symbol	Hodnota	Jednotka
Plocha průřezu	A	3800	mm^2
Moment setrvačnosti	I_y	59626700	mm^4
Moment setrvačnosti	I_z	2882920	mm^4
Poloměr setrvačnosti	i_y	125,265	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	27,544	mm
Polární poloměr setrvačnosti	I_0	128,257	mm
Hmotnost průřezu	G	10,3	kg/m
Moment tuhosti v kroucení	I_T	87883,6	mm^4
Výsečový moment setrvačnosti	I_ω	60552000000	mm^6
Průřezový modul	W_y	397511	mm^3
Průřezový modul	W_z	48048	mm^3
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	446000	mm^3
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	73750	mm^3

Klasifikace průřezu

Jak se uvádí v normě EN 1999-1-1, čl. 6.3.3, v poznámce 1 a 2, průřezy vystavené kombinaci ohybu a osových sil se musí klasifikovat samostatně pro obě složky zatížení podle čl. 6.1.4. Průřez může být jiné třídy pro osovou sílu, ohyb k hlavní ose i pro ohyb k vedlejší ose.

Parametr štíhlosti podle [1], tabulky 6.2

Vzpěrnostní třída pro EN-AW 6005A je A(1).

Stojina (vnitřní část - I)

$$\frac{\beta_{w,1}}{\varepsilon_w} = 11 \qquad \frac{\beta_{w,2}}{\varepsilon_w} = 16 \qquad \frac{\beta_{w,3}}{\varepsilon_w} = 22$$

Vlastnosti materiálu pro t_w = 5 mm

$f_{o,w} = 225 MPa$ $f_{u,w} = 270 MPa$ BC= A(1)

Součinitel materiálu

$$\varepsilon_w = \sqrt{250 / f_{o,w}} = \sqrt{250 / 225} = 1{,}054$$

Pásnice (symetrický přesah - SO)

$$\frac{\beta_{f,1}}{\varepsilon_f} = 3 \qquad \frac{\beta_{f,2}}{\varepsilon_f} = 4{,}5 \qquad \frac{\beta_{f,3}}{\varepsilon_f} = 6$$

Vlastnosti materiálu pro t_f = 10 mm

$f_{o,f} = 215 MPa$ $f_{u,f} = 260 MPa$ BC= A(1)

Součinitel materiálu

$$\varepsilon_f = \sqrt{250 / f_{o,f}} = \sqrt{250 / 215} = 1{,}078$$

Tlaková síla N_c

$$\sigma_{Nc} = -4{,}21 \text{MPa}$$

Stojina (vnitřní část - I)

Parametr štíhlosti - rovinné vnitřní části s rovnoměrným napětím podle čl. 6.1.4.3 a), rov. (6.1)

$$\beta_{w,Nc} = \frac{c_w}{t_w} = \frac{280}{5} = 56$$

$$\beta_{w,Nc} > \beta_{w,3}$$

$$\beta_{w,Nc} > \frac{\beta_{w,3}}{\varepsilon_w} \cdot \varepsilon_w = 22 \cdot 1{,}054 = 23{,}19 \Rightarrow \textbf{třída 4}$$

Pásnice (symetrický přesah - SO)

Parametr štíhlosti – rovinné přesahy s rovnoměrným napětím podle čl. 6.1.4.3 a), rov. (6.1)

$$\beta_{f,Nc} = \frac{c_f}{t_f} = \frac{57{,}5}{10} = 5{,}75$$

$$\beta_{f,Nc} \le \beta_{f,3}$$

$$\beta_{f,Nc} \le \frac{\beta_{f,3}}{\varepsilon_f} \cdot \varepsilon_f = 6 \cdot 1{,}078 = 6{,}47 \Rightarrow \textbf{třída 3}$$

Ohybový moment M_y k hlavní ose (osa y-y)

Stojina (vnitřní část - I)

Napětí na okrajích stojiny

$$\sigma_{w,A,My} = -18{,}78 \text{MPa}$$

$$\sigma_{w,B,My} = 18{,}78 \text{MPa}$$

Poměr napětí

$$\psi_{w,My} = \frac{\sigma_{w,B,My}}{\sigma_{w,A,My}} = \frac{18{,}78}{-18{,}78} = -1{,}000$$

Součinitel rozdělení napětí - rov. (6.4)

$$\eta_{w,My} = 0{,}7 + 0{,}3\psi_{w,My} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot -1{,}000 = 0{,}400$$

Parametr štíhlosti - rovinné vnitřní části s nerovnoměrným napětím a neutrální osou ve středu podle čl. 6.1.4.3 b), rov. (6.2) nebo (6.3)

$$\beta_{w,My} = \eta_{w,My} \cdot \frac{c_w}{t_w} = 0{,}400 \frac{280}{5} = 22{,}4$$

$$\beta_{w,My} \le \beta_{w,3}$$

$$\beta_{w,My} \le \frac{\beta_{w,3}}{\varepsilon_w} \cdot \varepsilon_w = 22 \cdot 1{,}054 = 23{,}19 \Rightarrow \textbf{třída 3}$$

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Pásnice (symetrický přesah - SO)

Napětí na okrajích pásnice

Vnitřní okraj $\sigma_{f,A,My} = -20,13 MPa$

Vnější okraj $\sigma_{f,B,My} = -20,13 MPa$

Poměr napětí

$$\psi_{f,My} = \frac{\sigma_{f,A,My}}{\sigma_{f,B,My}} = \frac{-20,13}{-20,13} = 1,000$$

Parametr štíhlosti - rovinné přesahy s rovnoměrným napětím podle čl. 6.1.4.3 a), rov. (6.1)

$$\beta_{f,My} = \frac{c_f}{t_f} = \frac{57,5}{10} = 5,75$$

Ohybový moment M_z k vedlejší ose (osa z-z)

Stojina (vnitřní část - I)

Napětí na okrajích stojiny

$\sigma_{w,A,Mz} = \sigma_{w,B,Mz} = 0 MPa \Rightarrow$ stojina bez tlaku

Pásnice (symetrický přesah - SO)

Napětí na okrajích pásnice

Vnitřní okraj $\sigma_{f,A,Mz} = -1,73 MPa$

Vnější okraj $\sigma_{f,B,Mz} = -41,62 MPa$

Parametr štíhlosti - rovinné přesahy s největším napětím v tlaku na konci podle čl. 6.1.4.3 a), rov. (6.1)

$$\beta_{f,Mz} = \frac{c_f}{t_f} = \frac{57,5}{10} = 5,75$$

$$\beta_{f,Mz} \le \beta_{f,3}$$

$$\beta_{f,Mz} \le \frac{\beta_{f,3}}{\varepsilon_f} \cdot \varepsilon_f = 6 \cdot 1,078 = 6,47 \Rightarrow \textbf{třída 3}$$

Účinné průřezové hodnoty

Účinná plocha průřezu (třída 4 pro tlakovou sílu N_c)

Stojina (vnitřní část - I)

Součinitel boulení podle čl. 6.1.5(2), rov. (6.12)

$$\rho_{c,w,Nc} = \frac{C_1}{(\beta_{w,Nc} / \varepsilon_w)} - \frac{C_2}{(\beta_{w,Nc} / \varepsilon_w)^2} = \frac{32}{(56 / 1,054)} - \frac{220}{(56 / 1,054)^2} = 0,524$$

Účinná tloušťka stojiny

$$t_{c,w,Nc} = \rho_{c,w,Nc} \cdot t_w = 0,524 \cdot 5 = 2,622 mm$$

Účinná plocha stojiny

$$A_{w,eff,Nc} = t_{c,w,Nc} \cdot c_w = 2,622 \cdot 280 = 734,16 mm^2$$

Pásnice (symetrický přesah - SO)

Třída 3 - žádné zmenšení tloušťky podle čl. 6.1.5(2), rov. (6.11)

$\rho_{c,f,Nc} = 1{,}000 \qquad t_{c,f,Nc} = t_f = 10\text{mm}$

Plocha pásnice

$A_f = 2 \cdot A_{f,1} = 2 \cdot t_f \cdot c_f = 2 \cdot 10 \cdot 120 = 2400\text{mm}^2$

Účinná plocha celého průřezu

$A_{eff} = A_w + A_f = 734{,}16 + 2400 = 3134{,}16\text{mm}^2$

Vzpěr k hlavní ose (⊥ k ose y-y)

Pružná kritická síla pro prostorový vzpěr podle [1], přílohy I.3, rov. (I.15)

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 59626700}{4000^2} = 2574652\,\text{N} = 2574{,}65\,\text{kN}$$

Poměrná štíhlost pro rovinný vzpěr podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.51)

$$\overline{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_o}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3800 \cdot 215}{2574652}} = 0{,}512$$

Omezení vodorovné části křivky vzpěrnosti a součinitel imperfekce podle tabulky 6.6

Vzpěrnostní třída materiálu podle tabulky 3.2 A(1) $\Rightarrow \overline{\lambda}_{y,0} = 0{,}100 \quad \alpha_y = 0{,}200$

Podmínky pro zohlednění účinků vzpěru podle čl. 6.3.1.2(4)

$\overline{\lambda}_y > \overline{\lambda}_{y,0} \qquad 0{,}512 > 0{,}100$

$N_{Ed} > \overline{\lambda}_{y,0}^2 N_{cr,y} \qquad 16 > 0{,}010 \cdot 2574{,}652 = 25{,}746$

Podle druhé podmínky lze účinky vzpěru k ose y zanedbat.

Pomocný součinitel podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.51)

$$\phi_y = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_y \cdot \left(\overline{\lambda}_y - \overline{\lambda}_{y,0}\right) + \overline{\lambda}_y^2\right] = 0{,}5 \cdot \left[1 + 0{,}2 \cdot \left(0{,}512 - 0{,}1\right) + 0{,}512^2\right] = 0{,}672$$

Součinitel vzpěrnosti podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.50)

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \overline{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0{,}672 + \sqrt{0{,}672^2 - 0{,}512^2}} = 0{,}903$$

Výsledné hodnoty výpočtu v modulu RF-ALUMINIUM

Moment setrvačnosti	I_y	59626700	mm^4		
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,y}$	4,000	m		
Pružná kritická síla	$N_{cr,y}$	2574,65	kN		

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Poměrný štíhlostní poměr	$\lambda_{bar,y}$	0,512		> 0,1	6.3.1.2(4)
Křivka vzpěrné pevnosti	KVP_y	A(1)			tab. 3.2b
Součinitel imperfekce	α_y	0,200			tab. 6.6
Pomocný součinitel	ϕ_y	0,672			rov. (6.51)
Součinitel vzpěrnosti	χ_y	0,903			rov. (6.50)

Vzpěr k vedlejší ose (⊥ k ose z-z)

Pružná kritická síla pro prostorový vzpěr podle [1], přílohy I.3, rov. (I.15)

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 2882920}{4000^2} = 124483{,}1\,N = 124{,}483\,kN$$

Poměrná štíhlost pro rovinný vzpěr podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.51)

$$\overline{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_o}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3800 \cdot 215}{124483{,}1}} = 2{,}327$$

Omezení vodorovné části křivky vzpěrnosti a součinitel imperfekce podle tabulky 6.6

Vzpěrnostní třída materiálu podle tabulky 3.2 A(1) $\Rightarrow \overline{\lambda}_{z,0} = 0{,}100 \quad \alpha_z = 0{,}200$

Podmínky pro zohlednění účinků vzpěru podle čl. 6.3.1.2(4)

$\overline{\lambda}_z > \overline{\lambda}_{z,0}$ $\qquad 2{,}327 > 0{,}100$

$N_{Ed} > \overline{\lambda}_{z,0}^2 N_{cr}$ $\qquad 16 > 0{,}010 \cdot 124{,}483 = 1{,}245$

Účinky vzpěru nelze zanedbat.

Pomocný součinitel podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.51)

$$\phi_z = 0{,}5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot \left(\overline{\lambda}_z - \overline{\lambda}_{z,0}\right) + \overline{\lambda}_z^2\right] = 0{,}5 \cdot \left[1 + 0{,}2 \cdot \left(2{,}327 - 0{,}1\right) + 2{,}327^2\right] = 3{,}429$$

Součinitel vzpěrnosti podle čl. 6.3.1.2(1), rov. (6.50)

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \overline{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3{,}429 + \sqrt{3{,}429^2 - 2{,}327^2}} = 0{,}168$$

Návrhová vzpěrná únosnost podle čl. 6.3.1.1(2), rov. (6.49)

$$N_{b,Rd,z} = \kappa \cdot \chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_o / \gamma_{M1} = 1{,}000 \cdot 0{,}168 \cdot 3134{,}1 \cdot 215 / 1{,}1 = 102982{,}3\,N = 102{,}98\,kN$$

Posuzovaná konstrukce nemá žádné svary. Pro hodnotu součinitele oslabení svařováním κ tak platí: $\kappa = 1{,}000$

Podmínka posouzení podle čl. 6.3.1.1(1), rov. (6.48)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{16}{102{,}98} = 0{,}155$$

Výsledné hodnoty výpočtu v modulu RF-ALUMINIUM

Moment setrvačnosti	I_z	2882920	mm^4		
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,z}$	4,000	m		
Pružná kritická síla	$N_{cr,z}$	124,48	kN		

Poměrný štíhlostní poměr	$\lambda_{bar,z}$	2,327		> 0,1	6.3.1.2(4)
Křivka vzpěrné pevnosti	KVP_z	A(1)			tab. 3.2b
Součinitel imperfekce	α_z	0,200			tab. 6.6
Pomocný součinitel	ϕ_z	3,429			rov. (6.51)
Součinitel vzpěrnosti	χ_z	0,168			rov. (6.50)

Vzpěr zkroucením k podélné ose (ose x-x)

Pružná kritická síla pro vzpěr zkroucením podle [1], přílohy I.3, rov. (I.16)

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2}\left[GI_t + \frac{\pi^2 E I_w}{L_T^2}\right]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{128,257^2}\left[27000 \cdot 87883,6 + \frac{\pi^2 70000 \cdot 60552000000}{4000^2}\right] = 303191,1N = 303,191kN$$

Poměrná štíhlost pro vzpěr zkroucením podle čl. 6.3.1.4(2), rov. (6.53)

$$\overline{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{3134,1 \cdot 215}{303191,1}} = 1,491$$

Omezení vodorovné části křivky vzpěrnosti, součinitel imperfekce a účinná plocha průřezu podle tabulky 6.7

Obecný tvar průřezu $\Rightarrow \overline{\lambda}_{T,0} = 0,400$ $\alpha_T = 0,350$ použít A_{eff}

Podle čl. 6.3.1.4(1), poznámky b) lze zanedbat možnost ztráty stability pro vzpěr zkroucením u dvouose symetrických I průřezů

$\Rightarrow$ Posouzení na vzpěr zkroucením se nevyžaduje.

Klopení

Pružný kritický moment při klopení

Pružný kritický moment pro klopení M_{cr} se stanoví podle [1], přílohy I.1 za předpokladu kloubového uložení bez zamezení deplanace.

Průřez je namáhán ve středu smyku. Místo působení příčných zatížení lze upravit v detailním nastavení (viz kapitola 3.1.2, strana 28).

Pro sloup s uložením na obou koncích bez zamezení deplanace lze použít součinitele vzpěrných délek podle [1], čl. I.1.1(2) (běžné podmínky uložení):

$k_y = 1,00$ $k_z = 1,00$ $k_w = 1,00$

Norma [1], čl. I.1.1(1) uvádí rovnici (I.1) ke stanovení pružného kritického momentu pro klopení nosníku s konstantním symetrickým průřezem se stejnými pásnicemi, za běžných podmínek uložení na obou koncích, který je namáhán rovnoměrným momentem v rovině procházející středem smyku.

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

$$M_{cr.0} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \frac{I_\omega}{I_z}} = \frac{\pi\sqrt{EI_z GI_t}}{L}\sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_t}}$$

$$M_{cr.0} = \frac{\pi\sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883{,}6}}{4000}\sqrt{1 + \frac{\pi^2\, 70000 \cdot 6.0552e+10}{4000^2 \cdot 27000 \cdot 87883{,}6}}$$

$$M_{cr.0} = 24916960\,\text{Nmm} = 24{,}916\,\text{kNm}$$

Nyní stanovíme pružný kritický moment pro klopení v souladu s kapitolami I.1.2 a I.1.3, který potřebujeme k výpočtu štíhlostí.

Hodnoty součinitelů $C_{1.0}$ a $C_{1.1}$ převezmeme z tabulky I.2 (řádek 1, rovnoměrné zatížení):

$C_{1.0} = 1{,}127 \qquad C_{1.1} = 1{,}132$

Pro stejné pásnice platí podle rov. (I.4b): $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0 \;\Rightarrow\; C_2 = 0{,}459$

Bezrozměrný parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 4000} \cdot \sqrt{\frac{70000 \cdot 6{,}0552e+10}{27000 \cdot 87883{,}6}} = 1{,}050$$

Součinitel C_1

$$C_1 = C_{1.0} + (C_{1.1} - C_{1.0})\kappa_{wt} \le C_{1.1}$$

$$C_1 = 1{,}127 + (1{,}132 - 1{,}127) \cdot 1{,}050 = 1{,}132$$

Poměrný bezrozměrný kritický moment při klopení pro dvouose symetrický průřez s příčným zatížením ve středu smyku ($z_j = 0$, $z_g = 0$) podle čl. I.1.3(2), rov. (I.8)

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1{,}132}{1{,}00} \cdot \sqrt{1 + 1{,}050^2} = 1{,}641$$

Pružný kritický moment pro klopení podle čl. I.1.2(2), rov. (I.2)

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi\sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1{,}641 \frac{\pi\sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883{,}6}}{4000}$$

$$M_{cr} = 28205999\,\text{Nmm} = 28{,}21\,\text{kNm}$$

Pružný kritický moment pro klopení, na jehož základě stanovíme hodnoty štíhlostí, lze určit také pomocí následující upravené rovnice:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \frac{I_\omega}{I_z}} = C_1 \frac{\pi\sqrt{EI_z GI_t}}{L}\sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_t}}$$

$$M_{cr} = 1{,}132 \frac{\pi\sqrt{70000 \cdot 288292 \cdot 27000 \cdot 87883{,}6}}{4000}\sqrt{1 + \frac{\pi^2\, 70000 \cdot 6{,}0552e+10}{4000^2 \cdot 27000 \cdot 87883{,}6}}$$

$$M_{cr} = 28205999\,\text{Nmm} = 28{,}21\,\text{kNm}$$

Program vypočítá také $M_{cr,0}$, jehož předpokladem je konstantní průběh momentu.

Poznámka: ve výsledcích po jednotlivých místech x se pro prostý ohyb k hlavní ose a pro sady prutů zobrazí také hodnoty $M_{cr,x}$ každého místa x. Jedná se přitom o pružné kritické momenty pro klopení na daných místech x vztažené ke kritickému mo-

mentu pro klopení na místě maximálního momentu. Z momentu $M_{cr,x}$ se pak vypočítá poměrná štíhlost při klopení $\overline{\lambda}_{LT}$.

Poměrná štíhlost při klopení

Výpočet probíhá podle čl. 6.3.2.3 nebo I.2 pro místo maximálního momentu x = 2,0 m.

IS 300/150/4/8, třída průřezu 3 pro ohyb k y-y: $W_y = W_{el,y} = 397511 mm^3$

Rovnice pro výpočet součinitele tvaru α podle tabulky 6.4.

$$\alpha_y = \frac{W_{el,y}}{W_{el,y}} = \frac{397511}{397511} = 1,000 \le 1,250$$

Poměrná štíhlost podle čl. 6.3.2.3(1), rov. (6.58)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{el,y} \cdot f_o}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 397511 \cdot 215}{28205999}} = 1,741$$

Součinitel klopení χ_{LT}

Výpočet se provede podle čl. 6.3.2.2.

Vzpěrnostní křivka závisí podle čl. 6.3.2.2(2) na třídě průřezu.

Třída pro M_y: 3 $\Rightarrow$ vzpěrnostní křivka „2“ $\Rightarrow$ $\overline{\lambda}_{0.LT} = 0,400$ $\alpha_{LT} = 0,200$

Pomocný součinitel podle č. 6.3.2.2(1), rov. (6.57)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{0,LT}\right) + \overline{\lambda}_{LT}^2\right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,2 \cdot \left(1,741 - 0,4\right) + 1,741^2\right] = 2,149$$

Součinitel klopení podle čl. 6.3.2.2(1), rov. (6.56)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,149 + \sqrt{2,149^2 - 1,741^2}} = 0,293$$

Návrhový moment únosnosti na klopení podle čl. 6.3.2.1(2), rov. (6.55)

$$M_{b.Rd} = \chi_{LT} \cdot \alpha_y \cdot W_{el,y} \cdot f_o / \gamma_{M1} = 0,293 \cdot 1,000 \cdot 397511 \cdot 215 / 1,100 = 22788229 Nmm$$

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Ohyb a osový tlak

Interakční součinitele ξ_{yc}, ξ_{zc}, η_c a γ_c

Exponenty v interakčních vztazích jsou uvedeny v čl. 6.3.3.1(1), rov. (6.61a) až (6.61e). Norma doporučuje standardní hodnoty, připouští ovšem také alternativy. V našem příkladu použijeme standardní hodnoty. γ_0 se uvádí v čl. 6.2.9.1(1), rov. (6.42b).

$\eta_c = 0{,}80 \qquad \xi_{yc} = 0{,}80 \qquad \xi_{zc} = 0{,}80 \qquad \gamma_c = \gamma_0 = 1{,}00$

Součinitele oslabení tepelně ovlivněnými oblastmi ω_0, ω_x a ω_{xLT}

V aktuální verzi programu se svary nezohledňují. Hodnota příslušných součinitelů se proto nastaví na 1,00 – jako u průřezů bez lokalizovaných svarů (viz čl. 6.2.9.1(1)). Bližší informace o těchto součinitelích najdeme ve čl. 6.3.3.3 až 6.3.3.5.

$\omega_0 = \omega_x = \omega_{x,LT} = 1{,}00$

Návrhové hodnoty únosnosti N_{Rd}, $M_{y,Rd}$, $M_{z,Rd}$

Návrhové hodnoty únosnosti se stanoví podle čl. 6.3.3.1(5) a 6.3.3.2(1).

$$N_{Rd} = \kappa \cdot A_{eff} \cdot f_o / \gamma_{M1} = 1{,}000 \cdot 3134{,}1 \cdot 215 / 1{,}100 = 612583\text{N} = 612{,}583\text{kN}$$

Rovnice pro výpočet součinitele tvaru α podle tabulky 6.4

$$\alpha_y = \frac{W_{el,y}}{W_{el,y}} = \frac{397511}{397511} = 1{,}000 \le 1{,}25 \qquad \alpha_z = \frac{73750}{73750} = 1{,}000 \le 1{,}25$$

Návrhový moment únosnosti k ose y

$$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{y,el} \cdot f_o / \gamma_{M1} = 1{,}000 \cdot 397511 \cdot 215 / 1{,}100 = 77695332\text{Nmm} = 77{,}695\text{kNm}$$

Návrhový moment únosnosti k ose z

$$M_{z,Rd} = \alpha_z \cdot W_{z,el} \cdot f_o / \gamma_{M1} = 1{,}000 \cdot 48049 \cdot 215 / 1{,}100 = 9391317\text{Nmm} = 9{,}391\text{kN}$$

Rovinný vzpěr podle [1], čl. 6.3.3.1

Interakce vzpěru k hlavní ose a ohybového momentu M_y

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \omega_{x,y} \cdot N_{Rd}} \right)^{\xi yc} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{y,Rd}} \le 1{,}00 \qquad \text{rov. (6.59)}$$

$$\left(\frac{16}{0{,}903 \cdot 1{,}00 \cdot 612{,}583} \right)^{0{,}8} + \frac{8}{1{,}00 \cdot 77{,}695} \le 1{,}00$$

$$0{,}059 + 0{,}103 = 0{,}162 \le 1{,}00$$

Interakce vzpěru k vedlejší ose a ohybového momentu M_z

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \omega_{x,z} \cdot N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{z,Rd}} \le 1{,}00 \qquad \text{rov. (6.60)}$$

$$\left(\frac{16}{0{,}168 \cdot 1{,}00 \cdot 612{,}583} \right)^{0.8} + \frac{2}{1{,}00 \cdot 9{,}391} \le 1{,}00$$

$$0{,}225 + 0{,}29 = 0{,}516 \le 1{,}00$$

Klopení podle [1], čl. 6.3.3.2

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \omega_{x,z} \cdot N_{Rd}}\right)^{\eta_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \omega_{xLT} \cdot M_{y,Rd}}\right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{z,Rd}}\right)^{\xi_{zc}} \le 1{,}00 \qquad \text{rov. (6.63)}$$

$$\left(\frac{16}{0{,}168 \cdot 1{,}00 \cdot 612{,}583}\right)^{0.8} + \left(\frac{8}{0{,}293 \cdot 1{,}00 \cdot 77{,}695}\right)^{1.0} + \left(\frac{2}{1{,}00 \cdot 9{,}391}\right)^{0.8} \le 1{,}00$$

$$0{,}225 + 0{,}351 + 0{,}29 = 0{,}867 \le 1{,}00$$

Poznámka: v rovnicích (6.59) a (6.60) pro rovinný vzpěr představují χ_y a χ_z součinitele vzpěrnosti pro vzpěr v rovině z-x, resp. y-x.

V rovnici (6.63) pro klopení představuje χ_z součinitel vzpěrnosti pro vybočení, při němž se jedna nebo obě pásnice příčně prohnou (vybočení v rovině x-y nebo klopení).

Výsledné hodnoty výpočtu v modulu RF-ALUMINIUM

Pružná kritická síla pro vzpěr zkroucením	$N_{cr,T}$	303,19	kN		rov. (I.16)
Modul pružnosti	E	7000,0	kN/cm^2		3.2.5(1)
Moment setrvačnosti	I_y	59626700	mm^4		
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,y}$	4000,0	mm		
Pružná kritická síla	$N_{cr,y}$	2574,65	kN		rov. (I.14)
Moment setrvačnosti	I_z	2882920	mm^4		
Vzpěrná délka prutu	$L_{cr,z}$	4000,0	mm		
Pružná kritická síla	$N_{cr,z}$	124,48	kN		rov. (I.15)
Poměrný štíhlostní poměr	$\lambda_{_z}$	2,327		$> \lambda_{_0}$	6.3.1.2(4)
Křivka vzpěrnosti	KVP_z	1			tab. 6.6
Součinitel imperfekce	α_z	0,200			tab. 6.6
Pomocný součinitel	ϕ_z	3,429			6.3.1.2(1)
Součinitel vzpěrnosti	χ_z	0,168			rov. (6.50)
Plocha průřezu	A	3800,0	mm^2		
Charakteristická hodnota smluvní meze	f_o	21,50	kN/cm^2		Tab. 3.2.1
Křivka vzpěrnosti	KV_{LT}	2			6.3.2.2(2)
Součinitel imperfekce	α_{LT}	0,200			6.3.2.2(2)
Smykový modul	G	2700,0	kN/cm^2		3.2.5(1)
Součinitel vzpěrné délky	k_z	1,000			
Součinitel vzpěrné délky	k_w	1,000			
Délka	L	4000,0	mm		
Výsečový moment setrvačnosti	I_w	6,0552E+10	mm^6		
Moment tuhosti v kroucení	I_t	87883,6	mm^4		
Pružný kritický moment při klopení	$M_{cr,0}$	24,92	kNm		

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.

Pružný kritický moment při klopení	M_{cr}	28,19	kNm		
Momentový součinitel	C_1	1,131			Výpočet vlastních čísel
Průřezový modul	W_y	397511	mm^3		
Poměrný štíhlostní poměr	λ_{LT}	1,741			6.3.2.3
Pomocný součinitel	ϕ_{LT}	2,150			6.3.2.2(1)
Součinitel vzpěrnosti	χ_{LT}	0,293			rov. (6.56)
Pružná kritická síla pro vzpěr zkroucením	$N_{cr,T}$	303,19	kN		rov. (I.16)
Osová síla (tlak)	N_{Ed}	16,00	kN		
Součinitel oslabení tepelně ovlivněnými oblastmi	$\omega_{x,y}$	1,000			6.3.3
Součinitel oslabení tepelně ovlivněnými oblastmi	$\omega_{x,z}$	1,000			
Exponent	ξ_{yc}	0,800			6.3.3
Exponent	ξ_{zc}	0,800			6.3.3
Součinitel oslabení tepelně ovlivněnými oblastmi	ω_0	1,000			6.2.9 nebo 6.3.3
Součinitel oslabení tepelně ovlivněnými oblastmi	ω_{xLT}	1,000			6.3.3
Exponent	ω_c	1,000			6.3.3
Exponent	η_c	0,800			6.3.3
Rozhodující průřezová plocha	A_{eff}	3134,15	mm^2		
Únosnost při působení normálové síly	N_{Rd}	612,58	kN		rov. (6.22)
Dílčí součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,100			tab. 6.1
Složka posouzení N	η_{Ny}	0,054		< 1	rov. (6.59)
Složka posouzení N	η_{Nz}	0,225		< 1	rov. (6.60)
Moment	$M_{y,Ed}$	8,00	kNm		
Moment	$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm		
Průřezový modul	W_y	397511	mm^3		
Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu	$M_{y,Rd}$	77,70	kNm		
Složka momentu	ηM_y	0,35		< 1	
Moment	$M_{z,Ed}$	2,00	kNm		
Moment	$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm		
Průřezový modul	W_z	48048,6	mm^3		
Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu	$M_{z,Rd}$	9,39	kNm		
Složka momentu	η_{Mz}	0,290		< 1	
Posouzení 1	η_1	0,157		< 1	rov. (6.59)
Posouzení 2	η_2	0,516		< 1	rov. (6.60)
Posouzení 3	η_3	0,867		< 1	rov. (6.63)
Posouzení	η	0,867		< 1	

A Literatura

[1] ČSN EN 1999-1-1: Navrhování hliníkových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro konstrukce, únor 2009

[2] EAA - European Aluminium Association TALAT Lectures: http://eaa.net/eaa/education/TALAT/index.htm

B Index

A

Alternativní hodnoty 27

C

Častá kombinace 11

Charakteristická kombinace 10

D

Databáze materiálů 13

Databáze průřezů 14, 15

Délka 18, 41

Délka náhradního prutu 18

Desetinná místa 12, 57

Detailní nastavení 27

Detaily výpočtu 27

Dialogy 8

E

Excel 58

Export 52, 57

Export materiálů 56

Export průřezů 54

F

Faktor nadvýšení 46

Faktor zvětšení 29

Filtrování prutů 49

Filtry 48

G

Graf výsledků 46

Grafika 44

Grafika na pozadí 44

H

Hmotnost 42

I

Informace o průřezu 15

Instalace 5

J

Jednotky 12, 57

K

Klopení 17, 21

Kloub na konci prutu 25

Kombinace zatěžovacích stavů 9, 10

Komentář 11

Kontrola symetrie 32

Kroucení 30

Kvazistálá kombinace 11

L

Listování v dialozích 8

M

Materiál 12

Materiálové charakteristiky 12

Měrná hmotnost 42

Mezilehlé podpory 17

Mezní deformace 31

Mezní hodnoty 9, 10, 11

Mezní namáhání 30

Místo x 36, 39

N

Náběh 15

Nadvýšení 26

Napěťový bod 16

Národní příloha 9, 11

Navigátor 8

Navigátor *Zobrazit* 45, 48

Návrhová kombinace 10

Návrhová situace 36

Návrhový případ 45, 52, 53

Nedeformovaná konstrukce 31

O

Objem 42

OpenOffice 58

Optimalizace 16, 32, 54

Optimalizace průřezů 54

Označení materiálu 12

P

Panel 7, 45, 48

Parametrizovaný průřez 54

Plnostěnný nosník 28

Plocha 42

Položka 41

Posouzení 9, 16, 35, 36

Posouzení deformace 26

Posouzení vícebarevně ... 48
Posunuté konce prutu ... 31
Použitelnost ... 10, 26, 31, 43
Poznámka ... 16
Pracovní okno RFEMu ... 44
Příčné mezilehlé podpory ... 17
Příčné zatížení ... 29
Prostorový vzpěr ... 30
Průběhy na prutech ... 46
Průběhy výsledků ... 46, 50
Průhyb ... 10
Průřez ... 14, 28
Pruty ... 9
Pružná analýza ... 27
Pružný kritický moment pro klopení ... 29

R

Referenční pruhy ... 43
Relativní zadání ... 17
Renderování ... 48
Režim prohlížení ... 43, 44
RF-STABILITY ... 20
Řídící panel ... 48

S

Sada prutů ... 9, 22, 25, 26, 29, 37, 40, 42
Seznam prutů ... 26
SHAPE-THIN ... 28
Skrytý průběh výsledků ... 48
Součet ... 42
Součinitel vzpěrné délky ... 19
Speciální případy ... 30
Spuštění modulu RF-ALUMINIUM ... 6
Spuštění výpočtu ... 33
Stabilitní analýza ... 17, 28
Štíhlost ... 30
Štíhlost prutů ... 32, 41
Stupnice barev ... 48
Svar ... 16, 28

T

Tabulky výsledků ... 35
Teorie druhého řádu ... 29
Tisk ... 50
Tisk zobrazení ... 50
Tlačítka ... 43
Tlakový prut ... 19
Typ nosníku ... 26

U

Úhelník ... 28
Únosnost ... 9, 27, 43
Uživatelský profil ... 57
Uzlová podpora ... 23

V

Vidlicové podepření ... 17, 21
Vizualizace ... 44
Vnitřní síly ... 39, 54
Vyhodnocení výsledků ... 43
Výkaz materiálu ... 41, 42
Výpočet ... 27
Výřez ... 48
Výsledné hodnoty ... 44
Výstupní protokol ... 50, 51
Využití ... 16, 36
Vyvolání programu ... 6
Vzdálenost x_s ... 30
Vzpěr ... 17, 19
Vzpěr k ose ... 19
Vzpěr zkroucením ... 30
Vzpěrná délka ... 18, 19
Vztažná délka ... 11

Z

Základní údaje ... 8
Zamezení deplanace ... 21
Zatěžovací stav ... 9, 10, 39
Zavření modulu RF-ALUMINIUM ... 8
Zobrazení v RFEMu ... 50
Zobrazení výsledků ... 45
Způsob zadání jako pro pruty ... 29

Program RF-ALUMINIUM © 2011 Ing. Software Dlubal s.r.o.