

**Vydání
březen 2014**

Přídavný modul

RF-CONCRETE Surfaces

**Návrh železobetonových
konstrukcí**

**Popis
programu**

Všechna práva včetně práv k překladu vyhrazena.

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

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

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

Obsah

	Obsah	Strana		Obsah	Strana
1.	Úvod	5	2.5.4	Průkaz betonových tlakových diagonál	61
1.1	Přídavný modul RF-CONCRETE Surfaces	5	2.5.5	Nutná podélná výztuž	63
1.2	Tým pro vývoj modulu RF-CONCRETE Surfaces	6	2.5.6	Posouzení na posouvající síly	64
1.3	Poznámka k příručce	7	2.5.7	Statically nutná podélná výztuž	66
1.4	Spuštění modulu RF-CONCRETE Surfaces	7	2.5.8	Minimální podélná výztuž	66
2.	Teoretické základy	9	2.5.9	Vkládaná výztuž	67
2.1	Typ modelu konstrukce	9	2.6	Použitelnost	69
2.2	Posouzení jednorozměrných a dvourozměrných prvků	10	2.6.1	Návrhové vnitřní síly	69
2.3	Stěny	13	2.6.2	Hlavní vnitřní síly	71
2.3.1	Návrhové vnitřní síly	13	2.6.3	Navržená výztuž	71
2.3.2	Dvousměrné výztužné sítě s $k > 0$	16	2.6.4	Posouzení mezního stavu použitelnosti	71
2.3.3	Dvousměrné výztužné sítě s $k < 0$	19	2.6.4.1	Vstupní údaje daného příkladu	71
2.3.4	Možné stavy namáhání	20	2.6.4.2	Kontrola hlavních vnitřních sil	72
2.3.5	Posouzení betonové tlakové diagonály	23	2.6.4.3	Nutná výztuž pro MSÚ	72
2.3.6	Výpočet nutné výztuže	23	2.6.4.4	Zadání výztuže	73
2.3.7	Pravidla pro výztuž	24	2.6.4.5	Kontrola návrhové výztuže pro MSP	74
2.4	Desky	27	2.6.4.6	Zvolení betonové tlakové diagonály	75
2.4.1	Návrhové vnitřní síly	27	2.6.4.7	Omezení napětí betonu v tlaku	76
2.4.2	Průkaz ztužujícího momentu	32	2.6.4.8	Omezení napětí v betonářské výztuži	79
2.4.3	Výpočet staticky nutné výztuže	34	2.6.4.9	Minimální výztuž pro omezení šířky trhlin	80
2.4.4	Posouzení na smyk	35	2.6.4.10	Kontrola průměru prutu	83
2.4.4.1	Únosnost ve smyku bez smykové výztuže	36	2.6.4.11	Posouzení vzdálenosti prutů	85
2.4.4.2	Únosnost ve smyku se smykovou výztuží	40	2.6.4.12	Posouzení šířky trhlin	86
2.4.4.3	Únosnost ve smyku betonové tlakové diagonály	42	2.6.5	Rozhodující namáhání	90
2.4.4.4	Příklad posouzení na smyk	42	2.7	Výpočet deformací v modulu RF-CONCRETE Deflect	91
2.4.5	Pravidla pro výztuž	44	2.7.1	Materiálové a geometrické předpoklady	91
2.5	Skořepiny	46	2.7.2	Návrhové vnitřní síly	91
2.5.1	Koncepce posouzení	46	2.7.3	Kritická strana	91
2.5.2	Rameno vnitřních sil	47	2.7.4	Průřezové hodnoty	91
2.5.3	Výpočet návrhových membránových sil	52	2.7.5	Zohlednění dlouhodobých účinků	92
2.5.3.1	Návrhové momenty	56	2.7.5.1	Dotvarování	92
2.5.3.2	Návrhové normálové síly	58	2.7.5.2	Smršťování	92
2.5.3.3	Rameno vnitřních sil	58	2.7.6	Rozdělovací součinitel	94
2.5.3.4	Membránové síly	59	2.7.7	Průřezové charakteristiky pro výpočet deformací	95
2.5.3.5	Návrhové membránové síly	60	2.7.8	Matice tuhosti materiálu D	96

Obsah

	Obsah	Strana		Obsah	Strana
2.7.9	Pozitivní definitnost matice tuhosti materiálu	96	3.3.2	Nelineární metoda posouzení	144
2.7.10	Příklad	97	3.4	Výztuž	148
2.7.10.1	Geometrie	97	3.4.1	Stupně výztuže	149
2.7.10.2	Materiály	97	3.4.2	Uspořádání výztuže	149
2.7.10.3	Výběr návrhových vnitřních sil	98	3.4.3	Podélná výztuž	153
2.7.10.4	Výpočet kritické strany	98	3.4.4	Norma	157
2.7.10.5	Průřezové hodnoty (stav bez trhlin a s trhlinami)	99	3.4.5	Návrhová metoda	159
2.7.10.6	Zohlednění smršťování	101	4.	Výpočet	160
2.7.10.7	Výpočet rozdělovacího součinitele	102	4.1	Detaily	160
2.7.10.8	Konečné průřezové hodnoty	103	4.2	Kontrola	163
2.7.10.9	Matice tuhosti materiálu	105	4.3	Spuštění výpočtu	163
2.8	Nelineární metoda posouzení	106	5.	Výsledky	165
2.8.1	Obecně	106	5.1	Nutná výztuž celkem	166
2.8.2	Rovnice a řešení přibližnými metodami	106	5.2	Nutná výztuž po plochách	168
2.8.2.1	Teoretické základy	106	5.3	Nutná výztuž po uzlech	169
2.8.2.2	Postupový diagram	108	5.4	Posouzení použitelnosti celkem	170
2.8.2.3	Metody řešení nelineárních rovnic	109	5.5	Posouzení použitelnosti po plochách	172
2.8.2.4	Kritéria konvergence	110	5.6	Posouzení použitelnosti po uzlech	173
2.8.3	Materiálové charakteristiky	112	5.7	Nelineární výpočet celkem	174
2.8.3.1	Beton v tlačené oblasti	112	5.8	Nelineární výpočet po plochách	175
2.8.3.2	Beton v tažené oblasti	112	5.9	Nelineární výpočet po uzlech	176
2.8.3.3	Zpevnění betonu v tažené oblasti	114	6.	Vyhodnocení výsledků	177
2.8.3.4	Betonářská ocel	118	6.1	Detaily návrhu	178
2.8.4	Dotvarování a smršťování	119	6.2	Výsledky na modelu v RFEMu	180
2.8.4.1	Zohlednění dotvarování	119	6.3	Filtrování výsledků	183
2.8.4.2	Zohlednění smršťování	122	6.4	Konfigurace panelu	186
3.	Vstupní data	126	7.	Výstup	188
3.1	Základní údaje	126	7.1	Výstupní protokol	188
3.1.1	Mezní stav únosnosti	129	7.2	Tisk zobrazení	189
3.1.2	Mezní stav použitelnosti	130	8.	Obecné funkce	191
3.1.2.1	Analytická metoda posouzení	131	8.1	Návrhové případy	191
3.1.2.2	Nelineární metoda posouzení	133	8.2	Jednotky a desetinná místa	193
3.1.3	Detaily	136	8.3	Export výsledků	194
3.2	Materiály	138	A	Literatura	197
3.3	Plochy	141	B	Index	198
3.3.1	Analytická metoda posouzení	141			

1. Úvod

1.1 Přídavný modul RF-CONCRETE Surfaces

Přestože se železobeton používá v plošných nosných konstrukcích přinejmenším tak často jako v případě prutových konstrukcí, najdeme v normách a literatuře jen velmi málo pokynů k posouzení dvourozměrných konstrukčních prvků. To platí především pro posouzení skořepin, pro něž je typické namáhání současně momentem a normálovou silou. Vzhledem k tomu, že díky metodě konečných prvků se podařilo vytvořit velmi reálný model plošných konstrukcí, bylo třeba ještě nalézt předpoklady pro posouzení a algoritmy, které by vyplnily existující mezeru v předpisech zaměřených na běžné prutové konstrukce a které by byly vhodné pro počítačem generované vnitřní síly plošných konstrukcí.

Naše firma DLUBAL SOFTWARE S.R.O. se touto problematikou dlouhodobě zabývá, a přichází tak s modulem RF-CONCRETE Surfaces. Na základě podmínek kompatibility, které v roce 1972 definoval THEODOR BAUMANN, jsme vyvinuli konzistentní algoritmus pro dimenzování dvou- a trojrozměrných výztuží. Tento modul nemá ovšem sloužit čistě jen k výpočtům staticky nutné výztuže, ale byly do něj zapracovány veškeré předpisy týkající se přípustných maximálních a minimálních stupňů vyztužení pro různé typy prvků (desky 2D, skořepiny 3D, stěny, stěnové nosníky), které lze najít v jednotlivých normách.

Vedle dimenzování výztužné oceli je důraz kladen i na to, aby byla vždy vybrána betonová deska s dostatečnou tloušťkou, která bude plně vyhovovat stávajícímu namáhání ohybem a posouvající silou.

Kromě výpočtu výztuže pro mezní stav únosnosti lze posoudit konstrukci také z hlediska mezního stavu použitelnosti. Tato posouzení zahrnují omezení napětí betonu v tlaku a napětí v betonářské výztuži, minimální výztuž pro omezení šířky trhlin a také omezení šířky trhlin omezením průměru prutu a vzdálenosti výztužných prutů. Posouzení můžeme přitom provést analytickou či nelineární metodou.

Pokud uživatel vlastní navíc licenci k modulu **RF-CONCRETE Deflect**, může v programu RF-CONCRETE Surfaces spočítat analytickou metodou deformace se zohledněním vlivu dotvarování, smršťování a tahového zpevnění betonu.

Licence k přídavnému modulu **RF-CONCRETE NL** dává uživateli možnost zohlednit v programu RF-CONCRETE Surfaces vliv dotvarování a smršťování při výpočtu deformací, šířky trhlin a napětí nelineární metodou.

Posouzení lze provést podle některé z následujících norem:

- EN 1992-1-1:2004/AC:2010
- DIN 1045-1:2008-08 (příp. DIN 1045: 1988-07)
- ACI 318-11
- SIA 262:2003
- GB 50010-2010

Na obrázku vlevo můžeme vidět národní přílohy normy EN 1992-1-1, které byly dosud do modulu RF-CONCRETE Surfaces zapracovány.

V souladu s filozofií naší firmy Dlupal, která vždy usiluje o to, aby výsledky byly v programech transparentní a snadno dohledatelné, je posouzení v modulu vždy detailně popsáno a pokaždé se přehledně zobrazí i kompletní mezivýsledky.

Pokud budete mít k našemu programu připomínky nebo podněty, neváhejte a obraťte se na nás. Přejeme Vám hodně úspěchů a zábavy při práci s programem RF-CONCRETE Surfaces.

Vaše společnost DLUBAL Software s.r.o.

CEN	EU
BDS	Bulharsko
BS	Spojené Království
CYS	Kypr
DIN	Německo
DK	Dánsko
LST	Litva
LVS	Lotyšsko
MS	Malajsie
NBN	Belgie
NEN	Nizozemsko
NF	Francie
NP	Portugalsko
PN	Polsko
SFS	Finsko
SingaporeS	Singapur
SIST	Slovensko
SR	Rumunsko
STN	Slovensko
SvenskS	Švédsko
UNE	Španělsko
UNI	Itálie
CSN	Česká republika
ÖNORM	Rakousko
CEB*	EU (kopiert)

Národní přílohy EN 1992-1-1

1.2 Tým pro vývoj modulu RF-CONCRETE Surfaces

Na vývoji modulu RF-CONCRETE Surfaces se podíleli:

Koordinátoři programu

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Ing. Jan Fráňa

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem

Programátoři

Ing. Michal Balvon
Jaroslav Bartoš
Ing. Ladislav Ivančo

Ing. Pavel Gruber
Ing. Alexandr Průcha
Ing. Lukáš Weis

Design programu, dialogů a ikon

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
MgA. Robert Kolouch

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Ing. Jan Milěř

Vývoj programu a testování

Ing. Jan Fráňa
Ing. Pavel Gruber
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer

Ing. Bohdan Šmíd
Ing. Jana Vlachová

Lokalizace programu a manuály

Ing. Fabio Borriello
Ing. Dmitry Bystrov
Eng.º Rafael Duarte
Ing. Jana Duníková
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Ing. Lara Caballero Freyer
Ing. Alessandra Grosso
BSc Eng Chelsea Prokop
Jan Jeřábek
Ing. Ladislav Kábrt
Ing. Aleksandra Kociołek
Ing. Roberto Lombino

Eng.º Nilton Lopes Fernandes
Mgr. Ing. Hana Macková
Ing. Téc. José Martínez Hernández
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
MA SKT Anton Mitleider
Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker
Mgr. Petra Pokorná
Ing. Michaela Prokopová
Ing. Bohdan Šmíd
Ing. Marcela Svitáková
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Ing. Marcin Wardyn

Technická podpora

M.Eng. Cosme Asseya
Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel
Dipl.-Ing. Moritz Bertram
M.Sc. Sonja von Bloh
Dipl.-Ing. (FH) Steffen Clauß
Dipl.-Ing. Frank Faulstich
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Frenzel
Dipl.-Ing. (FH) Walter Fröhlich
Dipl.-Ing. Wieland Götzler
Dipl.-Ing. (FH) Paul Kieloch

Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Lex
Dipl.-Ing. (BA) Sandy Matula
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
M.Eng. Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Rehm
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Lukas Sühnel
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 přídatným modulem.



Při popisu modulu RF-CONCRETE Surfaces vycházíme z pořadí a struktury dialogů se vstupními a výstupními daty. V textu uvádíme popisované **ikony** (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [Details...]. Tlačítka jsou zároveň zobrazena na levém okraji. **Názvy** dialogů, tabulek a jednotlivých nabídek jsou pak v textu pro přehlednost vyznačeny *kurzivou*.

Na závěr příručky připojujeme také index pro rychlé vyhledání určitých 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*.

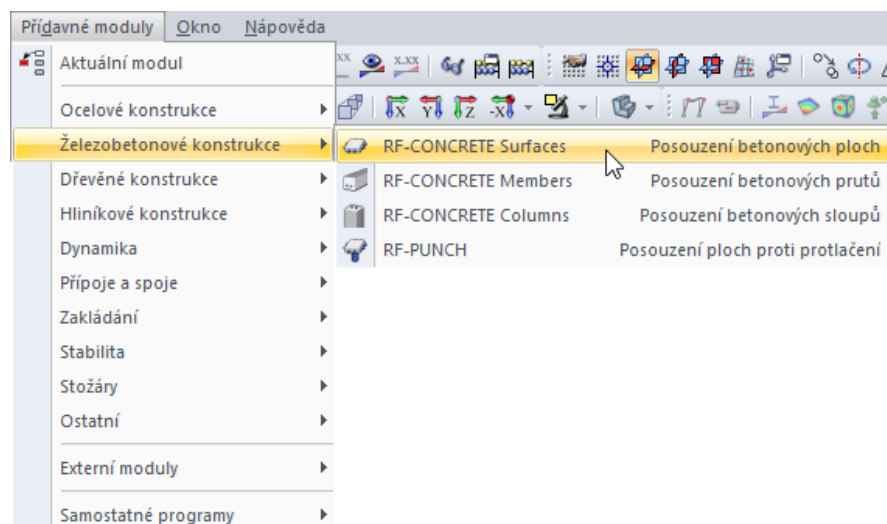
1.4 Spuštění modulu RF-CONCRETE Surfaces

Přídatný modul RF-CONCRETE Surfaces lze v RFEMu spustit několika způsoby.

Hlavní nabídka

Modul RF-CONCRETE Surfaces můžeme vyvolat příkazem z hlavní nabídky programu RFEM

Přídatné moduly → **Železobetonové konstrukce** → **RF-CONCRETE Surfaces**.

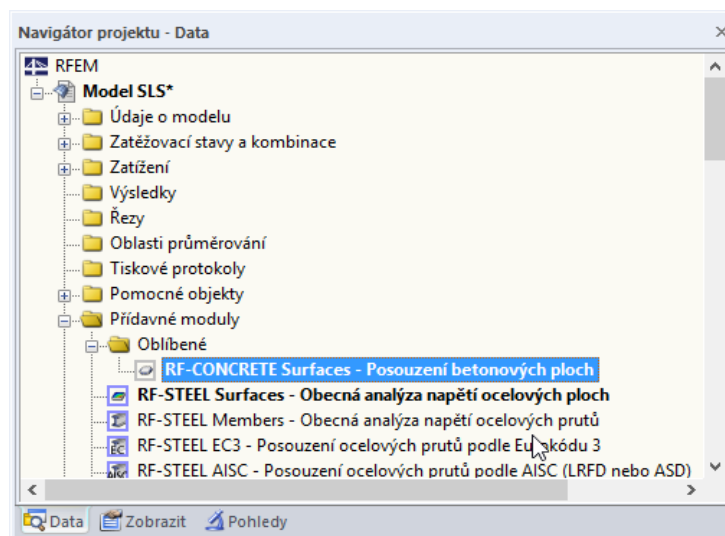


Obr. 1.1: Hlavní nabídka: *Přídatné moduly* → *Železobetonové konstrukce* → *RF-CONCRETE Surfaces*

Navigátor

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

Přidavné moduly → **RF-CONCRETE Surfaces**.



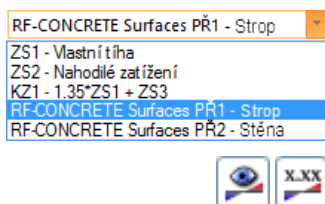
Obr. 1.2: Navigátor Data: Přidavné moduly → RF-CONCRETE Surfaces

Panel

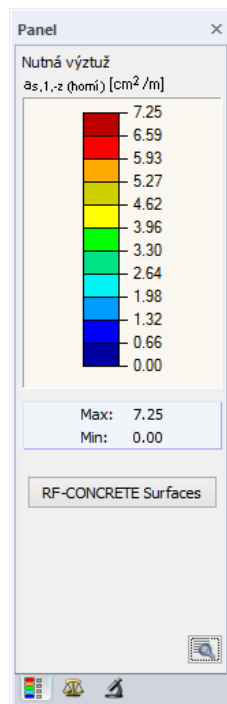
Pokud jsou v určitém modelu konstrukce v RFEMu již k dispozici výsledky z modulu RF-CONCRETE Surfaces, pak lze daný případ z tohoto modulu nastavit v seznamu zatěžovacích stavů.

Pomocí tlačítka [Zobrazit výsledky] se v grafickém okně zobrazí výztuže.

V panelu se nyní zobrazí tlačítko [RF-CONCRETE Surfaces], kterým lze modul pro posouzení betonových ploch spustit.



RF-CONCRETE Surfaces

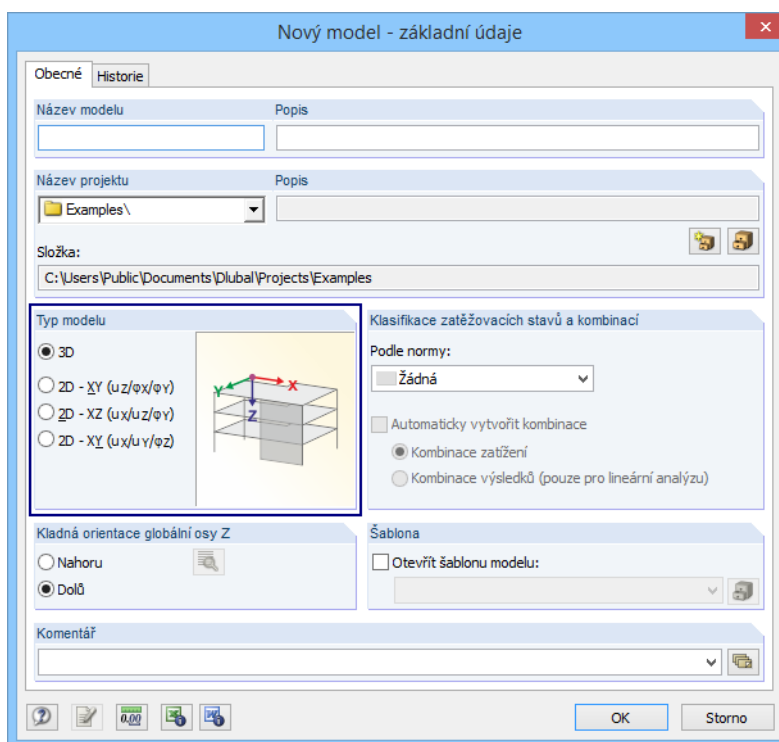


Obr. 1.3: Panel: Tlačítko [RF-CONCRETE Surfaces]

2. Teoretické základy

2.1 Typ modelu konstrukce

Rozhodující vliv na to, jaké namáhání bude na určitý stavební dílec působit, má výběr *typu modelu* při vytvoření nové úlohy.



Obr. 2.1: Dialog *Nový model - základní údaje*, sekce *Typ modelu*

Pokud zvolíme typ modelu $2D - XY$ ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$), pak se jedná o dílec namáhaný výlučně ohybem. Vnitřními silami, pro které se posouzení provede, jsou pak výhradně momenty, jejichž vektory leží v rovině desky.

Pokud ovšem vybereme možnost $2D - XZ$ ($u_x/u_z/\varphi_y$) nebo $2D - XY$ ($u_x/u_y/\varphi_z$), jedná se výlučně o stavební dílec namáhaný tlakem, resp. tahem v rovině dílce. Vnitřními silami, pro které se posouzení provede, jsou pak výhradně normálové síly, jejichž vektory leží v rovině stěny.

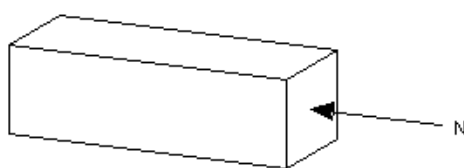
Typ modelu, který spojuje oba typy namáhání, čili momenty i normálové síly, je označen zkratkou $3D$. Takový stavební dílec může být namáhan současně tahem, resp. tlakem a ohybem. Vnitřními silami, pro které se posouzení provede, jsou pak jak normálové síly tak momenty, jejichž vektory leží v rovině stavebního dílce.

2.2 Posouzení jednorozměrných a dvourozměrných prvků

Při posuzování únosnosti železobetonového stavebního dílce, ať plochy či prutu, se vždy hledá rovnováha mezi působícími vnitřními silami a vnitřními silami, které je deformovaný dílec schopen přenášet. To platí tedy jak pro posuzování únosnosti jednorozměrných prvků (prutů) tak prvků dvourozměrných (ploch), jeden podstatný rozdíl ovšem existuje:

Jednorozměrný prvek (prut)

U prutu lze proti směru působících vnitřních sil vždy postavit vnitřní síly, které je prut schopen přenést a které se vypočítají z návrhových pevností materiálu. Představit si přitom lze například prut dostředně namáhaný tlakovou silou N .

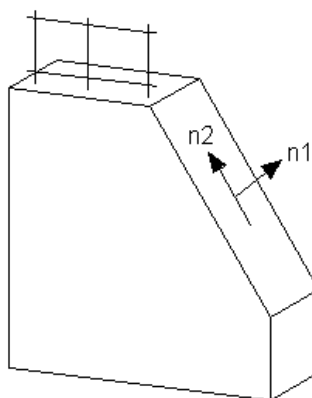


Obr. 2.2: Posouzení prutu

Na základě rozměrů prvku a návrhové hodnoty pevnosti betonu v tlaku lze přípustnou tlakovou sílu snadno spočítat. Pokud je menší než působící tlaková síla, pak lze stanovit nutný průřez tlakové výztuže s ohledem na dané přetvoření oceli při přípustném stlačení betonu.

Dvourozměrný prvek (plocha)

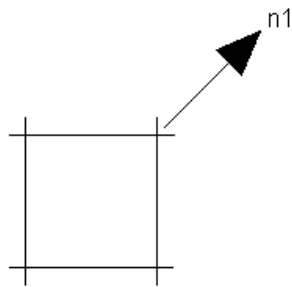
V případě plochy lze jen ve výjimečných případech (výtuž po trajektorii) postavit přímo proti směru působících vnitřních sil vnitřní síly, které plocha může přenášet. Představme si například ortogonálně vyztuženou stěnu, na kterou působí obě hlavní normálové síly n_1 a n_2 , jejichž směr se zpravidla neshoduje se směry výtuže.



Obr. 2.3: Posouzení stěny

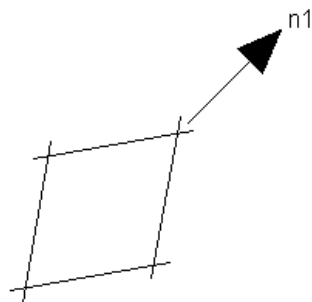
Z toho je zřejmé, že při dimenzování výtuže ve výtužné síti nelze uplatnit stejný postup jako při stanovení výtuže prutu. Vycházet je tu třeba z vnitřních sil, které působí v jednotlivých směrech výtužné sítě. Tyto vnitřní síly se označují jako **návrhové vnitřní síly**.

Nejnázornější představu o tom si vytvoříme, pokud budeme pozorovat oko výtužné sítě při zatížení. Druhá hlavní normálová síla n_2 bude pro zjednodušení nulová.



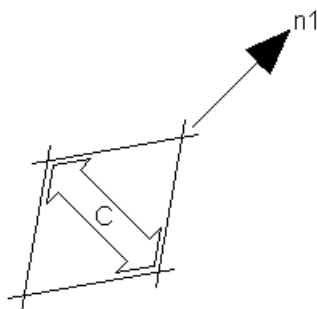
Obr. 2.4: Oko výztužné sítě při zatížení

Při uvedeném zatížení se výztužná síť zdeformuje následovně:



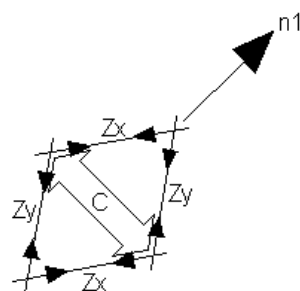
Obr. 2.5: Deformace oka výztužné sítě

Velikost deformace bude omezena betonovou tlakovou diagonálou uvnitř oka výztužné sítě.



Obr. 2.6: Vytvoření betonové tlakové diagonály

Betonová tlaková diagonála aktivuje tahové síly ve výztuži.



Obr. 2.7: Tahové síly ve výztuži

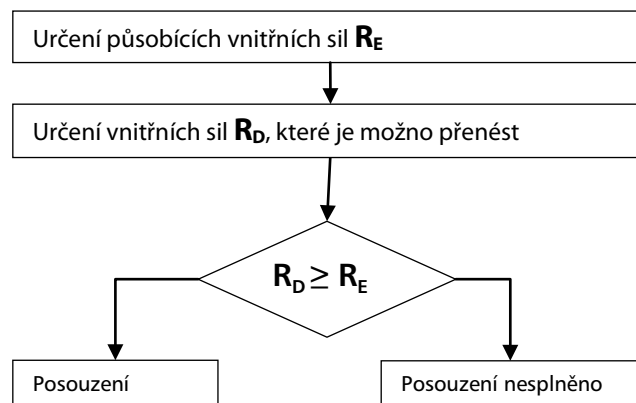
Tyto tahové síly ve výztuži a tlaková síla v betonu představují návrhové vnitřní síly.

Po určení návrhových vnitřních sil může posouzení proběhnout stejně jako posouzení jednorozměrných prvků.

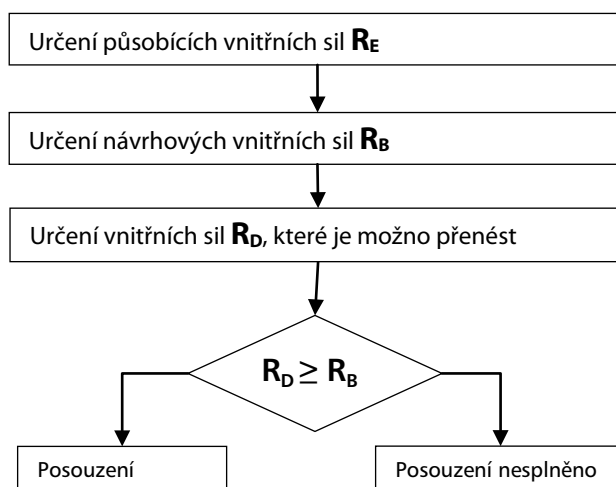
Transformace působících vnitřních sil (hlavních vnitřních sil) do návrhových vnitřních sil, jejichž směr umožňuje dimenzovat výztuž a ověřit únosnost betonu, je tak hlavním charakteristickým rysem posouzení dvourozměrných prvků.

Následující obrázek ještě jednou znázorňuje podstatný rozdíl mezi posouzením jednorozměrných a dvourozměrných prvků.

Jednorozměrný prvek



Dvourozměrný prvek

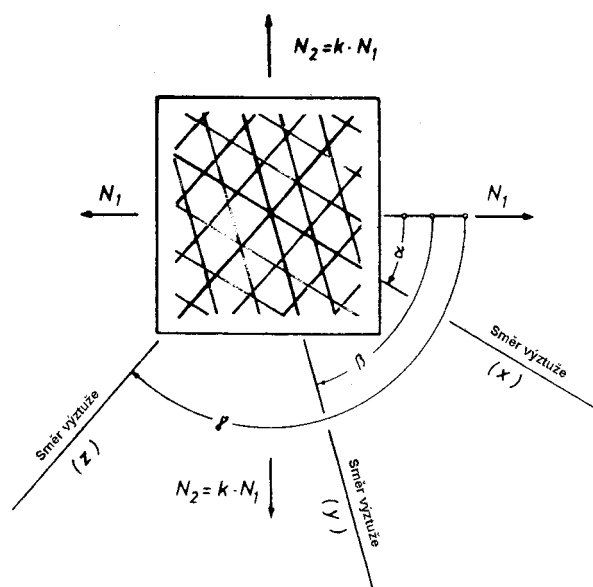


2.3 Stěny

2.3.1 Návrhové vnitřní síly

Návrhové vnitřní síly se stanoví metodou transformace THEODORA BAUMANNA [1]. Rovnice k určení návrhových vnitřních sil jsou tu odvozeny pro obecný případ libovolně orientované trojsměrné výztuže. Lze ji ale také použít v jednodušších případech, např. v případě ortogonální dvousměrné výztužné sítě.

Ve své dizertační práci z roku 1972 sleduje THEODOR BAUMANN podmínky rovnováhy na následujícím stěnovém prvku.



Obr. 2.8: Stanovení podmínek rovnováhy podle BAUMANNA

Obr. 2.8 znázorňuje pravoúhlý výřez stěny. Stěna je namáhána hlavními normálovými silami N_1 a N_2 . Jedná se o síly tahové. Hlavní normálovou silou N_2 lze pomocí faktoru k vyjádřit jako několiknásobek hlavní normálové síly N_1 .

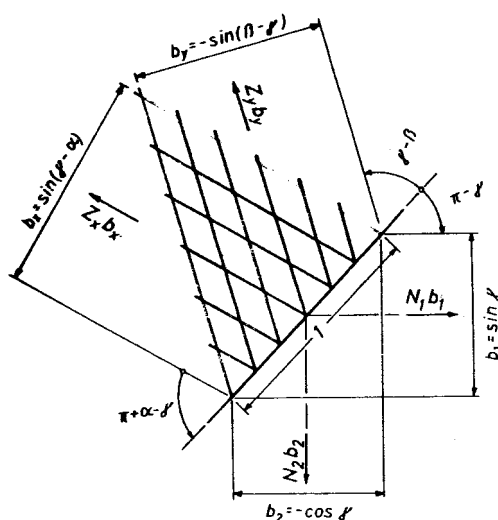
$$N_2 = k \cdot N_1$$

Rovnice 2.1

Do stěny byly vloženy tři paprsky výztuže, které označíme jako x , y a z . Úhel mezi první hlavní normálovou silou N_1 a směrem paprsku výztuže x ve směru hodinových ručiček označíme jako α . Úhel mezi první hlavní normálovou silou N_1 a paprskem výztuže y je úhel β . Úhel γ pak svírá hlavní normálová síla N_1 a zbývající paprsek výztuže z .

Ve své práci BAUMANN píše: „Při zanedbání smykových, resp. tahových namáhání v betonu lze tedy vnější namáhání (N_1 , $N_2 = k \cdot N_1$) stěnového prvku přenést v obecném případě třemi libovolně orientovanými vnitřními silami. Máme-li trojsměrnou výztužnou síť, odpovídají tyto síly stávajícím třem paprskům výztuže (x), (y) a (z), které s větší hlavní tahovou silou N_1 svírají úhly α , β , γ , a jsou označeny Z_x , Z_y , Z_z (jedná se o tahové, tudíž kladné síly).“

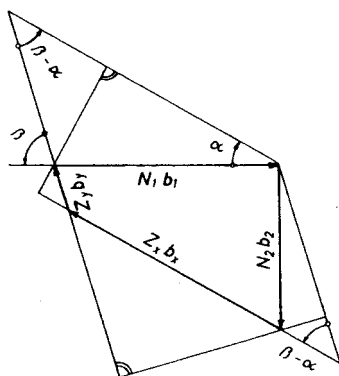
Pro stanovení těchto sil Z_x , Z_y , a případně Z_z pro třetí směr výztuže se nejdříve vytvoří řez rovnoběžně s třetím paprskem výztuže.



Obr. 2.9: Řez rovnoběžně s třetím paprskem výztuže z

Délka řezu má hodnotu 1. Tato délka řezu se následně promítne svisle ke každé příslušné síle. V případě vnějších sil tak vznikají promítnuté délky řezu b_1 (svisle k síle N_1) a b_2 (svisle k síle N_2). V případě tahových sil ve výztuži se jedná o promítnuté délky řezu b_x (svisle k tahové síle Z_x) a b_y (svisle k tahové síle Z_y).

Součinem každé jednotlivé síly a příslušné promítnuté délky řezu získáme sílu, na jejímž základě pak lze stanovit rovnováhu sil.



Obr. 2.10: Rovnováha sil v řezu rovnoběžně s výztuží ve směru z

Rovnováhu mezi vnějšími silami (N_1, N_2) a vnitřními silami (Z_x, Z_y) lze pak vyjádřit následovně:

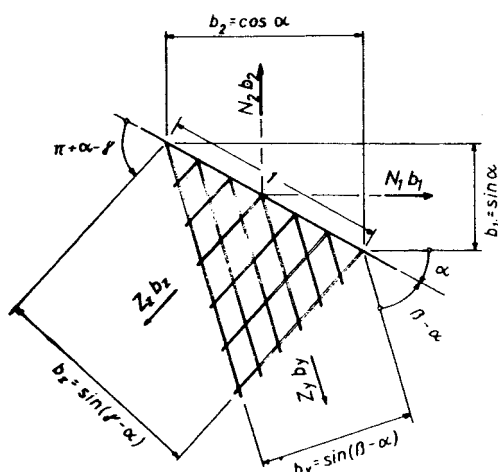
$$Z_x \cdot b_x = \frac{1}{\sin(\beta - \alpha)} \cdot (N_1 \cdot b_1 \cdot \sin\beta - N_2 \cdot b_2 \cdot \cos\beta)$$

Rovnice 2.2

$$Z_y \cdot b_y = \frac{1}{\sin(\beta - \alpha)} \cdot (-N_1 \cdot b_1 \cdot \sin\alpha - N_2 \cdot b_2 \cdot \cos\alpha)$$

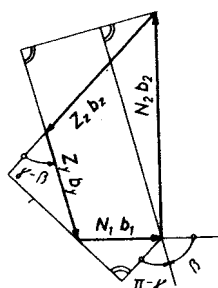
Rovnice 2.3

Ke stanovení rovnováhy mezi vnějšími silami (N_1, N_2) a vnitřní silou Z_z ve zbývajícím směru výztuže z se provede řez rovnoběžně s paprskem výztuže ve směru x.



Obr. 2.11: Řez rovnoběžně s paprskem výztuže ve směru x

Graficky lze znázornit rovnováhu následovně:



Obr. 2.12: Rovnováha sil v řezu rovnoběžně s výztuží ve směru x

Rovnováhu mezi vnějšími silami (N_1 , N_2) a vnitřními silami Z_z lze pak vyjádřit takto:

$$Z_z \cdot b_z = \frac{1}{\sin(\beta - \gamma)} \cdot (N_1 \cdot b_1 \cdot \sin\beta + N_2 \cdot b_2 \cdot \cos\beta)$$

Rovnice 2.4

Pokud nyní za hodnoty promítnutých délek řezu b_1 , b_2 , b_x , b_y , b_z dosadíme hodnoty uvedené v obrázku a použijeme k jako podíl hlavní normálové síly N_2 a síly N_1 , pak můžeme formulovat následující rovnice:

$$\frac{Z_x}{N_1} = \frac{\sin\beta \cdot \sin\gamma + k \cdot \cos\beta \cdot \cos\gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.5

$$\frac{Z_y}{N_1} = \frac{\sin\alpha \cdot \sin\gamma + k \cdot \cos\alpha \cdot \cos\gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)}$$

Rovnice 2.6

$$\frac{Z_z}{N_1} = \frac{-\sin\alpha \cdot \sin\beta - k \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.7

Tyto rovnice jsou základem algoritmu pro posouzení v modulu RF-CONCRETE Surfaces, protože pomocí těchto rovnic lze z působících vnitřních sil N_1 a N_2 vypočítat návrhové vnitřní síly Z_x , Z_y a Z_z pro jednotlivé směry výztuže.

Součtem rovnice 2.5, rovnice 2.6 a rovnice 2.7 získáme:

$$\frac{Z_x}{N_1} + \frac{Z_y}{N_1} + \frac{Z_z}{N_1} = 1+k$$

Rovnice 2.8

Pokud vynásobíme rovnici 2.8 silou N_1 a dosadíme N_2 / N_1 za faktor k , pak dostaneme následující rovnici, která ještě srozumitelněji vyjadřuje rovnováhu vnitřních a vnějších sil.

$$Z_x + Z_y + Z_z = N_1 + N_2$$

Rovnice 2.9

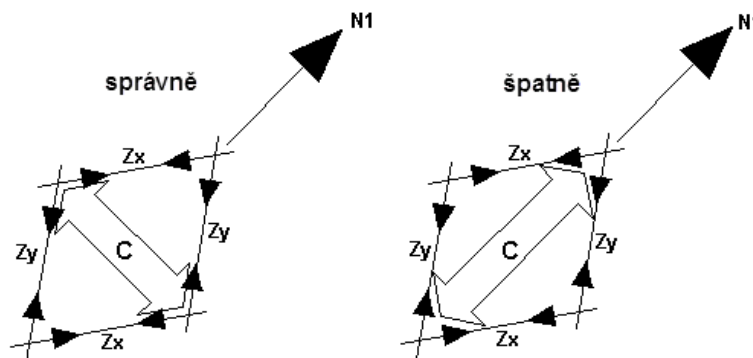
2.3.2 Dvousměrné výztužné sítě s $k > 0$

V případě dvousměrné výztuže namáhané dvěma kladnými hlavními normálovými silami N_1 a N_2 je třeba směr betonové tlakové diagonály zvolit následovně:

$$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$$

Rovnice 2.10

V podstatě existují dvě možnosti, jak vést tlakovou diagonálu přesně uprostřed mezi dvěma křížícími se směry výztuže.



Obr. 2.13: Správné a nesprávné umístění ztužující betonové tlakové diagonály

Zatímco na obrázku vlevo ztužující betonová tlaková diagonála půlí tupý úhel mezi křížícími se směry výztuže, na obrázku vpravo půlí úhel ostrý. Vlevo skutečně ztužuje výztužnou síť požadovaným způsobem, zatímco pokud nastane případ znázorněný na obrázku vpravo, může se výztužná síť libovolně zdeformovat silou N_1 .

Abychom se ujistili, že tlaková diagonála půlí správný úhel, spočítají se návrhové síly Z_x , Z_y a Z_z pomocí rovnice 2.5, rovnice 2.6 a rovnice 2.7 pro obě z geometrického hlediska možné polohy tlakové diagonály. Pokud je směr tlakové diagonály chybný, vzniká tahová síla.

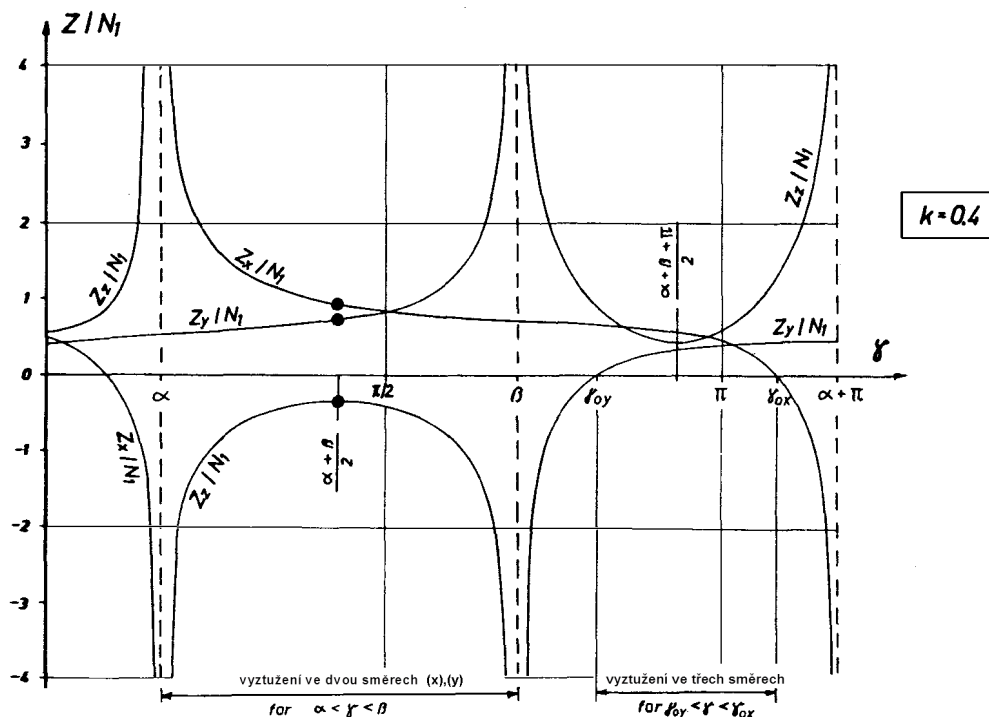
Prověřují se tak následující směry betonové tlakové diagonály:

$$\gamma_{1a} = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad \text{a} \quad \gamma_{1b} = \frac{\alpha + \beta}{2} + 90^\circ$$

Rovnice 2.11

Pro rozlišení obou ověřovaných směrů má jednoduchý aritmetický průměr index „1a“ a směr tlakové diagonály pootočené o 90° index „1b“.

Jak je patrné z následujícího grafu, pro rovnováhu sil vychází v obou směrech výztuže tahová síla a pro zvolený směr tlakové diagonály síla tlaková.



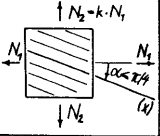
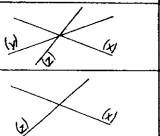
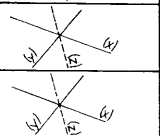

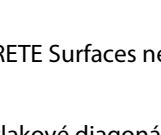
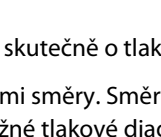

Obr. 2.14: Dvousměrná výztuž při čistě tahovém namáhání

V BAUMANNOVÉ analýzách [1] se předpokládají určité rozsahy hodnot pro dané úhly. Úhel α (mezi hlavní normálovou silou N_1 a nejbližším směrem výztuže) má mít hodnotu mezi 0 a $\pi/4$. Úhel β musí být větší než $\alpha + \pi/2$.

BAUMANN [1] předkládá tabulku IV s možnými stavy rovnováhy (viz obr. 2.15). V řádcích 1 až 4 této tabulky najdeme možné stavy rovnováhy pro stěny namáhané výlučně tahem. Řádek 4 představuje stav rovnováhy se dvěma směry výztuže namáhanými tahem a s jednou tlakovou diagonálou. Řádky 5 až 7 se týkají stěn, na které působí hlavní normálové síly s různými znaménky.

Tabulka IV:

Příslušný výběr úhlu β a γ pro daný směr $0 < \alpha < \pi/4$ směru výztuže (x)

Řada	Poměr $k = N_2/N_1$ vnitřních sil	Počet požadovaných směrů výztuže	Směr β výztuže (y)	Směr γ směru Z_z	Tahové sily (přenašené výztuží) ve směru	Tahové sily (přenašené betonem) ve směru	Rozdělení výztuže 1)	Řada
1	$0 < k < 1$	3	$\alpha < \beta < \delta_{oy}$	$\delta_{oy} < \gamma < \delta_{ox}$	(x), (y), (z)	-		1
2			$\delta_{oy} < \beta < \pi$	$\delta_{ox} < \gamma < \delta_{oy}$	(x), (y), (z)	-		2
3		2	—	$\gamma = \delta_{oy}$	(x), (z)	-		3
4			$\alpha + \pi/2 < \beta < \delta_{oy}$	$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$	(x), (y)	(z)		4
5	$-t_g^2 \alpha \leq k \leq 0$	2	$\alpha + \pi/2 < \beta < \pi - \alpha$	$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$	(x), (y)	(z)		5
6	$k < -t_g^2 \alpha$	2	$\alpha + \pi/2 < \beta < \pi - \alpha$	$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$	(x), (y)	(z)		6
7			—	$\gamma = \delta_{oy}$	(x)	(z)		7

1) Směry výztuže jsou naznačeny souvislými liniemi, tlakové sily v betonu tečkovanými liniemi.

Obr. 2.15: Možné stavy rovnováhy podle literatury [1]

V druhém sloupci této tabulky se definuje rozsah hodnot zatížení.

Ve třetím sloupci je uvedeno, v kolika směrech výztuže vzniká pro tento stav rovnováhy tahová síla.

Čtvrtý sloupec (β) uvádí rozsah hodnot směru výztuže β . V RF-CONCRETE Surfaces není k dispozici, ale vyplývá ze směrů výztuže zadaných ve vstupních datech.

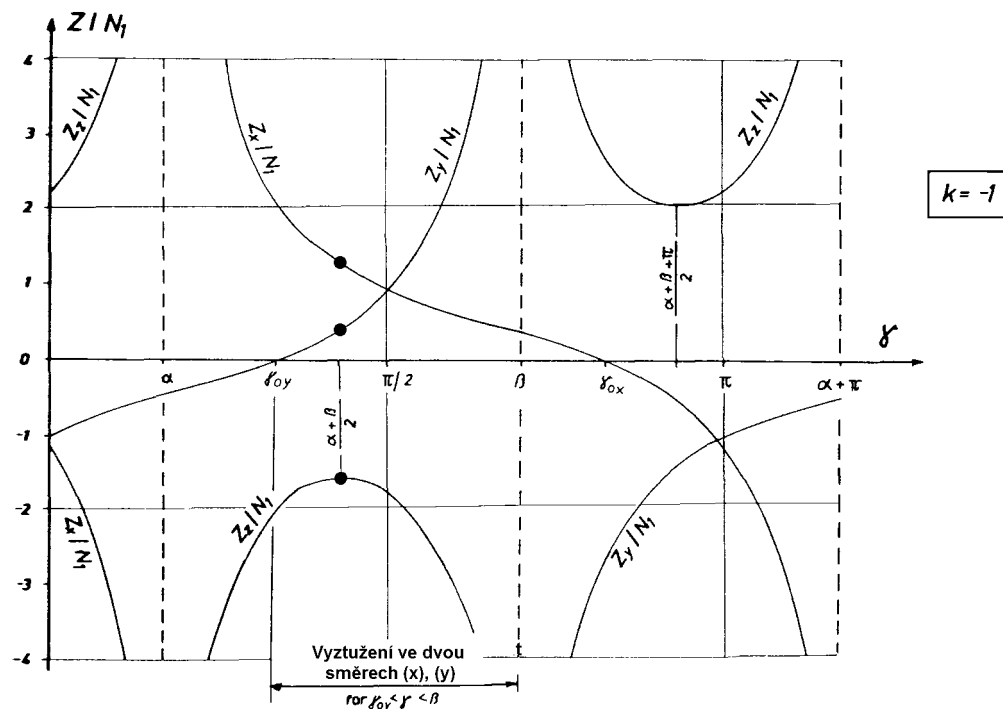
Pátý sloupec (γ) udává směr vnitřní síly Z_z . Jedná se většinou o směr tlakové diagonály, kterou určí sám program, může jím být ovšem i třetí směr výztuže, který zadal sám uživatel a který je skutečně tažen.

V sedmém sloupci je uvedeno, zda se v případě síly ve směru γ jedná skutečně o tlakovou sílu.

V předposledním sloupci se znázorní potřebné vnitřní síly s příslušnými směry. Směry výztuže namáhané tahovou silou se přitom vyznačí plnou čarou, zatímco možné tlakové diagonály čarou přerušovanou.

2.3.3 Dvousměrné výztužné sítě s $k < 0$

Pokud na dvousměrnou výztužnou síť působí hlavní normálové síly N_1 a N_2 s rozdílnými znaménky, pak je rovnováha sil dána tahovou silou v obou směrech výztuže a tlakovou silou ve zvoleném směru tlakové diagonály.



Obr. 2.16: Dvousměrná výztuž při namáhání tlakem i tahem

Příklady pro tento možný stav rovnováhy najdeme v tabulce IV (obr. 2.15) v řádcích 5 a 6.

V případě stěny namáhané jak tahem tak tlakem se může ovšem stát, že pro zvolený směr betonové tlakové diagonály (aritmetický průměr obou směrů výztuže) vychází tlaková diagonála podle očekávání ve směru γ a další ve směru β . Tento případ nastává, když se aritmetický průměr nachází ve výše znázorněném diagramu nalevo od místa, kde průběh sil Z_y prochází nulou. Tento typ rovnováhy není ovšem možný. Spočítá se výztuž konjugovaného směru, tj. pro směr tlakové diagonály γ se použije hodnota γ_{oy} .

$$\tan \gamma_{oy} = -k \cdot \cot \alpha$$

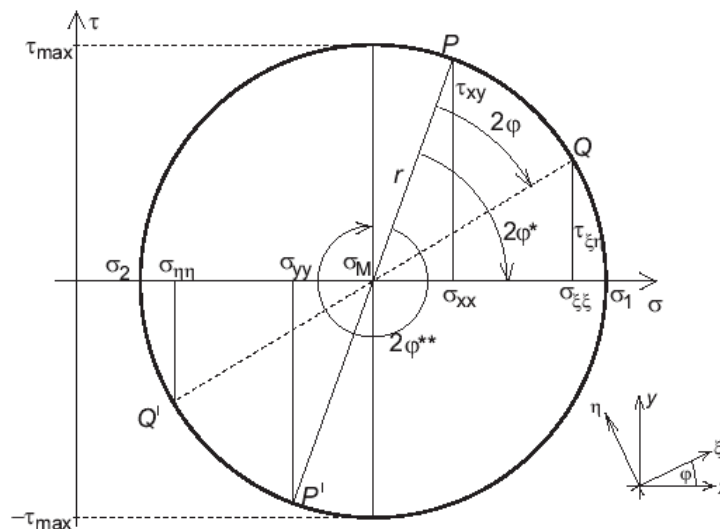
Rovnice 2.12

To znamená, že ve druhém výztužném směru y pod úhlem β nevzniká žádná síla. Příklad pro tuto rovnováhu sil najdeme v řádku 7 v tabulce IV (obr. 2.15). Program eviduje takový stav rovnováhy, pokud pro standardně určený směr tlakové diagonály (aritmetický průměr obou výztužných směrů) vychází tlaková síla ve výztužném směru y .

Tímto jsme představili veškeré možné stavy rovnováhy pro dvousměrné výztuže.

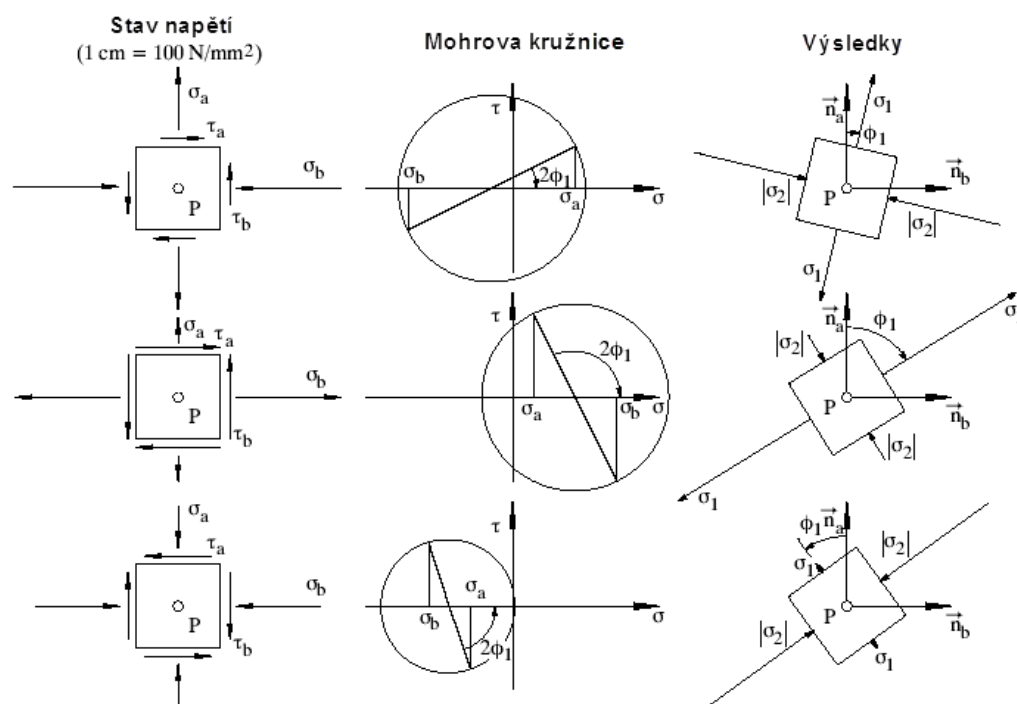
2.3.4 Možné stavy namáhání

Zatížení je dáno dvěma hlavními normálovými silami n_1 a n_2 , kdy hlavní normálová síla n_1 je vždy algebraicky větší než hlavní normálová síla n_2 .



Obr. 2.17: Mohrova kružnice napětí

Podle znaménka hlavních normálových sil se rozlišují různé stavy namáhání.



Obr. 2.18: Stavy namáhání

Z matice hlavních normálových sil vycházejí následující názvy jednotlivých stavů namáhání (n_1 tu je označena jako n_1 a n_2 jako n_{II}):

$n_{II} \backslash n_1$	$n_1 > 0$	$n_1 = 0$	$n_1 < 0$
$n_{II} > 0$	Eliptický tah (tah-tah)	Není možné	Není možné
$n_{II} = 0$	Parabolický tah	Žádné zatížení	Není možné
$n_{II} < 0$	Hyperbolický tah (tah-tlak)	Parabolický tlak	Eliptický tlak (tlak-tlak)

Obr. 2.19: Matice hlavních normálových sil pro stavy namáhání

Výpočet návrhových normálových sil pomocí rovnic 2.5 až 2.7 pro stavy namáhání *Eliptický tah* a *Hyperbolický stav* byl popsán v předchozích kapitolách. Velikost návrhových sil pro stav *Parabolický tah* se zjišťuje stejně. Za hodnotu k je třeba v rovnicích 2.5 až 2.7 dosadit nulu.

Návrhové normálové síly je třeba vyřešit ještě pro následující stavy namáhání.

Eliptický tlak v případě trojsměrné sítě

Rovnice 2.5 až 2.7 se použijí beze změny, i když obě hlavní normálové síly n_1 a n_2 jsou záporné. Pokud vychází pro všechny tři výztužné směry záporná návrhová normálová síla, nebude aktivován ani jeden výztužný směr. Beton je schopen přenést sám hlavní normálové síly, čili bez použití výztužné sítě namáhané tahem a ztužené betonovou tlakovou diagonálou.

Předpoklad, že při přenášení hlavních normálových sil vznikají tlakové síly v betonu ve směru vložené výztuže, je čistě hypotetický. Stojí za tím přání rozdělit hlavní tlakové síly do jednotlivých výztužných směrů, a moci tak určit minimální tlakovou výztuž, kterou některé normy (viz např. EN 1992-1-1, čl. 9.2.1.1) vyžadují. Vychází se přitom ze staticky nutného průřezu betonu, který lze stanovit pouze na základě předem spočítaných tlakových sil v betonu ve směru vložené výztuže.

Některé normy pro výpočet minimální tlakové výztuže sice nepotřebují staticky nutný betonový průřez, který se počítá z hlavní normálové síly transformované do návrhové normálové síly, transformační postup jednotný pro všechny normy ovšem vyžaduje transformaci hlavních tlakových sil do jednotlivých definovaných výztužných směrů i pro tyto normy. Šetření ukázala, že dimenzování na základě transformovaných tlakových sil je na straně bezpečnosti. Následně se prokazují napětí v betonu vzniklá v jednotlivých směrech výztuže.

Pokud je ovšem po transformaci alespoň jedna návrhová normálová síla kladná, bude pro daný stav zatížení výztužná síť aktivována. Jak jsme popsali v kapitolách 2.3.2 a 2.3.3, vnitřní rovnováha sil je pak zajištěna dvěma směry výztuže a zvolenou betonovou tlakovou diagonálou.

Eliptický tlak v případě dvousměrné sítě

Rovnice 2.5 až 2.7 se použijí beze změny. Pokud se směr obou hlavních normálových sil shoduje s oběma výztužnými směry, rovnají se návrhové normálové síly hlavním normálovým silám.

Pokud se hlavní normálové síly odchylují od směrů výztuže, bude se opět hledat rovnováha mezi tlakovou diagonálou v betonu a návrhovými normálovými silami ve výztužných směrech. Pro polohu tlakové diagonály se znovu prošetří oba úhly mezi výztužnými směry. Stejně jako v případě eliptického tahu tu platí: směr tlakové diagonály je správný, pokud na ni působí záporná

síla, čili je tlačena. Jestliže vyhovují v tomto ohledu oba směry tlakové diagonály, zvolí se nejúspornější řešení, kdy je součet návrhových normálových sil nejmenší.

Pokud je působící návrhová síla v některém výztužném směru záporná, nejdříve se zkontroluje, zda beton může tuto sílu přenést. Pokud tomu tak není, spočítá se tlaková výztuž.

Parabolický tlak v případě dvousměrné výztuže

V tomto stavu namáhání je hlavní normálová síla n_1 nulová. Vzhledem k tomu, že nelze použít podíl $k = n_2 / n_1$, nemohou se obvyklým způsobem uplatnit rovnice 2.5 až 2.7. Tyto rovnice vyžadují následující úpravy:

$$n_\alpha = \frac{n_1 \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + n_2 \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

$$n_\beta = \frac{n_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma + n_2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)}$$

$$n_\gamma = \frac{-n_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta + n_2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.13

Pomocí těchto upravených rovnic se opět zjišťují návrhové normálové síly v obou výztužných směrech a návrhová normálová síla pro beton. Pokud se některý směr výztuže shoduje s působící hlavní normálovou silou, pak se jeho návrhová síla této hlavní normálové síle rovná. V opačném případě se hledá řešení opět pomocí tlakové diagonály mezi oběma výztužnými směry.

Parabolický tlak v případě trojsměrné sítě

U trojsměrné výztuže se použijí výše uvedené rovnice 2.13.

Pokud hlavní normálová síla působí v některém výztužném směru, ověří se (jako u parabolického tahu) první a druhý výztužný směr, resp. první a třetí výztužný směr pro stanovení polohy tlakové diagonály. Rozhodující je opět řešení na nejnižší energetické úrovni.

2.3.5 Posouzení betonové tlakové diagonály

Jednou z návrhových sil je tlaková síla působící v betonové tlakové diagonále. Při dimenzování je nutné ověřit, zda je beton schopen tuto tlakovou sílu přenést. Přitom ovšem nepoužijeme plnou přípustnou pevnost betonu v tlaku f_{cd} , ale podle doporučení SCHLAICHA/SCHÄFERA (srov. [13], strana 373) ji redukuje na 80%.

Velikost normálové síly $n_{diag,d}$, kterou je beton schopen přenést na 1 m, získáme tak, že sníženou výpočetní pevnost betonu v tlaku $f_{cd,08}$ vynásobíme šířkou 1 m a tloušťkou stěny.

$$n_{diag,d} = f_{cd,08} \cdot b \cdot d$$

Rovnice 2.14

Zjištěnou tlakovou sílu, kterou je beton schopen přenést, pak můžeme porovnat s působící tlakovou silou v betonu n_{diag} . Průkaz betonové tlakové diagonály je splněn, pokud platí

$$n_{diag,d} \geq n_{diag}$$

Rovnice 2.15

Posouzení betonové tlakové diagonály probíhá pro všechny do programu začleněné normy stejně, vždy samozřejmě na základě platných materiálových parametrů.

2.3.6 Výpočet nutné výztuže

Velikost nutného průřezu výztuže určíme tak, že vydělíme návrhovou normálovou sílu n_{ϕ} v příslušném výztužném směru ϕ , která má být přenesena, pevností oceli na mezi kluzu.

Pevnost oceli na mezi kluzu je definována různě v závislosti na normě a druhu betonu. Při dimenzování je také třeba zohlednit příslušný dílčí součinitel spolehlivosti betonářské oceli.

Pokud není výztuž tažena, ale stlačována, je třeba spočítat pevnost oceli pro mezní poměrné stlačení betonu, které všechny normy jednotně stanoví na 2 ‰. Pevnost oceli lze proto pomocí modulu pružnosti spočítat následovně:

$$\sigma = E_s \cdot 0,002$$

Rovnice 2.16

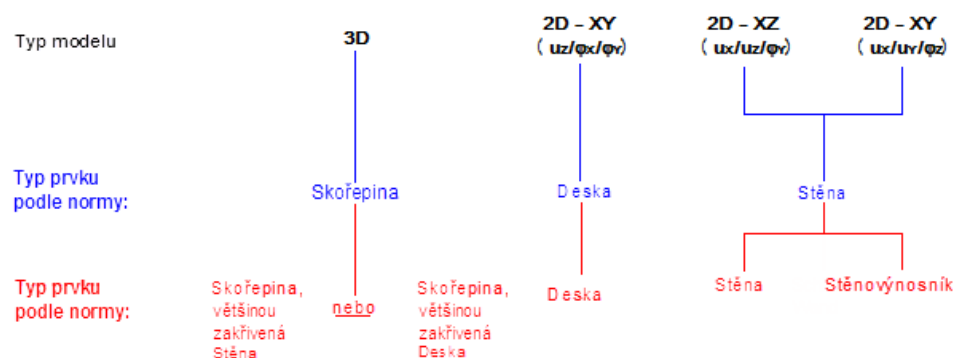
Pokud je zjištěná pevnost oceli vyšší než pevnost oceli na mezi kluzu, použije se pevnost oceli na mezi kluzu. Jinak se ovšem tlaková výztuž spočítá jen v případě, že normálová síla $n_{diag,d}$ na 1 m, kterou beton může přenést, je menší než působící záporná návrhová normálová síla. Tlaková výztuž se pak dimenzuje pro rozdíl těchto dvou normálových sil.

2.3.7 Pravidla pro výztuž

Ve všech normách najdeme předpisy pro velikost a směr výztuže plošných konstrukcí. Normy rozlišují u plošných konstrukcí k tomuto účelu určité typy prvků. EN 1992-1-1 například uvádí následující typy konstrukčních prvků:

- Deska
- Stěna
- Stěnový nosník

Na následujícím obrázku je jasně znázorněn vztah mezi *typem modelu* konstrukce, který definoval uživatel, modelem pro dimenzování a typem prvku podle normy, na jehož základě se určuje velikost a směr minimální, resp. maximální výztuže.



Obr. 2.20: Vztah mezi typem modelu konstrukce, modelem dimenzování a typem konstrukčního prvku

Pokud uživatel zvolí typ modelu 3D (viz obr. 2.1, strana 9), pak se prvek posuzuje vždy jako skořepina – bez ohledu na to, zda je prvek v určitých oblastech napjat normálovými silami i momenty nebo jen některou z těchto vnitřních sil. Typ úlohy 2D - XY ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$) se bude vždy řešit jako deska. Pro oba zbývající typy 2D - XZ ($u_x/u_z/\varphi_y$) a 2D - XY ($u_x/u_y/\varphi_z$) je k dispozici návrhový model Stěna.

Podle zvoleného typu prvku se při výpočtu nutné výztuže automaticky zohlední pravidla stanovená příslušnou normou. Na následujících řádcích představíme stručně pravidla podle **EN 1992-1-1**. Tato norma rozlišuje typy konstrukčních prvků *Plná deska*, *Stěna* a *Stěnový nosník*.

Plné desky

Pro plné desky stanoví EN 1992-1-1 následující:

- Článek 9.2.1.1 (1): Plocha podélné tahové výztuže se nemá uvažovat hodnotou menší než $A_{s,min}$.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

Rovnice 2.17

- Článek 9.2.1.1 (3): Průřezová plocha tahové i tlakové výztuže nemá překročit hodnotu $A_{s,max}$, s výjimkou míst přesahů. Doporučená hodnota je $0,04 A_c$.

Stěny

Pro stěny předepisuje EN 1992-1-1 následující:

- Článek 9.6.2 (1): Plocha svislé výztuže má být mezi hodnotami $A_{s,vmin}$ a $A_{s,vmax}$. Doporučené hodnoty jsou $A_{s,vmin} = 0,002 A_c$ a $A_{s,vmax} = 0,04 A_c$, mimo míst stykování výztuže přesahem, pokud lze prokázat, že celistvost betonu není ovlivněna a že se dosáhne plné únosnosti průřezu při MSÚ. Tuto mez $A_{s,vmax}$ lze zdvojnásobit v místě stykování výztuže přesahem.
- Článek 9.6.3 (1): Vodorovná výztuž uložená rovnoběžně s povrchy stěny (a s volnými okraji) má být navržena u obou povrchů. Nemá být menší než hodnota $A_{s,hmin}$. Doporučená hodnota je větší z hodnot 25 % plochy svislé výztuže nebo $0,001 A_c$.

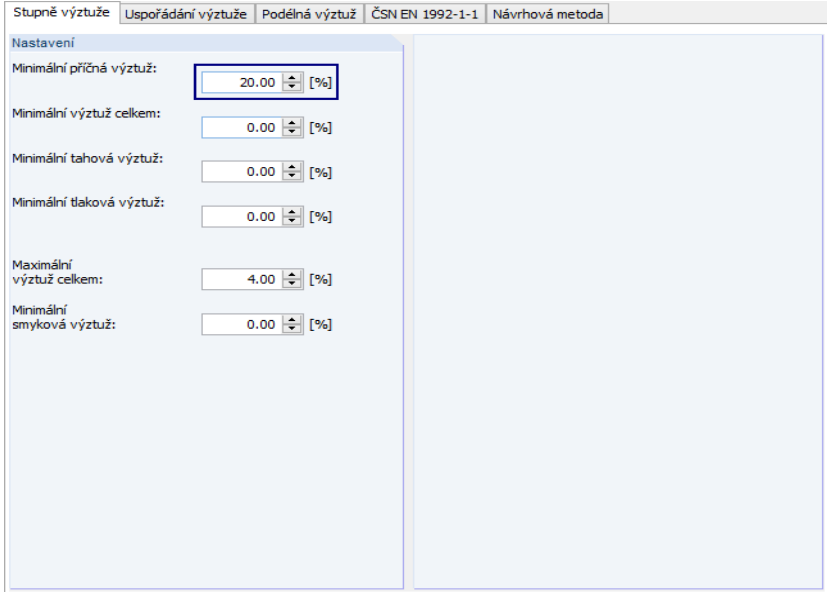
Stěnový nosník

Podle EN 1992-1-1, čl. 5.3.1 (3) má být prvek považován za stěnový nosník, pokud je jeho rozpětí menší než trojnásobek celkové výšky průřezu. V takovém případě platí:

- Článek 9.7 (1): Vysoké nosníky mají být běžně opatřeny u každého povrchu ortogonální výztužnou sítí s minimální plochou $A_{s,dbmin}$. Doporučená hodnota je $0,001 A_c$, ale ne méně než $150 \text{ mm}^2/\text{m}$ u každého povrchu a v každém směru.

Pravidla pro vyztužení definovaná uživatelem nezávisle na normě

Kromě normových, a tudíž neměnných hodnot lze pro výztuž definovat vlastní pravidla. Příslušnou minimální výztuž lze stanovit v záložce *Stupně výztuže* v dialogu 1.4 *Výztuž*.



Obr. 2.21: Dialog 1.4 *Výztuž*, záložka *Stupně výztuže*

Výpočet

Pokud například nastavíme hodnotu minimální příčné výztuže na 20 % největší použité podélné výztuže, pak modul RF-CONCRETE Surfaces nejdříve spočítá příslušnou maximální podélnou výztuž. Její hodnoty najdeme ve výstupních tabulkách jako *nutnou výztuž*.

2.1 Nutná výztuž celkem

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Symbol	Nutná výztuž	Zákl. výztuž	Přídavná výztuž		Jednotky	Upozornění
		X	Y	Z			Nutná	Návrh.			
5	S1054	9.500	6.000	2.500	a _{s,1,-z} (horní)	4.56	0.00	4.56	-	cm ² /m	
1	S3	9.500	6.000	0.000	a _{s,2,-z} (horní)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S1	0.000	0.000	0.000	a _{s,1,+z} (dolní)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S6	5.000	4.000	0.000	a _{s,2,+z} (dolní)	4.09	0.00	4.09	-	cm ² /m	
1	S1	0.000	0.000	0.000	a _{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Nutná výztuž pro: MSÚ

Obr. 2.22: Nutná podélná výztuž a tlačítko [Detaily návrhu]



Minimální příčnou výztuž můžeme zkontrolovat po kliknutí na tlačítko [Detaily návrhu].

Dialog **Detaily návrhu**

Plocha č. 1 Uzel sítě č. S3 | X: 9.500, Y: 6.000, Z: 0.000 m

- Posudková zpráva
- Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
- Hlavní vnitřní síly
- Návrhové vnitřní síly
- Tlaková diagonála betonu
- Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
- Posouzení na posouvající síly
- Staticky nutná podélná výztuž
- Minimální výztuž
 - Minimální podélná výztuž
 - Minimální příčná výztuž

Minimální stupeň příčné výztuže	min p _Q	20.0 %
---------------------------------	--------------------	--------
 - Dolní povrch (+z)
 - Horní povrch (-z)
 - Hlavní podélná výztuž této strany

a _{s,max,-z}	4.00 cm ² /m
Výztuž jako příčná výztuž v 1. směru výztuže	a _{s,minQ,-z,1} 0.80 cm ² /m
Výztuž jako příčná výztuž v 2. směru výztuže	a _{s,minQ,-z,2} 0.00 cm ² /m

Toto je hlavní směr výztuže, proto není žádná příčná výztuž.
- Minimální výztuž
- Kontrola maximálního stupně vyztužení
- Vkládaná výztuž
- Způsob výpočtu pro obálku výztuže

Typ posouzení: a_{s,2,-z} (horní) OK

Obr. 2.23: Dialog *Detaily návrhu* ke kontrole minimální výztuže

Ve výše uvedeném příkladu odpovídá *příčná výztuž v 2. směru* 20 % výztuže v 1. směru (zde hlavní směr): $7,76 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 0,2 = 1,55 \text{ cm}^2/\text{m}$. Tato hodnota je větší než *rozhodující podélná výztuž v 2. směru*, která činí $1,35 \text{ cm}^2/\text{m}$, proto je příčná výztuž směrodatná.

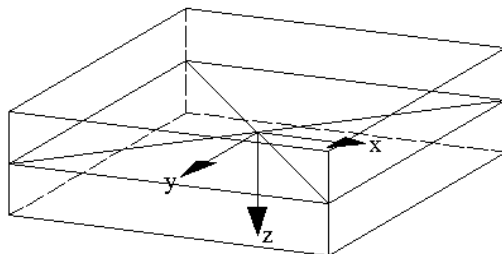
2.4 Desky

2.4.1 Návrhové vnitřní síly

Podstatné vzorce, pomocí nichž se z hlavních normálových sil určí návrhové normálové síly, jsou uvedeny v kapitole 2.3 (viz rovnice 2.5 až 2.7). Podle BAUMANNA [1] lze tyto vzorce použít také pro momenty, neboť se v jejich případě nejedná o nic jiného než o dvojici stejně velkých sil v určité vzdálenosti od sebe v protilehlém směru.

Desky se od stěn mimo jiné liší tím, že zatížení vyvolávají napětí rozdílných znamének na dvou protilehlých stranách desky. Proto je vhodné vybavit desky výztužnými sítěmi odlišných směrů na každé straně desky. Vzhledem k tomu, že se ovšem hlavní momenty m_1 a m_2 počítají v rovině těžiště, musí se rozdělit na obě strany desky, a pak je možné určit návrhové momenty pro výztuž na každé straně desky.

Nyní se blíže podíváme na namáhaný deskový prvek. Lokální souřadný systém plochy se nachází v rovině těžiště desky.



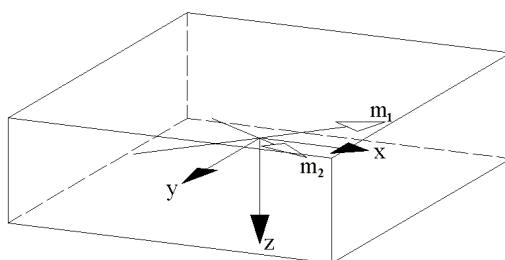
Obr. 2.24: Deskový prvek s lokálním souřadným systémem v rovině těžiště desky



Horní a dolní strana

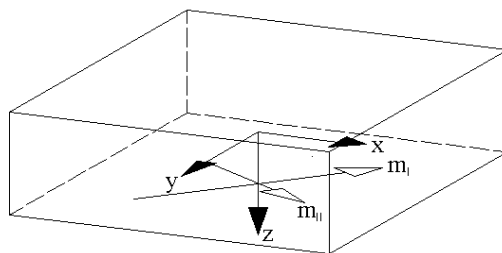
V RFEMu se dolní strana plochy nachází vždy ve směru kladné lokální osy z dané plochy, horní strana pak ve směru záporné lokální osy z . Osy plochy můžeme zobrazit tak, že v navigátoru *Zobrazit* zaškrtneme položku *Model* → *Plochy* → *Osově systémy plochy x,y,z* nebo vybereme odpovídající funkci v místní nabídce plochy (viz obr. 3.29, strana 150).

Hlavní vnitřní síly m_1 a m_2 se v RFEMu spočítají v rovině těžiště desky.



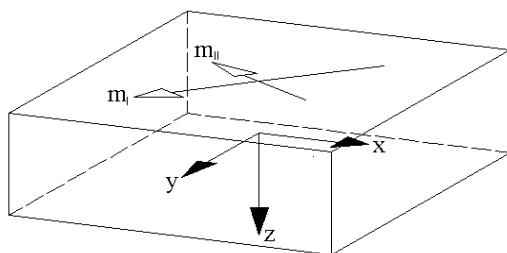
Obr. 2.25: Hlavní momenty m_1 a m_2 v rovině těžiště desky

Hlavní momenty se znázorní jednoduchou šipkou. Jejich orientace odpovídá výztuži, která by byla nutná pro jejich přenesení. Pokud se mají z těchto hlavních momentů určit návrhové momenty pro výztužnou síť na dolní straně desky, posunou se hlavní momenty beze změny na dolní stranu desky a označí se pro účely posouzení římskými indexy m_i a m_{ii} .



Obr. 2.26: Hlavní momenty posunuté na dolní stranu desky

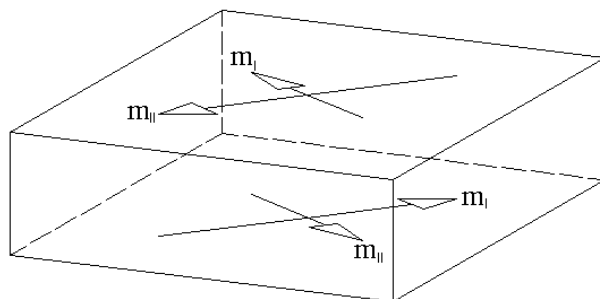
Pokud chceme z těchto hlavních momentů určit návrhové momenty pro výztužnou síť na horní straně desky, posunou se hlavní momenty na horní stranu desky a zároveň se jejich směr pootočí o 180°.



Obr. 2.27: Hlavní momenty posunuté na horní stranu desky

Jako hlavní moment m_1 se ovšem obvykle označí moment, který je s přihlédnutím ke znaménku větší (viz obr. 2.17, strana 20). Proto je ještě třeba označení hlavních momentů na horní straně desky zaměnit.

Hlavní momenty, z nichž se určí návrhové momenty na příslušných stranách desky, se tak znázorní následovně:



Obr. 2.28: Konečné hlavní momenty na horní a dolní straně desky

Pokud jsou hlavní momenty pro obě strany desky známy, lze stanovit návrhové momenty. V prvním kroku se spočítají rozdílové úhly mezi výztužnými směry a směrem hlavního momentu na každé straně desky.

Nejmenší rozdílový úhel udává kladný směr rotace, v němž se spočítají všechny ostatní úhly a následně se seřadí podle velikosti. V modulu RF-CONCRETE Surfaces se tyto úhly zobrazí s označením $\alpha_{m,+z}$, $\beta_{m,+z}$ a $\gamma_{m,+z}$, jak můžeme vidět na následujícím obrázku. Index +z značí dolní stranu plochy.

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva		
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty		
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty		
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a		
<input type="checkbox"/> 1. směrem výztuže	$\Delta\phi_{+z,1,b}$	0.248 °
<input type="checkbox"/> 2. směrem výztuže	$\Delta\phi_{+z,2,b}$	90.248 °
<input type="checkbox"/> 3. směrem výztuže	$\Delta\phi_{+z,3,b}$	45.248 °
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> 1. rozdílový úhel	$\alpha_{m,+z}$	0.248 °
<input type="checkbox"/> 2. rozdílový úhel	$\beta_{m,+z}$	45.248 °
<input type="checkbox"/> 3. rozdílový úhel	$\gamma_{m,+z}$	90.248 °

Obr. 2.29: Rozdílové úhly podle [1] pro dolní stranu desky (zde pro 3 směry výztuže)

Následně se podle BAUMANNA [1] pomocí rovnice 2.5 až 2.7 určí návrhové momenty:

$$m_{\alpha} = m_1 \cdot \frac{\sin\beta \cdot \sin\gamma + k \cdot \cos\beta \cdot \cos\gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

$$m_{\beta} = m_1 \cdot \frac{\sin\alpha \cdot \sin\gamma + k \cdot \cos\alpha \cdot \cos\gamma}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)}$$

$$m_{\gamma} = m_1 \cdot \frac{-\sin\alpha \cdot \sin\beta + k \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.18

V modulu RF-CONCRETE Surfaces se výsledné návrhové momenty $m_{\alpha,+z}$, $m_{\beta,+z}$ a $m_{\gamma,+z}$ pro dolní stranu desky zobrazí následovně:

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva		
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty		
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty		
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a		
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> 1. rozdílový úhel	$\alpha_{m,+z}$	35.89 °
<input type="checkbox"/> 2. rozdílový úhel	$\beta_{m,+z}$	-0.31 °
<input type="checkbox"/> 3. rozdílový úhel	$\gamma_{m,+z}$	0.39 °

Obr. 2.30: Návrhové momenty podle [1] pro dolní stranu desky

V tomto příkladu je jeden z návrhových momentů menší než nula. Hledá se tedy výztužná síť ze dvou vrstev výztuže, která bude zpevněna betonovou tlakovou diagonálou.

První navržená výztužná síť se skládá ze dvou výztužných směrů α_m a β_m . Směr γ ztužující betonové tlakové diagonály (zpevňujícího momentu vyvolávajícího na dané straně desky tlak) se předpokládá přesně mezi těmito dvěma výztužnými směry.

$$\gamma_{1a,m} = \frac{\alpha_m + \beta_m}{2}$$

Rovnice 2.19

Nyní se znovu pomocí upravené rovnice 2.5 až 2.7 stanoví návrhové momenty ve zvolených výztužných směrech sítě a dále moment, který je zpevňuje. Pro výše uvedený příklad se pak pro dolní stranu desky zobrazí následující výsledky:

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva			
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna			
<input type="checkbox"/> 1. návrhový ohybový moment	$m_{\alpha,+z}$	35.89	kNm/m
<input type="checkbox"/> 2. návrhový ohybový moment	$m_{\beta,+z}$	-0.31	kNm/m
<input type="checkbox"/> 3. návrhový ohybový moment	$m_{\gamma,+z}$	0.39	kNm/m
<input type="checkbox"/> Mají návrh. moment různá znaménka?	znam $m_{,+z}$	Ano	
<input type="checkbox"/> Stanovit směr tlakové diagonály betonu?	tlak. diag. $m_{,+z}$	Ano	
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu			
<input type="checkbox"/> Nový rozdílový úhel	$\beta_{m,+z,2a}$	45.248	°
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna			
<input type="checkbox"/> 1. návrhový ohybový moment	$m_{\alpha,+z,2a}$	35.89	kNm/m
<input type="checkbox"/> 2. návrhový ohybový moment	$m_{\beta,+z,2a}$	-0.31	kNm/m
<input type="checkbox"/> 3. návrhový ohybový moment	$m_{\gamma,+z,2a}$	0.39	kNm/m
<input type="checkbox"/> Přípustný směr tlakové diagonály?	$m_{\text{tlak. diag.},+z,2a}$	Ano	

Obr. 2.31: První předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu

Danou výztužnou síť lze použít, protože směr tlakové diagonály je přípustný.

Zda se přitom jedná o energeticky nejúspornější řešení, které zaručuje nejmenší spotřebu výztuže, přitom ještě musí prokázat šetření dalších směrů tlakové diagonály, která se provedou obdobně.

Jakmile se prověří všechny možnosti, které připadají v úvahu pro výztužnou síť složenou ze dvou výztužných směrů a ze ztužující betonové tlakové diagonály, zobrazí se přehledně součty absolutních hodnot návrhových momentů. V našem příkladu vypadá tento přehled následovně:

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna			
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové ohybové momenty)			
<input type="checkbox"/> Nejmenší energie pro všechny přípustné případy	$\Sigma_{\text{min},+z}$	36.58	kNm/m
<input type="checkbox"/> Energie pro rozdílový úhel $\gamma_{m,+z,1a}$	$\Sigma_{\gamma m,+z,1a}$	39.71	kNm/m
<input type="checkbox"/> Energie pro rozdílový úhel $\beta_{m,+z,2a}$	$\Sigma_{\beta m,+z,2a}$	36.58	kNm/m

Obr. 2.32: Součet absolutních hodnot návrhových momentů

Jako *Nejmenší energie pro všechny přípustné případy* $\Sigma_{\text{min},+z}$ je tu uveden nejnižší absolutní součet spočtených návrhových momentů. V našem příkladu vychází nejvýhodnější řešení pro rozdílový úhel $\beta_{m,+z,2a}$ na dolní straně plochy.

Směr rozhodující tlakové diagonály se rovněž zobrazí v detailech posouzení. Vztahuje se k definovaným rozdílovým úhlům podle BAUMANNA. Proto se navíc udává také směr Φ_{diag} ve vztahu ke směru výztuže. Ve výše uvedeném příkladu se pro dolní stranu desky uvádí následující úhel tlakové diagonály:

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a α
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové ohybové momenty)
<input type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr β
<input type="checkbox"/> Směr tlakové diagonály betonu

$\beta_{m,+z,2a}$	45.248	°
$\Phi_{tlak. diag. ,m,+z}$	45.000	°

Obr. 2.33: Rozhodující tlaková diagonála

V případě optimalizovaného směru návrhového momentu, který zpevňuje výztužnou síť (viz obr. 3.40, strana 159), se v uvedeném příkladu stanoví návrhové momenty podle BAUMANNA. Tyto návrhové momenty se přenesou do definovaných výztužných směrů, jak znázorňuje následující obrázek:

Plocha č. 1 Uzel sítě č. S15 | X: 2.000, Y: 1.000, Z: 0.000 m

<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty		
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty		
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a α		
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu		
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu		
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu		
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr β tlakové diagonály betonu		
<input type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové ohybové momenty)		
<input type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála		
<input type="checkbox"/> Rozhodující návrhové ohybové momenty		
<input type="checkbox"/> v 1. směru		
<input type="checkbox"/> v 2. směru		
<input type="checkbox"/> v 3. směru		
<input type="checkbox"/> ve směru diagonály		
<input type="checkbox"/> Optimalizovat směr diagonály?		
Nalezená tlaková diagonála probíhá ve směru, který byl definován jako směr výztuže.		
Stanovená síla tlakové diagonály bude návrhovou silou tohoto směru výztuže.		
Síla pro posouzení tlakové diagonály betonu bude považována za nulovou.		
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> v 1. směru		
<input type="checkbox"/> ve 2. směru		
<input type="checkbox"/> ve 3. směru		
<input type="checkbox"/> Konečné návrhové ohybové momenty		
<input type="checkbox"/> v 1. směru		
<input type="checkbox"/> ve 2. směru		
<input type="checkbox"/> ve 3. směru		
<input type="checkbox"/> ve směru diagonály		

$m_{\alpha,+z}$	35.89	kNm/m
$m_{\beta,+z}$	-0.31	kNm/m
$m_{\gamma,+z}$	0.39	kNm/m

$m_{end,+z,\Phi 1}$	35.89	kNm/m
$m_{end,+z,\Phi 2}$	0.39	kNm/m
$m_{end,\Phi,+z,3}$	-0.31	kNm/m
$m_{end,+z,tlak. diag.}$	-0.31	kNm/m

Obr. 2.34: Konečné návrhové momenty pro dolní stranu desky

2.4.2 Průkaz ztužujícího momentu

Posouzení betonové tlakové diagonály navazuje na výpočet návrhových momentů. Při něm se zjišťuje, zda momenty, které slouží ke zpevnění výztužné sítě, může deska přenášet.

V detailech posouzení najdeme toto ověření v položce *Tlaková diagonála betonu*:

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva		
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu		
<input type="checkbox"/> Tloušťka náhradní lamely	h_E	7.00 cm
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly ve směru tlakové diagonály	$n_s \text{ tlak. diag., +z}$	0.000 kN/m
Není nutné posuzovat: síla tlakové diagonály betonu je nulová.		
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)		
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly ve směru tlakové diagonály	$n_s \text{ tlak. diag., -z}$	-1.921 kN/m
<input type="checkbox"/> Membránová síla přenesená betonem	$n \text{ tlak. diag., } d$	-746.667 kN/m
<input type="checkbox"/> Šířka náhradní lamely	b	100.00 cm
<input type="checkbox"/> Tloušťka náhradní lamely	h_E	7.00 cm
<input type="checkbox"/> Použitá pevnost betonu	$f_{cd, 0,8}$	10.67 N/mm ²
<input type="checkbox"/> Jednoosá pevnost betonu v tlaku	f_{cd}	13.33 N/mm ²
<input type="checkbox"/> Stupeň maximálního využití	$\xi_{f_{cd}}$	0.800
<input type="checkbox"/> Selhání tlakové diagonály betonu?	$n \text{ tlak. diag., } d < n_s$	Ne

Obr. 2.35: Průkaz zpevnujícího momentu

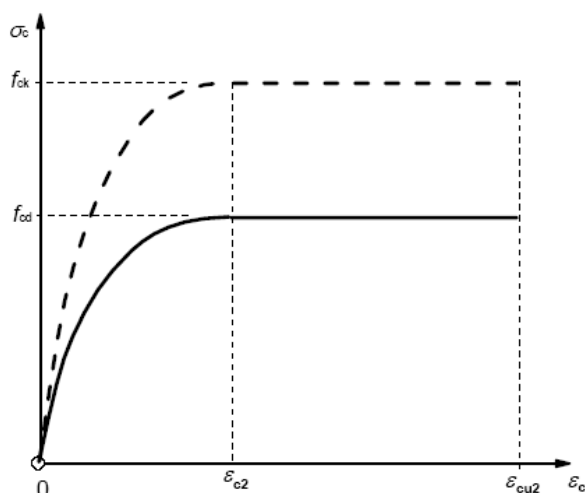
Na dolní i horní straně desky se pro spočítané momenty provede běžné posouzení na ohyb. Cílem ovšem není stanovit výztuž, ale spíše prokázat, zda je tlačенá oblast betonu schopna přenést výslednou tlakovou sílu v betonu, která po vynásobení ramenem vnitřních sil vyvozuje větší moment na straně únosnosti, než je působící moment.

Posouzení není splněno, pokud moment na straně únosnosti je i při maximálním přípustném přetvoření betonu za ohybu a maximálním přípustném odebrání navržené výztuže menší než rozhodující návrhový moment $n_{s, \text{diag.}}$.

Aktuálně platné normy dodržení přípustných přetvoření upravují omezením poměru výšky tlačенé oblasti betonu x a účinné výšky d . Vychází se přitom z pracovních diagramů pro beton a betonářskou ocel a z mezních přetvoření stanovených v těchto normách (viz následující zásady a pravidla podle EN 1992-1-1).

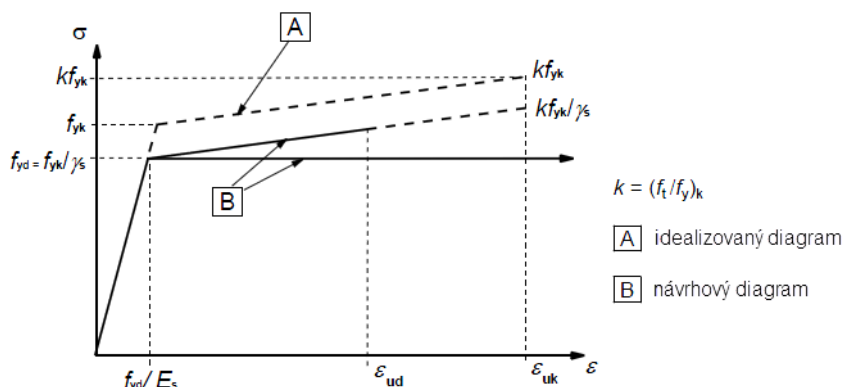
Pracovní diagramy pro posouzení průřezu

Při výpočtu se vychází z pracovního diagramu pro beton s parabolicko-rectangulárním průběhem podle obrázku 3.3 v normě EN 1992-1-1.



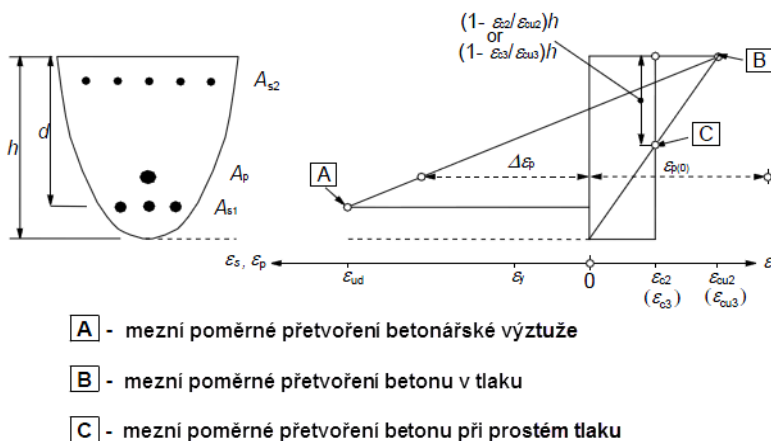
Obr. 2.36: Pracovní diagram tlačенého betonu

Pracovní diagram betonářské oceli je znázorněn na obrázku 3.8 v normě EN 1992-1-1.



Obr. 2.37: Pracovní diagram betonářské oceli

ezní poměrná přetvoření lze vidět na obrázku 6.1 v normě EN 1992-1-1.



- A** - mezní poměrné přetvoření betonářské výztuže
- B** - mezní poměrné přetvoření betonu v tlaku
- C** - mezní poměrné přetvoření betonu při prostém tlaku

Obr. 2.38: Možné průběhy poměrných přetvoření v mezním stavu únosnosti

Mezní stav únosnosti se určí z mezních přetvoření. V závislosti na tom, kde mezní přetvoření nastává, dochází buď k porušení betonu nebo betonářské výztuže.

- Porušení betonu, např. C30/37:
Mezní přetvoření v dostředném tlaku: $\epsilon_{c2} = -2,0 \text{ ‰}$
Poměrné přetvoření při porušení: $\epsilon_{cu2} = -3,5 \text{ ‰}$
- Porušení betonářské výztuže, např. B 500 S (A):
Protažení oceli při maximální síle: $\epsilon_{uk} = 25 \text{ ‰}$
- Současné porušení betonu i betonářské výztuže:
Tento případ nastává, pokud dochází současně k meznímu přetvoření betonu i meznímu přetvoření oceli.

2.4.3 Výpočet staticky nutné výztuže

Pracovní diagramy pro beton a betonářskou ocel uvedené v kapitole 2.4.2 slouží spolu s hodnotami mezního poměrného přetvoření jako základ pro výpočet nutné podélné výztuže pro předem určené návrhové momenty. I tento výpočet je zachycen v detailech posouzení.

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva			
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input type="checkbox"/> Návrhové normálové síly			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Minimální rameno vnitřních sil	Z _{min, +z}	0.150	m
<input type="checkbox"/> z posouzení v 1 směru výztuže	Z _{+z, Φ1}	0.161	m
<input type="checkbox"/> z posouzení v 2 směru výztuže	Z _{+z, Φ2}	0.159	m
<input type="checkbox"/> z posouzení v 3 směru výztuže	Z _{+z, Φ3}	0.150	m
<input type="checkbox"/> Membránová síla			
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu			
<input type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil			
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže	a _{s, dim, +z, 1}	5.29	cm ² /m
Návrhová membránová síla	n _{s, kon, +z, Φ1}	240.025	kN/m
<input type="checkbox"/> Návrhové napětí	σ _{s, +z, 1}	454.14	N/mm ²
Rozhodující oblast (viz příručku)	Oblast	III	
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
Návrhový moment	m _{konec, +z, Φ1}	35.89	kNm/m
Návrhová normálová síla	n _{konec, +z, Φ1}	0.000	kN/m
<input type="checkbox"/> Protažení			
Protažení horních (-z) vláken průřezu	ε _{o, -z (horní), dim, +z, 1}	-3.187	‰
Protažení horní (-z) výztuže	ε _{s, -z (horní), dim, +z, 1}	1.346	‰
Protažení dolní (+z) výztuže	ε _{s, +z (dolní), dim, +z, 1}	22.500	‰
Protažení dolních (+z) vláken průřezu	ε _{o, +z (dolní), dim, +z, 1}	27.033	‰
<input type="checkbox"/> Poměr výška neutrální osy / účinná výška	ψ _{dim, +z, 1}	0.124	
Výška neutrální osy	x _{dim, +z, 1}	0.021	m
Staticky účinná výška	d _{dim, +z, 1}	0.170	m
<input type="checkbox"/> Napětí			
Napětí v horních (-z) vláknech průřezu	σ _{o, -z (horní), dim, +z, 1}	-13.33	N/mm ²
Napětí v horní (-z) výztuži	σ _{s, -z (horní), dim, +z, 1}	269.23	N/mm ²
Napětí v dolní (+z) výztuži	σ _{s, +z (dolní), dim, +z, 1}	454.14	N/mm ²
Napětí v dolních (+z) vláknech průřezu	σ _{o, +z (dolní), dim, +z, 1}	0.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže	a _{s, dim, +z, 2}	0.06	cm ² /m
<input type="checkbox"/> v 3. směru výztuže	a _{s, dim, +z, 3}	0.00	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			

Obr. 2.39: Detaily posouzení: Nutná podélná výztuž

Nejdříve v detailech posouzení vidíme, že nutná podélná výztuž je tu rozdělena pro dolní a horní stranu desky. U každé strany desky, tj. *dolní strany (+z)* a *horní strany (-z)*, tu jsou pak uvedeny rozbalovací položky pro jednotlivé směry výztuže.

Jak vidíme na obr. 2.39, ve 2. a 3. směru výztuže je na dolní straně desky množství nutné výztuže jen velmi malé, resp. žádné.

1. *směr výztuže* je třeba dimenzovat pro návrhový ohybový moment $m_{\text{end, +z, } \Phi 1} = 35,89 \text{ kNm/m}$. Ze zobrazených hodnot přetvoření lze vyčíst informace o výpočtu podélné výztuže.

Příklad znázorněný na obr. 2.39 zkontrolujeme pomocí návrhové tabulky pro bezrozměrnou metodu posouzení. Máme následující vstupní parametry:

- Průřez [cm]: Obdélník $b/h/d = 100/20/17$
- Materiály: Beton C20/25
B 500 S (A)
- Návrhové vnitřní síly: $M_{\text{Eds}} = n_{\text{Sed, +z, } \Phi 1} \cdot Z_{+z, \Phi 1} = 240,005 \cdot 0,161 = 38,64 \text{ kNm/m}$
 $N_{\text{Ed}} = 0,00 \text{ kNm/m}$

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 \cdot 2,0}{1,5} = 1,13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3864}{100 \cdot 17^2 \cdot 1,13} = 0,1183$$

Pro $\mu_{Eds} = 0,1183$ lze z návrhových tabulek (viz např. [7], příloha A4) interpolovat následující hodnoty:

$$\omega_1 = 0,1170 + \frac{(0,1285 - 0,1170) \cdot (0,1183 - 0,11)}{0,12 - 0,11} = 0,1265$$

$$\sigma_{sd} = 45,24 + \frac{(45,40 - 45,24) \cdot (0,1183 - 0,11)}{0,12 - 0,11} = 45,37 \text{ kN/cm}^2$$

Z těchto hodnot lze spočítat nutnou podélnou výztuž:

$$A_{s1} = \frac{\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{sd}} = \frac{0,1265 \cdot 100 \cdot 17 \cdot 1,13 + 0}{45,37} = 5,36 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

2.4.4 Posouzení na smyk

Posouzení na smyk se v jednotlivých normách značně liší. Níže uvádíme výpočetní návrh smyku podle EN 1992-1-1.

Posouzení pevnosti ve smyku se provádí pouze v mezním stavu únosnosti (MSÚ). Při tomto posouzení vstupují do vztahu návrhové hodnoty zatížení a únosnosti. Obecný vztah tohoto posouzení má tvar:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Rovnice 2.20

Kdy	V_{Ed}	Návrhová hodnota posouvající síly (v modulu RF-CONCRETE Surfaces spočtená hlavní posouvající síla)
	V_{Rd}	Návrhová hodnota únosnosti ve smyku

V závislosti na mechanismu porušení se návrhová hodnota únosnosti ve smyku určí pomocí jedné z následujících 3 hodnot:

$V_{Rd,c}$	Návrhová hodnota posouvající síly, kterou může přenést prvek bez smykové výztuže
$V_{Rd,s}$	Návrhová hodnota posouvající síly, kterou může přenést prvek se smykovou výztuží; únosnost je omezena porušením smykové výztuže (porušením táhel)
$V_{Rd,max}$	Návrhová hodnota maximální posouvající síly, kterou prvek může přenést, omezená rozdrčením tlakových diagonál

Pokud posouvající síla V_{Ed} nepřekračuje hodnotu $V_{Rd,c}$, pak není nutné počítat smykovou výztuž a posouzení je splněno.

Pokud je posouvající síla V_{Ed} vyšší než hodnota $V_{Rd,c}$, pak je třeba navrhnout smykovou výztuž. Tato smyková výztuž musí přenášet veškerou posouvající sílu. Kromě toho je třeba ověřit únosnost betonové tlakové diagonály.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Rovnice 2.21

2.4.4.1 Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (6.2a)$$

Rovnice 2.22

kdy

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c \quad (\text{doporučená hodnota})$$

$$k = 1 + \sqrt{(200 / d)} \leq 2,0 \quad \text{Součinitel pro zohlednění tloušťky desky}$$

d Průměrná účinná výška v [mm]

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0,02 \quad \text{Stupeň vyztužení podélnou výztuží}$$

A_{sl} Plocha tahové výztuže, která zasahuje alespoň do vzdálenosti d za posuzovaný průřez a je zde účinně zakotvena

f_{ck} Charakteristická pevnost betonu v tlaku v [MPa]

b_w Šířka průřezu

d Účinná výška ohybové výztuže v [mm]

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,2 \cdot f_{cd} \quad \text{Návrhová hodnota podélného napětí v betonu v [MPa]}$$

N_{Ed} Působící normálová síla ve směru hlavní posouvající síly

Použit lze následující minimální hodnotu únosnosti ve smyku $V_{Rd,c}$:

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (6.2b)$$

Rovnice 2.23

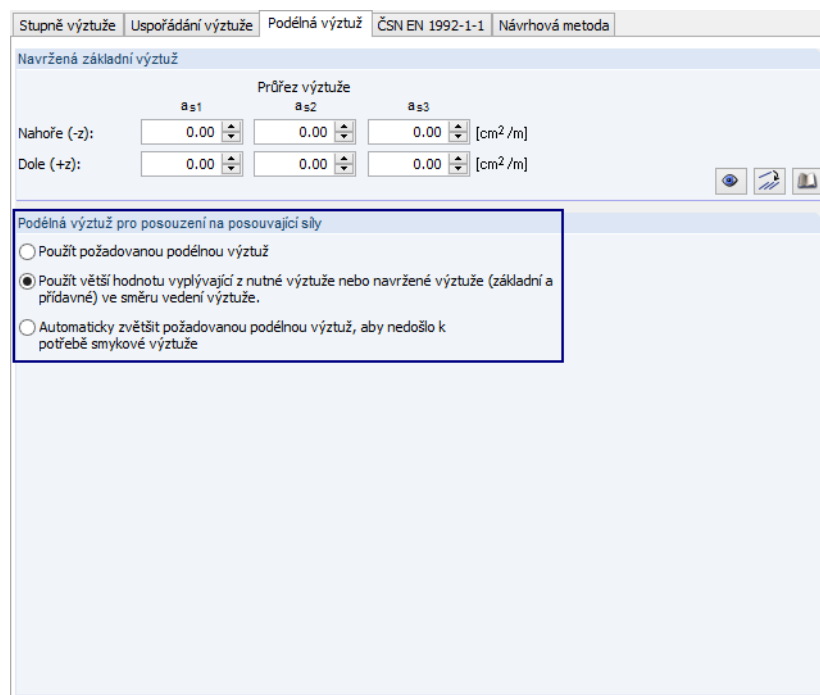
kdy

$$k_1 = 0,15 \quad (\text{doporučená hodnota})$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (\text{doporučená hodnota}) \quad (6.3N)$$

Tyto rovnice jsou primárně myšleny pro jednorozměrné prvky (trámy). V tomto případě tu je pouze jedna návrhová podélná výztuž, z níž se počítá stupeň podélného vyztužení. U dvourozměrných prvků až se 3 vyztužnými směry nelze tak snadno určit velikost podélné výztuže.

V modulu RF-CONCRETE Surfaces máme 3 možnosti, jak určit návrhovou podélnou výztuž pro posouzení na smyk. Tyto možnosti lze vybrat v záložce *Podélná výztuž* v dialogu 1.4 *Výztuž*.



Obr. 2.40: Dialog 1.4 *Výztuž*, záložka *Podélná výztuž*

Použit požadovanou podélnou výztuž

Po zvolení této možnosti se nejprve ověří, které směry výztuže na obou stranách desky jsou po návrhu včetně dodatečné tahové síly podle čl. 6.2.3 (7) taženy. Podle EN 1992-1-1 se návrhový stupeň vyztužení podélnou výztuží smí určit výhradně z plochy návrhové tahové výztuže.

Pro transformaci výztuže z různých výztužných směrů s tahovými silami do směru β maximální posouvající síly se směr této maximální posouvající síly určí následovně:

$$\beta = \arctan \frac{V_y}{V_x}$$

Rovnice 2.24

Z výsledku této rovnice se vychází při výpočtu rozdílového úhlu $\delta\varphi_i$ mezi příslušným směrem výztuže φ_i a směrem maximální posouvající síly.

$$\delta\varphi_i = \beta - \varphi_i$$

Rovnice 2.25

Na základě rozdílového úhlu $\delta\varphi_i$ lze stanovit složku $a_{s,i}$ určité tažené podélné výztuže $a_{s,i}$.

$$a_{s,i} = a_{s,i} \cdot \cos^2(\delta\varphi_i)$$

Rovnice 2.26

Tahová výztuž $a_{s,i}$, která se pak dosadí do rovnice 2.22 pro výpočet $V_{Rd,c}$ odpovídá součtu složek z jednotlivých směrů výztuže přenášejících tah.

$$a_{s,i} = \sum a_{s,i} \cdot \cos^2(\delta\varphi_i)$$

Rovnice 2.27

Použití větší hodnoty vyplývající z nutné výztuže nebo navržené výztuže (základní a přídatné) ve směru vedení výztuže

V případě druhé možnosti, kterou vidíme na obr. 2.40 na straně 37, se uvažovaná tahová výztuž a_{sl} spočítá tak, jak jsme již výše popsali. Nejdříve se ověří, zda nutná podélná výztuž přenáší tahovou sílu. Návrhová podélná výztuž a_{sl} se pak vypočítá pomocí rovnice 2.26 a rovnice 2.27.

Následně se určí únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže. Přitom se může ukázat, že posouzení na posouvající síly lze splnit bez smykové výztuže. Pokud je únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ záporná nebo nedostačující, zjistí se, zda pro směr výztuže je větší výztuží $a_{s,max}$ staticky nutná podélná výztuž $a_{s,dim}$ nebo uživatelem zadaná výztuž $a_{s,def}$.

Na základě větší z těchto dvou výztuží $a_{s,max}$ se poté znovu pomocí rovnice 2.26 a rovnice 2.27 spočítá návrhová podélná výztuž a_{sl} . Následně se opět určí únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže.

Pokud se ukáže, že únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže je s větší z obou výztuží (se staticky nutnou či uživatelem zadanou podélnou výztuží) dostačující, je posouzení na posouvající síly splněno. Pokud i s touto podélnou výztuží zůstává průřez nedimenzovatelný, protože je zcela porušen trhlinami, zobrazí se příslušné hlášení.

Jestliže ani při použití větší z obou uvedených výztuží nelze vynechat smykovou výztuž, znovu se určí únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ se staticky nutnou podélnou výztuží. Postrádalo by smysl uvažovat při tomto výpočtu podélnou výztuž definovanou uživatelem a pak ji později zobrazit jako nutnou, když beztak neumožňuje vynechat smykovou výztuž.

Výpočet smyku zahrnuje posouzení únosnosti ve smyku $V_{Rd,max}$ betonové tlakové diagonály, únosnosti ve smyku $V_{Rd,s}$ smykové výztuže i výpočet nutné smykové výztuže.

Automaticky zvýšit požadovanou podélnou výztuž, aby nedošlo k potřebě smykové výztuže

Při zvolení třetí možnosti znázorněné na obr. 2.40 se z rovnice 2.22 pro $V_{Rd,c}$ spočítá stupeň podélného vyztužení ρ_1 . Za $V_{Rd,c}$ se přitom dosadí návrhová posouvající síla V_{Ed} .

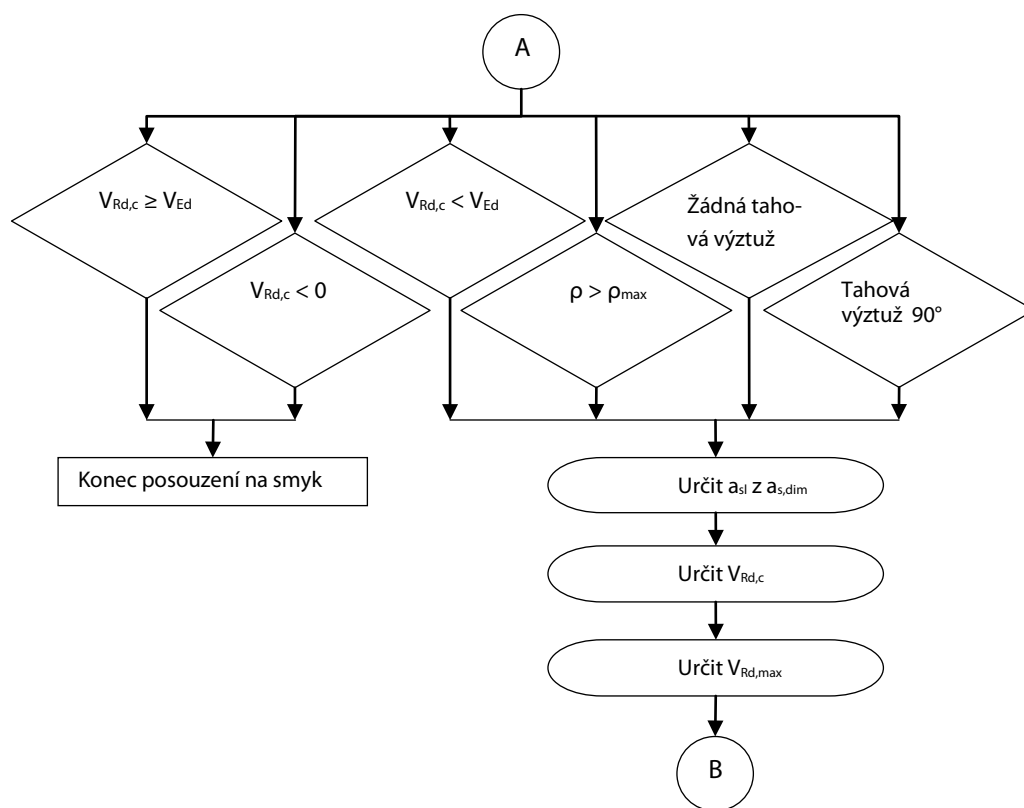
$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{V_{Ed} \cdot \gamma_c}{d \cdot b_w \cdot 0,15 \cdot \kappa \cdot \eta_1} + \frac{0,12 \cdot \gamma_c \cdot \sigma_{cd}}{0,15 \cdot \kappa \cdot \eta_1} \right)^3}{100 \cdot f_{ck}}$$

Rovnice 2.28

Odpovídající stupeň vyztužení podélnou výztuží pak umožňuje vynechat smykové vyztužení.

Modul RF-CONCRETE Surfaces nejprve znovu prověří únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ při použití staticky nutné podélné výztuže. Pokud není tato první únosnost ve smyku dostatečná, zvětší se podélná výztuž a_{sl} ve směru hlavní posouvající síly. Podélnou výztuž a_{sl} ovšem nelze zvětšovat libovolně.

Z postupového diagramu na obrázku níže je patrné, kdy lze smykovou výztuž vynechat a kdy lze vyztužení na smyk provést pomocí staticky nutné výztuže z návrhu.



Obr. 2.41: Postupový diagram pro zvýšení podélné výztuže a vynechání smykové výztuže

Větev zcela vlevo v diagramu ($V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$) znázorňuje úspěšné vynechání smykové výztuže, větev vedle ní ($V_{Rd,c} < 0$) ukazuje, že i při zvýšení podélné výztuže zůstává únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ záporná, a pro zcela porušený průřez tak nelze posouzení na smyk provést.

Ostatní čtyři větve diagramu ($V_{Rd,c} < V_{Ed}$, $\rho > \rho_{max}$, Žádná tahová výztuž, Tahová výztuž 90°) znázorňují důvody, proč je zvýšení podélné výztuže vyloučeno. Například ani maximální stupeň vyztužení podélnou výztuží neumožňuje vynechat smykovou výztuž nebo byl překročen přípustný stupeň podélného vyztužení v jednotlivých výztužných směrech. Pokud bude podélná výztuž a_{sl} zvětšená ve směru hlavní posouvající síly rozdělena do jednotlivých výztužných směrů, ověř se pro každý z těchto výztužných směrů, zda byl dodržen stupeň podélného vyztužení, který uživatel definoval. Jinak se stupeň podélného vyztužení ρ_l stanoví z volby *Použít požadovanou podélnou výztuž*.

Pro pochopení obou pravých větví diagramu je třeba vysvětlit, jak se podélná výztuž zvětšená ve směru hlavní posouvající síly rozdělí do jednotlivých výztužných směrů. Pokud je spočtený stupeň podélného vyztužení ρ_l menší než 0,02, spočítá se nutná podélná výztuž a_{sl} na 1 metr následovně:

$$a_{sl} = \rho_l \cdot d$$

Rovnice 2.29

Tato nutná podélná výztuž se nyní rozdělí do těch směrů výztuže, které přenášejí tah. K tomu se znovu určí úhlová odchylka $\delta\varphi_i$ mezi směrem maximální posouvající síly a směrem výztuže, v němž působí tah.

$$\delta\varphi_i = \beta - \varphi_i$$

Rovnice 2.30

Nyní se vytvoří třetí mocnina kosinu úhlových odchylek $\delta\varphi_i$, a zahrne do součtu $\Sigma(\cos^3)$.

Podíl $a_{sl,i}$ na nutné podélné výztuži a_{sl} se tak získá následovně:

$$a_{sl,i} = a_{sl} \cdot \frac{\cos(\delta\varphi_i)}{\sum \cos^3(\delta\varphi_i)}$$

Rovnice 2.31

Tento příspěvek $a_{sl,i}$ na nutné podélné výztuži se porovná s podélnou výztuží spočítanou při návrhu. Větší výztuž je rozhodující.

Z rovnice 2.31 je patrné, že jmenovatel může být problematický. Jedná se o případ, kdy žádný výztužný směr nepřenáší tah (součet třetích mocnin úhlových odchylek se vytváří pouze pro tažené směry) nebo kdy sice tažené směry výztuže existují, svírají ovšem se směrem hlavní posouvající síly úhel 90° , a jejich kosinus tak rovněž má hodnotu nula. Oba případy jsou znázorněny ve dvou větvích postupového diagramu zcela vpravo.

Ve všech případech, kdy řešení není možné, se upustí od zvětšení podélné výztuže a uplatní se volba *Použít požadovanou podélnou výztuž*. Přitom je třeba určit únosnost ve smyku $V_{Rd,s}$ se smykovou výztuží.

2.4.4.2 Únosnost ve smyku se smykovou výztuží

Pro prvky se smykovou výztuží kolmou na osu prvku ($\alpha = 90^\circ$) platí:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (6.8)$$

Rovnice 2.32

kdy

A_{sw}	Plocha průřezu smykové výztuže
s	Vzdálenost třmíneků
z	Rameno vnitřních sil
f_{ywd}	Návrhová mez kluzu betonářské smykové výztuže
θ	Sklon betonové tlakové diagonály

Sklon betonové tlakové diagonály θ lze v závislosti na namáhání zvolit v určitém rozmezí. Má se tím zohlednit skutečnost, že část posouvající síly se přenáší třením v trhlinách, a nezatěžuje tak příhradovinu. Toto rozmezí je dáno vztahem (6.7N) v normě EN 1992-1-1.

$$1,00 \leq \cot \theta \leq 2,5 \quad (6.7N)$$

Rovnice 2.33

Sklon tlakové diagonály θ se tak může pohybovat mezi následujícími hodnotami:

	Minimální sklon	Maximální sklon
θ	21,8°	45,0°
$\cot \theta$	2,5	1,0

Tabulka 2.1: Mezní hodnoty sklonu tlakové diagonály podle EN 1992-1-1

Mírnější sklon betonové tlakové diagonály znamená menší tahové síly ve smykové výztuži, a tím i menší nutný průřez výztuže. V modulu RF-CONCRETE Surfaces se sklon tlakové diagonály nastavuje v záložce pro normu EN 1992-1-1 v dialogu 1.4 Výztuž.

Stupně výztuže	Uspořádání výztuže	Podélná výztuž	ČSN EN 1992-1-1	Návrhová metoda												
Minimální výztuž																
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž pro desky podle 9.3.1																
<input type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž pro stěny podle 9.6																
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální smyková výztuž podle 9.3.2																
Smyková výztuž																
Maximální proměnný sklon tlakových diagonál podle 6.2.3 (NP - parametr)																
- Minimální: <input type="text" value="21.801"/> [°]																
- Maximální: <input type="text" value="45.000"/> [°]																
Faktory																
Díčí součinitele pro beton a výztuž podle tabulky 2.4.2.4 (parametr NP)																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Trvalé a dočasné</th> <th>Mimořádné</th> <th>Použitelnost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>γ_c:</td> <td><input type="text" value="1.50"/></td> <td><input type="text" value="1.20"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>γ_s:</td> <td><input type="text" value="1.15"/></td> <td><input type="text" value="1.00"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>						Trvalé a dočasné	Mimořádné	Použitelnost	γ_c :	<input type="text" value="1.50"/>	<input type="text" value="1.20"/>	<input type="text"/>	γ_s :	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text"/>
	Trvalé a dočasné	Mimořádné	Použitelnost													
γ_c :	<input type="text" value="1.50"/>	<input type="text" value="1.20"/>	<input type="text"/>													
γ_s :	<input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text"/>													
Redukční součinitele pevnosti v tlaku zohledňující nepříznivé dlouhodobé účinky podle 3.1.6 (param. NP)																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Trvalé a dočasné</th> <th>Mimořádné</th> <th>Použitelnost</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_{cc}:</td> <td><input type="text" value="1.00"/></td> <td><input type="text" value="1.00"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>α_{ct}:</td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>						Trvalé a dočasné	Mimořádné	Použitelnost	α_{cc} :	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text"/>	α_{ct} :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Trvalé a dočasné	Mimořádné	Použitelnost													
α_{cc} :	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text"/>													
α_{ct} :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>													
Různé																
<input checked="" type="checkbox"/> Omezení výšky tlakové oblasti podle 5.6.3(2)																

Obr. 2.42: Dialog 1.4 Výztuž, záložka EN 1992-1-1 s možným sklonem tlakových diagonál

Velikost minimálního úhlu sklonu tlakové diagonály θ závisí také na působících vnitřních silách V_{Ed} , které lze zohlednit až během výpočtu. Pokud je minimální sklon tlakových diagonál, který jsme zvolili, příliš malý, zobrazí se příslušné hlášení.

Při výpočtu se nejdříve určí únosnost $V_{Rd,max}$ betonové tlakové diagonály při uvedeném minimálním úhlu jejího sklonu (viz rovnice 2.36). Pokud je menší než působící posouvající síla V_{Ed} , pak je třeba zvolit větší sklon tlakové diagonály. Sklon tlakové diagonály θ se pak bude tak dlouho zvětšovat, dokud nebude platit:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Rovnice 2.34

Tento úhel sklonu tlakové diagonály vyžaduje nejmenší smykovou výztuž.

2.4.4.3 Únosnost ve smyku betonové tlakové diagonály

Pro prvky se svislou **smykovou výztuží** je únosnost ve smyku V_{Rd} menší hodnota z:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (6.8)$$

Rovnice 2.35

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (6.9)$$

Rovnice 2.36

kdy

A_{sw}	Průřezová plocha smykové výztuže
s	Osová vzdálenost třmínek
f_{ywd}	Návrhová mez kluzu smykové výztuže
v_1	Redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem
α_{cw}	Součinitel pro zohlednění stavu napětí v tlačeném pásu

Pro prvky se **skloněnou smykovou výztuží** je únosnost ve smyku menší z hodnot:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad (6.13)$$

Rovnice 2.37

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \quad (6.14)$$

Rovnice 2.38

2.4.4.4 Příklad posouzení na smyk

Na základě detailů posouzení nyní přiblížíme posouzení desky na smyk podle EN 1992-1-1 (srov. příklad ke staticky nutné výztuži, str. 34).

Nejdříve se zobrazí posouvající síly spočítané v RFEMu.

☑ Posudková zpráva			
☑ Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
☑ Momenty			
☐	Ohybový moment ve směru osy x	m_x	-24.52 kNm/m
☐	Ohybový moment ve směru osy y	m_y	3.25 kNm/m
☐	Torzí moment	m_{xy}	-1.38 kNm/m
☑ Normálové síly			
☑ Posouvající síly			
☐	Posouvající síla ve směru osy x	v_x	-14.728 kN/m
☐	Posouvající síla ve směru osy y	v_y	-59.209 kN/m
☐	Hlavní posouvající síla	v_{max}	61.013 kN/m
☑ Hlavní vnitřní síly			
☑ Hlavní momenty			
☑ Hlavní normálové síly			
☑ Hlavní posouvající síla			
☐	Hlavní posouvající síla	v_{max}	61.013 kN/m
☐	Směr	β_m	76.031 °

Obr. 2.43: Vnitřní síly lineárního výpočtu desky - posouvající síly

Z těchto vnitřních sil se vypočítá nutná podélná výztuž.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
Návrhová membránová síla
Návrhová membránová síla je nulová. Není nutná žádná výztuž.
<input checked="" type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> v 3. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)
<input checked="" type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> v 3. směru výztuže

Obr. 2.44: Nutná podélná výztuž

Vlastní ověření únosnosti ve smyku vidíme níže v detailech posouzení. Začíná výpočtem tahové výztuže, kterou lze použít ve směru hlavní posouvající síly.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
Použitá tahová výztuž určená z nutné podélné výztuže.
Použití definované základní výztuže není nutné, protože podélná výztuž je dostačující.
<input checked="" type="checkbox"/> Použitá podélná výztuž
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> z 1. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> z 2. směru výztuže
Nutná podélná výztuž
Napjatost
Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly
2. mocnina kosinu rozdílového úhlu
<input checked="" type="checkbox"/> z 3. směru výztuže
Nutná podélná výztuž
Napjatost
Žádná transformace (žádný tah)
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)
<input checked="" type="checkbox"/> z 1. směru výztuže
Nutná podélná výztuž
Napjatost
Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly
2. mocnina kosinu rozdílového úhlu
<input checked="" type="checkbox"/> z 2. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> z 3. směru výztuže

Obr. 2.45: Posouzení na posouvající síly - použitá tahová výztuž

Druhý směr výztuže na dolní straně desky a první směr výztuže na horní straně desky jsou jedinými výztužnými směry, v nichž působí tah a které jsou přibližně rovnoběžné se směrem hlavní posouvající síly.

Pro tyto směry vychází *použitá tahová výztuž* a_s o velikosti 0,61 cm²/m.

Při výpočtu únosnosti desky ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže se bude vycházet z následujících parametrů:

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,15 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{(200 / d)} = 1 + \sqrt{(200 / 160)} = 2,11 \leq 2,00 \rightarrow k = 2,00 \quad d \text{ v [mm]}$$

$$d = 0,160 \text{ m}$$

$$\rho_l = a_{sl} / (b_w \cdot d) = 0,613 / (100 \cdot 16) = 0,000383 \leq 0,02$$

$$b_w = 1,00 \text{ m}$$

$$f_{ck} = 20,0 \text{ MPa} \quad \text{pro beton C20/25}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,00 \cdot (100 \cdot 0,000383 \cdot 20)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,00] \cdot 1000 \cdot 160 = 35,135 \text{ kN/m}$$

Stejný výsledek najdeme i v detailech posouzení:

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
<input type="checkbox"/> Použitá tahová výztuž určená z nutné podélné výztuže.
<input type="checkbox"/> Použití definované základní výztuže není nutné, protože podélná výztuž je dostačující.
<input checked="" type="checkbox"/> Použitá podélná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Smyková únosnost bez smykové výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> Smyková únosnost podle vzorce (6.2.a)
Součinitel spolehlivosti
<input checked="" type="checkbox"/> Součinitel vlivu velikosti
Statically účinná výška
<input checked="" type="checkbox"/> Stupeň vyztužení podélnou výztuží
<input checked="" type="checkbox"/> Použitá podélná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Šířka dílce
<input checked="" type="checkbox"/> Statically účinná výška
Charakteristická pevnost betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Součinitel podélného napětí betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Osově napětí betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Normálová síla ve směru hlavní posouvající síly
<input checked="" type="checkbox"/> Šířka dílce
<input checked="" type="checkbox"/> Výška dílce
<input checked="" type="checkbox"/> Šířka dílce
<input checked="" type="checkbox"/> Statically účinná výška
<input checked="" type="checkbox"/> Smyková únosnost podle vzorce (6.2.a)

Obr. 2.46: Posouzení na posouvající síly – smyková únosnost bez smykové výztuže

Únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ desky bez smykové výztuže se porovná s působící posouvající silou V_{Ed} .

$$V_{Rd,c} = 35,142 \text{ kN/m} \geq V_{Ed} = 29,56 \text{ kN/m}$$

Je zřejmé, že únosnost desky ve smyku bez smykové výztuže je dostačující a žádná další posouzení nejsou zapotřebí.

2.4.5 Pravidla pro výztuž

V případě desek se uplatňují konstrukční pravidla pro výztuž, která jsme popsali v kapitole 2.3.7 na straně 25.

V modulu RF-CONCRETE Surfaces může uživatel nastavit požadované údaje v dialogu 1.4 Výztuž.

Důležité jsou přitom následující záložky:

- Záložka *Uspořádání výztuže* (viz obr. 3.26, strana 149)
- Záložka *EN 1992-1-1* (viz obr. 3.37, strana 157)

Pokud byly pro minimální smykovou výztuž nastaveny v obou záložkách odlišné údaje, jsou směrodatné ty méně příznivé.

Nastavení pro výztuž, které zadal uživatel, se zobrazí také v detailech posouzení.

<input checked="" type="checkbox"/>	Posudková zpráva		
<input checked="" type="checkbox"/>	Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input checked="" type="checkbox"/>	Hlavní vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Návrhové vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tlaková diagonála betonu		
<input checked="" type="checkbox"/>	Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil		
<input checked="" type="checkbox"/>	Posouzení na posouvající síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Staticky nutná podélná výztuž		
<input checked="" type="checkbox"/>	Minimální výztuž		
<input type="checkbox"/>	Minimální podélná výztuž		
<input type="checkbox"/>	Stupeň minimálního vyztužení		
<input type="checkbox"/>	Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/>	Horní povrch (-z)		
<input checked="" type="checkbox"/>	Minimální příčná výztuž		
	Minimální stupeň příčné výztuže	min ρ_Q	20.0 %
<input type="checkbox"/>	Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/>	Horní povrch (-z)		
<input checked="" type="checkbox"/>	Minimální výztuž		
<input type="checkbox"/>	Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/>	Horní povrch (-z)		
<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrola maximálního stupně vyztužení		
<input type="checkbox"/>	Navržený stupeň vyztužení	ρ_I	0.207
<input type="checkbox"/>	Maximální stupeň vyztužení podélnou výztuží	max ρ_I	4.000
<input type="checkbox"/>	Maximální stupeň podélného vyztužení překročen?	(max ρ_I) < (ρ_I)	Ne

Obr. 2.47: Minimální výztuž a maximální stupeň vyztužení

<input checked="" type="checkbox"/>	Posudková zpráva		
<input checked="" type="checkbox"/>	Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input checked="" type="checkbox"/>	Hlavní vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Návrhové vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tlaková diagonála betonu		
<input checked="" type="checkbox"/>	Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil		
<input checked="" type="checkbox"/>	Posouzení na posouvající síly		
<input checked="" type="checkbox"/>	Staticky nutná podélná výztuž		
<input checked="" type="checkbox"/>	Minimální výztuž		
<input checked="" type="checkbox"/>	Kontrola maximálního stupně vyztužení		
<input checked="" type="checkbox"/>	Vkládaná výztuž		
<input checked="" type="checkbox"/>	Dolní povrch (+z)		
<input type="checkbox"/>	v 1. směru výztuže	$a_{s,+z,1}$	5.29 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Staticky nutná výztuž	$a_{s,stat,+z,1}$	5.29 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální výztuž	$a_{s,min,+z,1}$	2.08 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální podélná výztuž	$a_{s,min,pođel,+z,1}$	2.08 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Výztuž jako příčná výztuž	$a_{s,minQ,+z,1}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	v 2. směru výztuže	$a_{s,+z,2}$	1.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Staticky nutná výztuž	$a_{s,stat,+z,2}$	0.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální výztuž	$a_{s,min,+z,2}$	1.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální podélná výztuž	$a_{s,min,pođel,+z,2}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Výztuž jako příčná výztuž	$a_{s,minQ,+z,2}$	1.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	v 3. směru výztuže	$a_{s,+z,3}$	1.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Staticky nutná výztuž	$a_{s,stat,+z,3}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální výztuž	$a_{s,min,+z,3}$	1.06 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Minimální podélná výztuž	$a_{s,min,pođel,+z,3}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	Výztuž jako příčná výztuž	$a_{s,minQ,+z,3}$	1.06 cm ² /m
<input checked="" type="checkbox"/>	Horní povrch (-z)		
<input type="checkbox"/>	v 1. směru výztuže	$a_{s,-z,1}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	v 2. směru výztuže	$a_{s,-z,2}$	0.00 cm ² /m
<input type="checkbox"/>	v 3. směru výztuže	$a_{s,-z,3}$	0.00 cm ² /m

Obr. 2.48: Vkládaná výztuž

Vkládaná výztuž se zobrazí zvlášť pro *dolní povrch (+z)* a *horní povrch (-z)*. Rozliší se přitom výztuže v jednotlivých směrech a je patrné, zda vkládaná výztuž vyplývá ze staticky nutné výztuže nebo minimální podélné výztuže.

2.5 Skořepiny

2.5.1 Koncepce posouzení



Skořepiny představují z hlediska vnitřních sil kombinaci stěn (kapitola 2.3) a desek (kapitola 2.4), protože v nich působí jak normálové síly tak momenty.

Všechny 3D typy modelů (viz obr. 2.1, strana 9) se řeší jako skořepina. Program RF-CONCRETE Surfaces proto postupuje následovně: nejdříve se spočítají zvlášť návrhové normálové síly a návrhové ohybové momenty tak, jak jsme ukázali v kapitole 2.3 a kapitole 2.4. Vychází se opět z hlavních normálových sil a hlavních ohybových momentů z lineárního výpočtu desek v RFEMu.

Pro každý výtuzný směr na každé z obou stran plochy se tak vypočítá návrhová normálová síla, resp. návrhový moment. Přitom hodnota jedné z těchto vnitřních sil nebo i obou může být nulová, pokud se při hledání optimálního směru betonové tlakové diagonály během výpočtu návrhových vnitřních sil zjistí, že výtuz v daném směru není aktivována.

Jakmile jsme určili návrhové vnitřní síly každého výtuzného směru, zaměří se hlavní pozornost na ten směr výtuz, v němž existují návrhové momenty. Pro tento směr se nyní provede běžný jednorozměrný návrh 1 m širokého nosníku. Cílem tohoto návrhu ovšem není určit nutnou výtuz, nýbrž stanovit rameno vnitřních sil.

Máme-li vypočtena v tomto předběžném návrhu všechna ramena těch výtuzných směrů, v nichž se vyskytuje návrhový moment, určí se nejmenší rameno pro každou stranu desky. Pomocí této excentricity lze nyní momenty z lineárního výpočtu desek převést na membránové síly. Při tom se momenty z lineárního výpočtu desek jednoduše vydělí nejmenším ramenem z_{min} .

Po přičtení poloviční normálové síly z lineárního výpočtu desek, která působí kolmo na vektor momentu vyděleného ramenem vnitřních sil, získáme konečnou membránovou sílu. Tento postup lze vyjádřit následovně:

$$n_{xs} = \frac{m_x}{z_{min}} + \frac{n_x}{2}$$

$$n_{ys} = \frac{m_y}{z_{min}} + \frac{n_y}{2}$$

$$n_{xys} = \frac{m_{xy}}{z_{min}} + \frac{n_{xy}}{2}$$

Rovnice 2.39

Momenty na horní a dolní straně desky se uvažují s odlišným znaménkem.

Pokud momenty m_x , m_y a m_{xy} a normálové síly n_x , n_y a n_{xy} z lineárního výpočtu desek nahradíme pomocí ramene z_{min} z předběžného návrhu membránovými silami n_{xs} , n_{ys} a n_{xys} , lze z těchto membránových sil určit *hlavní membránové síly* n_{1s} a n_{1is} pro horní a dolní stranu desky.

Z hlavních membránových sil n_{1s} a n_{1is} se spočítají tak, jak jsme popsali v kapitole 2.3 na straně 13 *navrhové membránové síly* n_{α} , n_{β} a n_{γ} podle rovnice 2.5, 2.6 a 2.7. Tyto návrhové membránové síly n_{α} , n_{β} a n_{γ} se poté přiřadí výtuzným směřům φ_1 , φ_2 a φ_3 . Získáme tak návrhové membránové síly n_1 , n_2 a n_3 ve směrech výtuz.

Z návrhových membránových sil lze určit nutné množství oceli tak, že je vydělíme napětím v oceli σ_s , které nám vyšlo při výpočtu minimálního ramene z_{min} v příslušném výtuzném směru.

$$a_{s1} = \frac{n_1}{\sigma_s}$$

$$a_{s2} = \frac{n_2}{\sigma_s}$$

$$a_{s3} = \frac{n_3}{\sigma_s}$$

Rovnice 2.40

Pokud se v případě návrhové membránové síly jedná o tlakovou sílu, určí se nejprve pomocí výšky tlačené oblasti betonu x , která vyplynula z výpočtu ramene vnitřních sil, normálová síla n_c , kterou je beton schopen přenést.

$$n_c = f_{cd} \cdot b \cdot x$$

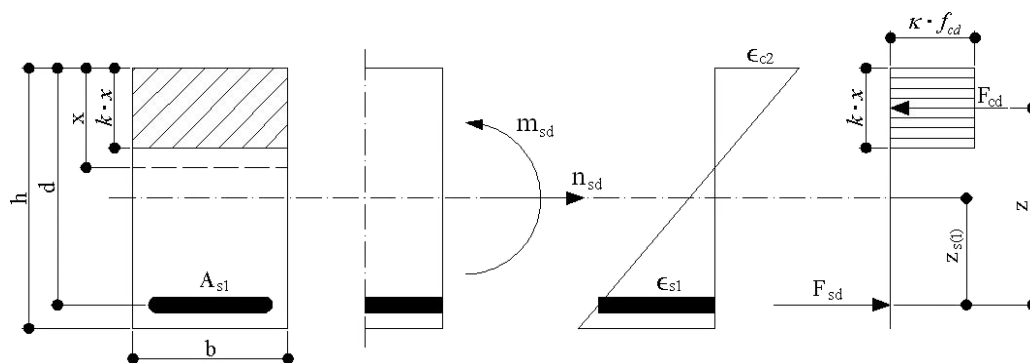
Rovnice 2.41

Pokud není únosnost osově namáhaného betonu n_c dostatečná, spočítá se pro rozdíl mezi působící normálovou silou a normálovou silou, kterou je beton schopen přenést, tlaková výztuž. Návrhové napětí pro tuto tlakovou výztuž vyplývá z deformace tlakové výztuže při určení ramene z .

Jestliže se rameno určilo pro oblast deformace III, nespočítá se žádná tlaková výztuž, protože se nepředpokládá. Oblasti deformace I až V popisujeme v následující kapitole při určování ramene vnitřních sil.

2.5.2 Rameno vnitřních sil

Dimenzovat se bude vždy obdélníkový průřez se šířkou 1 m. Návrh proběhne přímo na základě obdélníkového rozdělení napětí (viz EN 1992-1-1, obrázek 3.5). Iterační postup by byl vzhledem ke značnému počtu potřebných posouzení časově příliš náročný.



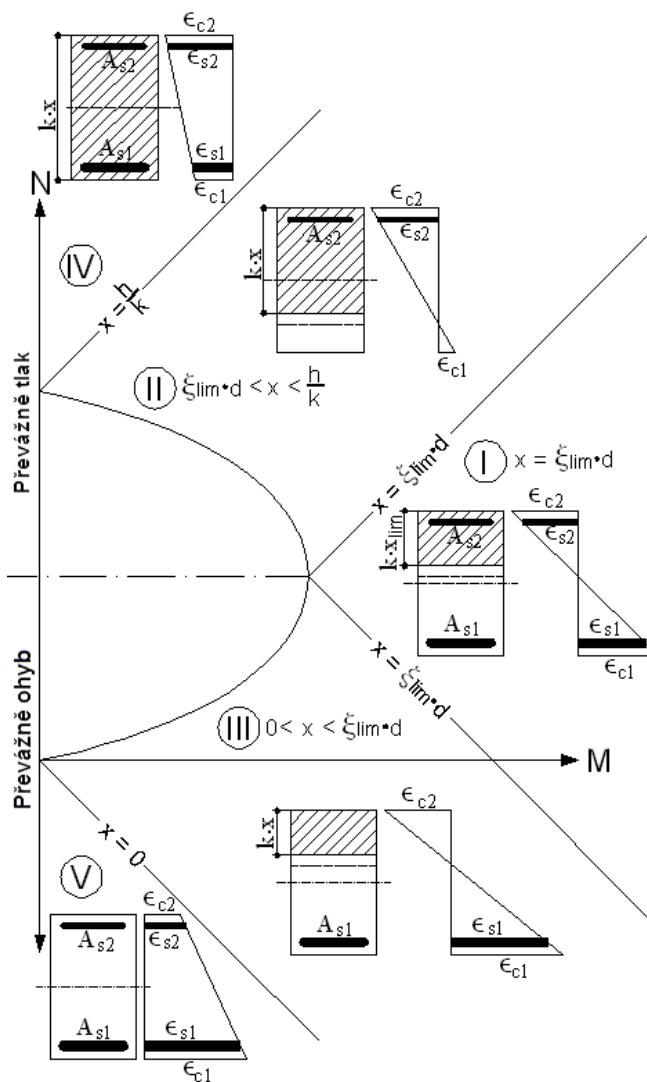
Obr. 2.49: Výpočetní parametry návrhu

Rameno vnitřních sil z se stanoví pro výše uvedené zobrazení následovně:

$$z = d - \frac{k \cdot x}{2}$$

Rovnice 2.42

Na obr. 2.49 je znázorněn specifický stav přetvoření, který může nastat při současném momentovém a osovém zatížení. Existuje 5 možných stavů přetvoření (viz obr. 2.50).



Obr. 2.50: Oblasti rozdělení poměrných přetvoření

Oblast I

Průřez je silně namáhán ohybem. Výška tlačené oblasti dosáhla maximální hodnoty ($x = \xi_{lim} \cdot d$). Zvýšit moment únosnosti dále umožňuje pouze vložení tlakové výztuže.

Oblast II

V této oblasti působí převážně tlak. Výška tlačené oblasti se pohybuje mezi krajními hodnotami $\xi_{lim} \cdot d$ a h/k .

Oblast III

Působí zde tak malý moment, že tlačená oblast betonu je schopna i bez tlakové výztuže zajistit dostatečný moment únosnosti. Mezní hodnoty pro výšku tlačené oblasti leží v závislosti na působícím momentu mezi 0 a $\xi_{lim} \cdot d$.

Oblast IV

Průřez je zcela přemáhán tlakovou silou. Výška tlačené oblasti je větší než h/k . Do této oblasti také spadají průřezy namáhané výlučně tlakem.

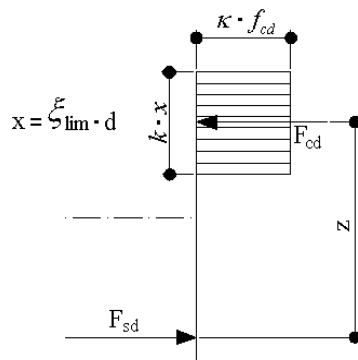
Oblast V

V tomto stavu přetvoření je průřez zcela potrhán tahovou silou. Do této oblasti spadají také průřezy výlučně namáhané tahem.

Pro každou oblast přetvoření se vždy spočítá rameno vnitřních sil, kterým se vydělí momenty lineárního výpočtu desek, a získají se tak membránové síly.

Rameno vnitřních sil pro oblast I

Pro tuto oblast známe výšku tlačené oblasti: Beton je plně využit před vložením tlakové výztuže.



Obr. 2.51: Rameno vnitřních sil z při maximální výšce tlačené oblasti betonu

Pro tuto maximální výšku tlačené oblasti betonu x se vypočítá pevnost betonu v tlaku F_{cd} podle následující rovnice:

$$F_{cd} = \kappa \cdot f_{cd} \cdot k \cdot x_{lim} \cdot b$$

Rovnice 2.43

Mezní moment únosnosti $m_{sd,lim}$, který může průřez přenést bez tlakové výztuže, se určí následovně:

$$m_{sd,lim} = F_{cd} \cdot \left(d - \frac{k \cdot x_{lim}}{2} \right)$$

Rovnice 2.44

Na základě mezního momentu únosnosti $m_{sd,lim}$ lze stanovit rozdílový moment Δm_{sd} , který musí být schopna přenést tlaková výztuž, aby nastala rovnováha s působícím momentem $m_{sd(1)}$.

$$\Delta m_{sd} = m_{sd(1)} - m_{sd,lim}$$

Rovnice 2.45

Působící moment $m_{sd(1)}$ je tu vztažen k těžišti tahové výztuže. Určuje se na základě působícího momentu m_{sd} , působící normálové síly n_{sd} a vzdálenosti $z_{s(1)}$ mezi těžištní osou průřezu a těžištní osou tahové výztuže.

$$m_{sd(1)} = m_{sd} - n_{sd} \cdot z_{s(1)}$$

Rovnice 2.46

Pomocí rozdílového momentu Δm_{sd} lze nyní stanovit nutnou tlakovou sílu $F_{sd(2)}$ v tlakové výztuži.

$$F_{sd(2)} = \frac{\Delta m_{sd}}{d - d_2}$$

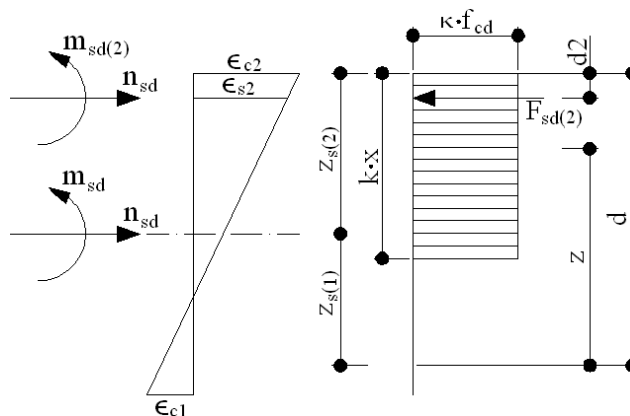
Rovnice 2.47

Přitom d je účinná výška tahové výztuže a d_2 vzdálenost těžiště tlakové výztuže od okraje tlačené oblasti betonu.

Pokud nyní vydělíme působící moment $m_{sd(1)}$ vztažený k těžišti tahové výztuže tlakovou silou v betonu F_{cd} a silou v tlakové výztuži $F_{sd(2)}$, získáme příslušné rameno vnitřních sil z.

$$z = \frac{m_{sd}}{F_{cd} + F_{sd(2)}}$$

Rovnice 2.48

Rameno vnitřních sil pro oblast II

Obr. 2.52: Výpočet ramene vnitřních sil pro oblast II

Pokud chceme zjistit výšku tlačené oblasti betonu x , spočítáme nejdříve návrhový moment $m_{sd(2)}$ okolo těžiště tlakové výztuže.

$$m_{sd(2)} = m_{sd} + n_{sd} \cdot z_{s(2)}$$

Rovnice 2.49

Nyní sečteme momenty okolo těžiště tlakové výztuže. Tento součet se musí rovnat nule. Na straně únosnosti se moment stanoví pouze z výsledné síly F_{cd} v tlačené oblasti betonu vynásobené její vzdáleností.

V oblasti II se nevyskytuje žádná tažená výztuž.

$$\sum m = F_{cd} \cdot \left(\frac{k \cdot x}{2} - d_2 \right) + m_{sd(2)} = 0$$

Rovnice 2.50

Také ve výsledné tlakové síle v betonu F_{cd} je zohledněna výška x tlačené oblasti betonu.

$$F_{cd} = \kappa \cdot f_{cd} \cdot k \cdot x \cdot b$$

Rovnice 2.51

Z toho lze odvodit rovnici pro stanovení x :

$$\kappa \cdot f_{cd} \cdot k \cdot x \cdot b \cdot \left(\frac{k \cdot x}{2} - d_2 \right) + m_{sd(2)} = \frac{\kappa \cdot f_{cd} \cdot b \cdot k^2 \cdot x^2}{2} - \kappa \cdot f_{cd} \cdot k \cdot x \cdot b \cdot d_2 + m_{sd(2)} = 0$$

$$x^2 - \frac{2 \cdot d_2 \cdot x}{k} + \frac{2 \cdot m_{sd(2)}}{\kappa \cdot f_{cd} \cdot b \cdot k^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{d_2}{k} + \sqrt{\left(\frac{d_2}{k} \right)^2 - \frac{2 \cdot m_{sd(2)}}{\kappa \cdot f_{cd} \cdot b \cdot k^2}}$$

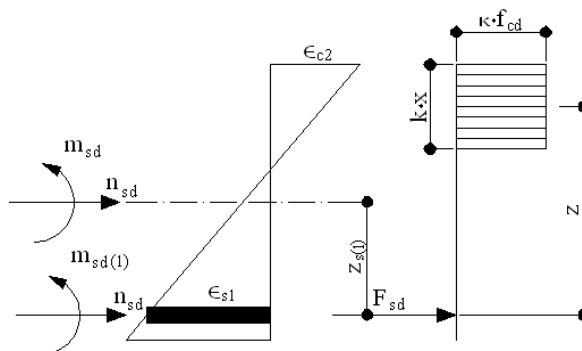
Rovnice 2.52

Jakmile známe výšku x tlačené oblasti betonu, lze rameno vnitřních sil z určit tak, že od staticky účinné výšky d odečteme poloviční hodnotu výšky tlačené oblasti x redukované součinitelem k :

$$z = d - \frac{k \cdot x}{2}$$

Rovnice 2.53

Rameno vnitřních sil pro oblast III



Obr. 2.53: Výpočet ramene vnitřních sil pro oblast III

Pokud chceme zjistit výšku tlačené oblasti betonu x, spočítáme nejdříve návrhový moment $m_{sd(1)}$ okolo těžiště tahové výztuže.

$$m_{sd(1)} = m_{sd} - n_{sd} \cdot z_{s(1)}$$

Rovnice 2.54

Nyní sečteme momenty okolo těžiště tahové výztuže. Tento součet se musí rovnat nule. Na straně únosnosti se moment stanoví pouze z výsledné síly F_{cd} v tlačené oblasti betonu vynásobené její vzdáleností. Následně se vytvoří rovnováha momentů okolo místa uložení tahové výztuže.

$$\sum m = F_{cd} \cdot \left(d - \frac{k \cdot x}{2} \right) - m_{sd(1)} = 0$$

Rovnice 2.55

Také ve výsledné tlakové síle v betonu F_{cd} je zohledněna výška x tlačené oblasti betonu (viz rovnice 2.51).

$$\kappa \cdot f_{cd} \cdot k \cdot b \cdot d \cdot x - \left(\frac{\kappa \cdot f_{cd} \cdot k^2 \cdot b}{2} \right) \cdot x^2 - m_{sd(1)} = x^2 - \frac{2 \cdot d}{k} \cdot x + \frac{2 \cdot m_{sd(1)}}{\kappa \cdot f_{cd} \cdot k^2 \cdot b} = 0$$

Rovnice 2.56

Tuto kvadratickou rovnici lze řešit následovně:

$$x = \frac{d}{k} + \sqrt{\frac{d^2}{k^2} - \frac{2 \cdot m_{sd(1)}}{\kappa \cdot f_{cd} \cdot k^2 \cdot b}}$$

Rovnice 2.57

Jakmile známe výšku x tlačené oblasti betonu, lze rameno vnitřních sil z určit tak, že od staticky účinné výšky d odečteme poloviční hodnotu výšky tlačené oblasti x redukované součinitelem k.

$$z = d - \frac{k \cdot x}{2}$$

Rovnice 2.58

Pokud je přetvoření oceli ϵ_s větší než maximální dovolené přetvoření oceli ϵ_{ud} , stanoví se x iteračním výpočtem z podmínek rovnováhy. Převodní součinitele κ a k pro tlacenou oblast betonu se přitom odvodí přímo z parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu pro beton.

Rameno vnitřních sil pro oblast IV

V průřezu zcela přemáhaném tlakem se rameno vnitřních sil stanoví jako vzdálenost mezi oběma výztužemi.

$$z = d - d_2$$

Rovnice 2.59

Pro tuto oblast se stanoví maximální využití výztuže, tj. $\epsilon_s = \epsilon_{cu}$.

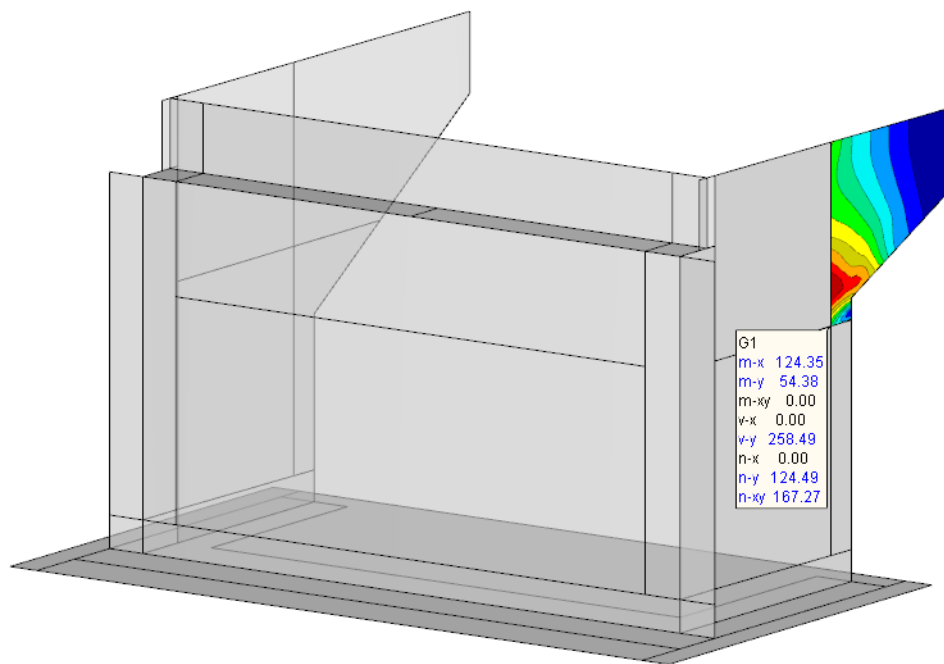
V částech průřezu, které jsou vystaveny přibližně dostřednému tlaku ($e/h < 0,1$), má být podle EN 1992-1-1, čl. 6.1 (5) průměrné poměrné stlačení těchto částí omezeno hodnotou ϵ_{c2} .

Rameno vnitřních sil pro oblast V

Ve zcela potřhaném průřezu se rameno vnitřních sil rovněž stanoví jako vzdálenost mezi oběma výztužemi (viz rovnice 2.59).

2.5.3 Výpočet návrhových membránových sil

V této kapitole spočítáme návrhové membránové síly pro opěru mostu. Pro bližší šetření vybereme rastrový bod č. 1 na ploše č. 37.



Obr. 2.54: Mostní opěra – vnitřní síly v rastrovém bodu R1

Tloušťka plochy č. 37 je **129 cm**.

Pro dimenzování podle EN 1992-1-1 vybereme v modulu RF-CONCRETE Surfaces beton **C30/37** a výztužnou ocel **BSt 500 S (B)**.

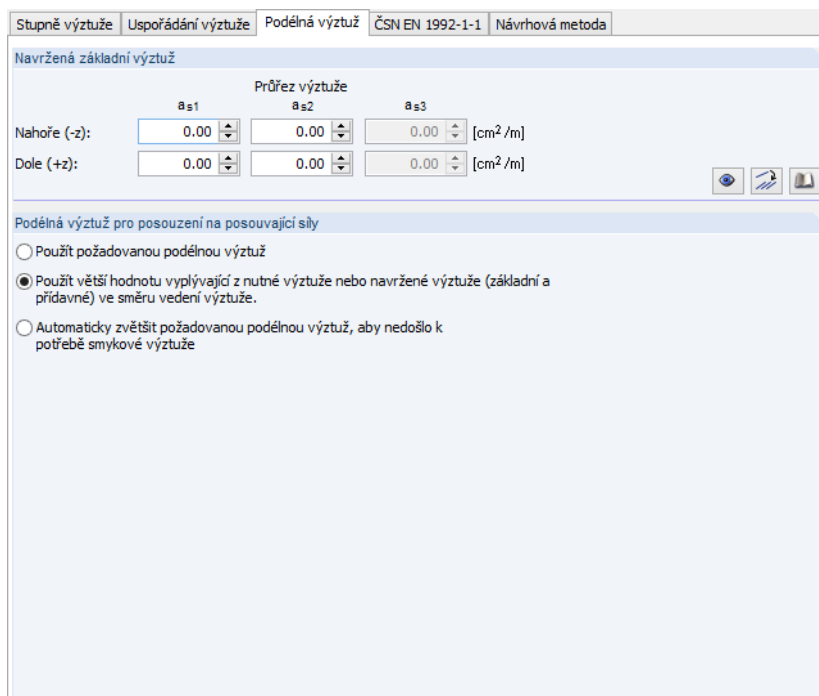
Další vstupní údaje v dialogu 1.4 Výztuž vidíme na následujících obrázcích:

Stupně výztuže	Uspořádání výztuže	Podélná výztuž	ČSN EN 1992-1-1	Návrhová metoda
Nastavení				
Minimální příčná výztuž:	20.00 [%]			
Minimální výztuž celkem:	0.00 [%]			
Minimální tahová výztuž:	0.00 [%]			
Minimální tlaková výztuž:	0.00 [%]			
Maximální výztuž celkem:	4.00 [%]			
Minimální smyková výztuž:	0.00 [%]			

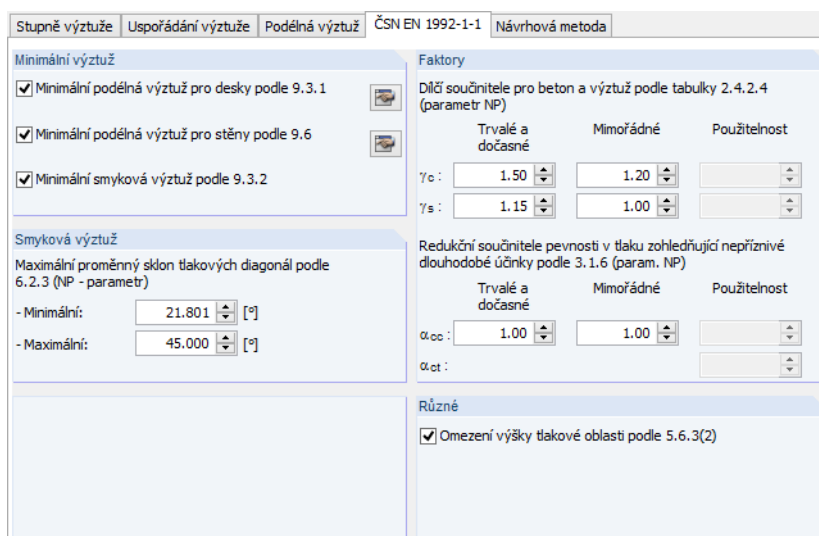
Obr. 2.55: Dialog 1.4 Výztuž, záložka *Stupně výztuže*

Stupně výztuže	Uspořádání výztuže	Podélná výztuž	ČSN EN 1992-1-1	Návrhová metoda															
Počet směrů výztuže																			
Horní (-z) :	2																		
Dolní (+z) :	2																		
Krytí výztuže vztáhnout k																			
<input checked="" type="radio"/> Těžišti výztuže <input type="radio"/> Okraj Průměr prutu D : 1.00 [cm]																			
Krytí výztuže																			
<input type="checkbox"/> Podle normy...																			
<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>d₁</th> <th>d₂</th> <th>d₃</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horní (-z) :</td> <td>3.00 [cm]</td> <td>4.00 [cm]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dolní (+z) :</td> <td>3.00 [cm]</td> <td>4.00 [cm]</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						d ₁	d ₂	d ₃		Horní (-z) :	3.00 [cm]	4.00 [cm]			Dolní (+z) :	3.00 [cm]	4.00 [cm]		
	d ₁	d ₂	d ₃																
Horní (-z) :	3.00 [cm]	4.00 [cm]																	
Dolní (+z) :	3.00 [cm]	4.00 [cm]																	
Směry výztuže vztahované k lokální ose x prvku sítě pro výsledky																			
<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>φ₁</th> <th>φ₂</th> <th>φ₃</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horní (-z) :</td> <td>0.000 [°]</td> <td>90.000 [°]</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dolní (+z) :</td> <td>0.000 [°]</td> <td>90.000 [°]</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						φ ₁	φ ₂	φ ₃		Horní (-z) :	0.000 [°]	90.000 [°]			Dolní (+z) :	0.000 [°]	90.000 [°]		
	φ ₁	φ ₂	φ ₃																
Horní (-z) :	0.000 [°]	90.000 [°]																	
Dolní (+z) :	0.000 [°]	90.000 [°]																	

Obr. 2.56: Dialog 1.4 Výztuž, záložka *Uspořádání výztuže*



Obr. 2.57: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Podélná výztuž



Obr. 2.58: Dialog 1.4 Výztuž, záložka EN 1992-1-1

Stupně výztuže | Uspořádání výztuže | Podélná výztuž | ČSN EN 1992-1-1 | **Návrhová metoda**

Návrhové vnitřní síly

Bez optimalizace návrhových vnitřních sil
(Doporučeno pro díly namáhané převážně tlakem)

Optimalizace návrhových vnitřních sil
(Doporučeno pro díly namáhané převážně ohybem nebo tahem)

Výztuž v blízkosti tlakové diagonály použít až do maximální odchylky: [°]

Porušení na mezi deformace

Porušení na mezi únosnosti

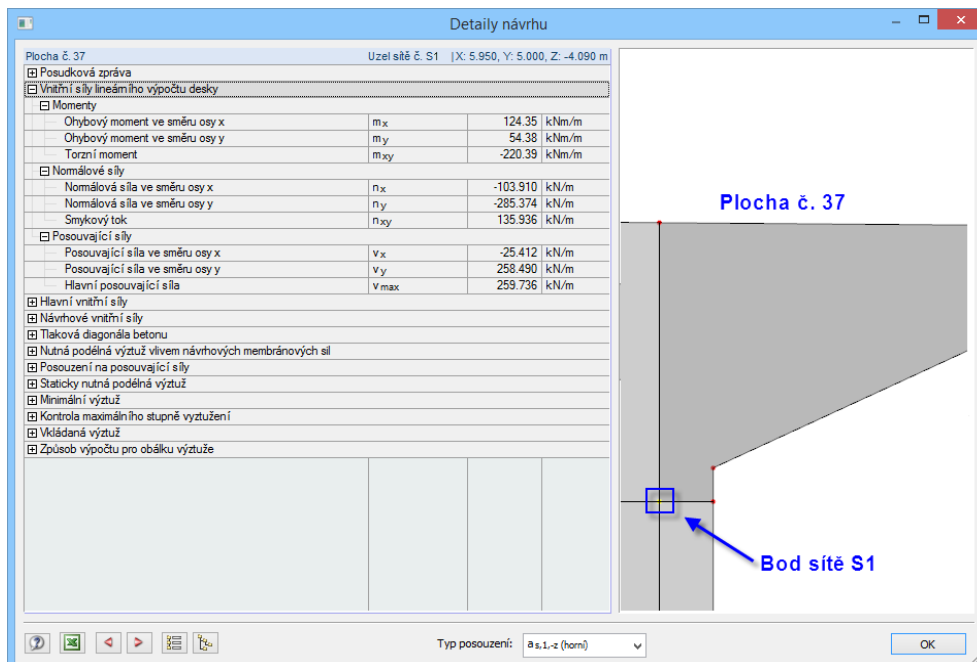
Automaticky

Zvětšení tahové výztuže z důvodu posouvající síly podle 6.2.3(7)

Obr. 2.59: Dialog 1.4 Výztuž, záložka *Návrhová metoda*

2.5.3.1 Návrhové momenty

V detailech posouzení rastrového bodu se zobrazí vnitřní síly, které jsme získali interpolací z uzlů sítě konečných prvků. Vzhledem k tomu, že v základních údajích konstrukce jsme zvolili typ modelu 3D (viz obr. 2.1, strana 9), vyskytují se v posuzované ploše jak momenty m_x , m_y a m_{xy} tak normálové síly n_x , n_y a n_{xy} .



Obr. 2.60: Vnitřní síly lineárního výpočtu

Z vnitřních sil lineárního výpočtu v RFEMu se stanoví hlavní vnitřní síly. Určí se pomocí rovnic uvedených v kapitole 2.3 a 2.4.

Hlavní vnitřní síly			
Hlavní momenty			
Dolní povrch (+z)			
1. hlavní moment	$m_{I,+z}$	312.51	kNm/m
2. hlavní moment	$m_{II,+z}$	-133.78	kNm/m
Směr	$\alpha_{m,+z}$	-40.490	°
Horní povrch (-z)			
1. hlavní moment	$m_{I,-z}$	133.78	kNm/m
2. hlavní moment	$m_{II,-z}$	-312.51	kNm/m
Směr	$\alpha_{m,-z}$	49.510	°
Hlavní normálové síly			
Dolní povrch (+z)			
1. hlavní normálová síla	$n_{I,+z}$	-31.207	kN/m
2. hlavní normálová síla	$n_{II,+z}$	-358.076	kN/m
Směr	$\alpha_{n,+z}$	28.139	°
Horní povrch (-z)			
1. hlavní normálová síla	$n_{I,-z}$	-31.207	kN/m
2. hlavní normálová síla	$n_{II,-z}$	-358.076	kN/m
Směr	$\alpha_{n,-z}$	28.139	°
Hlavní posouvající síla			
Hlavní posouvající síla	v_{max}	259.736	kN/m
Směr	β_m	95.615	°

Obr. 2.61: Hlavní vnitřní síly

V případě skořepin se uvádí hlavní normálové síly pro obě strany desky. Jsou totiž nezbytné pro úlohu dimenzovanou jako skořepina. Hlavní normálové síly na horní a spodní straně desky jsou – na rozdíl od momentů – stejné.

Z hlavních momentů $m_{I,+z}$ a $m_{II,+z}$ na dolní straně plochy se nyní spočítají návrhové momenty. K tomu se nejprve určí rozdílové úhly $\alpha_{m,+z}$ a $\beta_{m,+z}$ mezi směrem $\alpha_{m,+z}$ první hlavní normálové síly $m_{I,+z}$ na dolní straně plochy a oběma výztužnými směry $\varphi_1 = 0^\circ$ a $\varphi_2 = 90^\circ$.

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a
<input type="checkbox"/> 1. směrem výztuže $\Delta\Phi_{+z,1,b}$ 40.490 °
<input type="checkbox"/> 2. směrem výztuže $\Delta\Phi_{+z,2,b}$ 130.490 °
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. rozdílový úhel $\alpha_{m,+z}$ 40.490 °
<input type="checkbox"/> 2. rozdílový úhel $\beta_{m,+z}$ 130.490 °

Obr. 2.62: Rozdílové úhly

Nyní se bude hledat směr momentu, který dvousměrnou výztužnou síť zpevňuje. Jak jsme již ukázali u stěn a desek, připadají pro směr tohoto momentu v úvahu pouze oba půlící úhly mezi výztužnými směry. Pro předpokládané betonové tlakové diagonály na dolní straně desky jsou tak možné následující směry:

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
Nový rozdílový úhel $\gamma_{m,+z,1}$ 85.490 °
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. návrhový ohybový moment $m_{\alpha,+z,1}$ 344.73 kNm/m
<input type="checkbox"/> 2. návrhový ohybový moment $m_{\beta,+z,1}$ 274.76 kNm/m
<input type="checkbox"/> 3. návrhový ohybový moment $m_{\gamma,+z,1}$ -440.77 kNm/m
<input type="checkbox"/> Přípustný směr tlakové diagonály? $m_{\text{tlak. diag.},+z,1}$ Ano
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
Nový rozdílový úhel $\gamma_{m,+z,2}$ 175.490 °
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. návrhový ohybový moment $m_{\alpha,+z,2}$ -96.04 kNm/m
<input type="checkbox"/> 2. návrhový ohybový moment $m_{\beta,+z,2}$ -166.01 kNm/m
<input type="checkbox"/> 3. návrhový ohybový moment $m_{\gamma,+z,2}$ 440.77 kNm/m
<input type="checkbox"/> Přípustný směr tlakové diagonály? $m_{\text{tlak. diag.},+z,2}$ Ne

Obr. 2.63: Směry γ betonové tlakové diagonály

Pouze směr $\gamma_{m,+z,1}$ 85,489° se ukazuje být přípustný. Vzhledem k tomu, že tento úhel se již nijak neoptimalizuje, jsou výsledné návrhové momenty $m_{\text{end},+z,\varphi_1}$ a $m_{\text{end},+z,\varphi_2}$ v obou výztužných směrech konečné:

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input type="checkbox"/> Hlavní momenty
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,+z}$ a
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové ohybové momenty)
<input type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála
<input type="checkbox"/> Rozhodující návrhové ohybové momenty
<input type="checkbox"/> Konečné návrhové ohybové momenty
<input type="checkbox"/> v 1. směru $m_{\text{end},+z,\varphi_1}$ 344.73 kNm/m
<input type="checkbox"/> ve 2. směru $m_{\text{end},+z,\varphi_2}$ 274.76 kNm/m
<input type="checkbox"/> ve směru diagonály $m_{\text{end},+z,\text{tlak. diag.}}$ -440.77 kNm/m

Obr. 2.64: Konečné návrhové momenty

2.5.3.2 Návrhové normálové síly

Stejný princip se použije i pro výpočet návrhových normálových sil $n_{end,+z,\varphi_1}$ a $n_{end,+z,\varphi_2}$.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové normálové síly
<input type="checkbox"/> Hlavní normálové síly
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{n,+z}$ a
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input checked="" type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové normálové síly)
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála
<input type="checkbox"/> Rozhodující návrhové normálové síly
<input type="checkbox"/> v 1. směru
<input type="checkbox"/> v 2. směru
<input type="checkbox"/> ve směru diagonály
<input type="checkbox"/> Optimalizovat směr diagonály?
<input checked="" type="checkbox"/> Konečné návrhové normálové síly
<input type="checkbox"/> v 1. směru
<input type="checkbox"/> v 2. směru
<input type="checkbox"/> ve směru diagonály

n_{+z,φ_1}	32.026	kN/m
n_{+z,φ_2}	-149.438	kN/m
$n_{end,+z,tlak. diag.}$	-271.872	kN/m
Tlak. diag. opti, n, +z	Ne	
$n_{end,+z,\varphi_1}$	32.026	kN/m
$n_{end,+z,\varphi_2}$	-149.438	kN/m
$n_{end,+z,tlak. diag.}$	-271.872	kN/m

Obr. 2.65: Návrhové normálové síly

2.5.3.3 Rameno vnitřních sil

Na základě návrhových vnitřních sil pro výztužné směry $\varphi_1 = 0^\circ$ a $\varphi_2 = 90^\circ$ lze určit rameno vnitřních sil.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové normálové síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Návrhový moment
<input type="checkbox"/> Návrhová normálová síla
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Návrhový moment
<input type="checkbox"/> Návrhová normálová síla

$m_{konec,+z,\varphi_1}$	344.73	kNm/m
$n_{konec,+z,\varphi_1}$	32.026	kN/m
$m_{konec,+z,\varphi_2}$	274.76	kNm/m
$n_{konec,+z,\varphi_2}$	-149.438	kN/m

Obr. 2.66: Návrhové vnitřní síly

Jak jsme popsali v kapitole 2.5.2 na straně 47, provede se pro oba směry výztuže předběžný návrh na základě spočtených vnitřních sil. Cílem je přitom stanovit rameno vnitřních sil. Rameno vnitřních sil se určí ze stavu přetvoření od návrhových vnitřních sil (viz následující obrázek).

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input type="checkbox"/> Návrhové normálové síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Minimální rameno vnitřních sil
<input type="checkbox"/> z posouzení v 1 směru výztuže
<input type="checkbox"/> z posouzení v 2 směru výztuže
<input type="checkbox"/> Moment okolo středu tahové výztuže
<input type="checkbox"/> Moment okolo středu tlakové výztuže
<input type="checkbox"/> Maximální výška neutrální osy
<input type="checkbox"/> Mezní normálová síla
<input type="checkbox"/> Mezní moment
<input type="checkbox"/> Je mezní normálová síla větší než působící normálová síla
<input type="checkbox"/> Odmocněnec
<input type="checkbox"/> Je odmocněnec menší než nula?
<input type="checkbox"/> Výpočtová výška tlakové oblasti
<input type="checkbox"/> Je výpočtová výška neutrální osy betonu záporná?
<input type="checkbox"/> Navržený poměr výška neutrální osy / účinná výška
<input type="checkbox"/> Je navržený poměr větší než mezní poměr x / d?
<input type="checkbox"/> Rozhodující oblast (viz příručku)
<input type="checkbox"/> Rameno vnitřních sil
<input type="checkbox"/> Membránová síla
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)
<input type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
<input type="checkbox"/> Staticky nutná podélná výztuž
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž

Obr. 2.67: Rameno vnitřních sil

Výsledné nejmenší, a tudíž rozhodující rameno vnitřních sil $z_{min,+z}$ má hodnotu 1,239 m.

2.5.3.4 Membránové síly

Pomocí rozhodujícího ramene vnitřních sil z předběžného návrhu lze nyní vnitřní síly z lineárního výpočtu desek transformovat do membránových sil. K tomu se použijí rovnice uvedené na straně 46.

$$n_{sx,+z} = \frac{m_x}{z_{min,+z}} + \frac{n_x}{2} = \frac{124,35}{1,239} + \frac{-103,911}{2} = 48,408 \text{ kN/m}$$

$$n_{sy,+z} = \frac{m_y}{z_{min,+z}} + \frac{n_y}{2} = \frac{54,36}{1,239} + \frac{-285,386}{2} = -98,819 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy,+z} = \frac{m_{xy}}{z_{min,+z}} + \frac{n_{xy}}{2} = \frac{-220,39}{1,239} + \frac{135,935}{2} = -109,910 \text{ kN/m}$$

Tyto membránové síly také najdeme v detailech posouzení.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové normálové síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální rameno vnitřních sil
<input checked="" type="checkbox"/> Membránová síla
<input type="checkbox"/> ve směru osy x
— Moment
— Minimální rameno vnitřních sil
— Normálová síla
<input type="checkbox"/> ve směru osy y
— Moment
— Minimální rameno vnitřních sil
— Normálová síla
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílová membránová síla
— Moment
— Minimální rameno vnitřních sil
— Normálová síla

Obr. 2.68: Membránové síly

2.5.3.5 Návrhové membránové síly

Z membránových sil $n_{sx,+z}$, $n_{sy,+z}$ a $n_{xy,+z}$, které nahrazují momenty m_x , m_y , m_{xy} a normálové síly n_x , n_y , n_{xy} z lineárního výpočtu desek, se nyní určí hlavní membránové síly $ns_{I,+z}$ a $ns_{II,+z}$.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové normálové síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální rameno vnitřních sil
<input checked="" type="checkbox"/> Membránová síla
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové membránové síly
<input type="checkbox"/> Hlavní membránové síly
— 1. hlavní membránová síla
— 2. hlavní membránová síla
— Směr
— Kvocient $k = ns_{II,+z}/ns_{I,+z}$

Obr. 2.69: Návrhové membránové síly

Z hlavních membránových sil lze pomocí rovnice 2.5, 2.6 a 2.7 spočítat návrhové membránové síly (viz strana 15). Uvádí se v detailech posouzení.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva		
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky		
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)		
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty		
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové normálové síly		
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly		
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální rameno vnitřních sil		
Z min,+z	1.239	m
<input checked="" type="checkbox"/> Membránová síla		
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly		
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní membránové síly		
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{ns,+z}$ a α		
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna		
<input type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu		
Nový rozdílový úhel	$\gamma_{ns,+z,1}$	73.097 °
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly podle Baumanna		
1. návrhová membránová síla	$ns_{\alpha,+z,1}$	158.337 kN/m
2. návrhová membránová síla	$ns_{\beta,+z,1}$	11.127 kN/m
3. návrhová membránová síla	$ns_{\gamma,+z,1}$	-219.846 kN/m
Přípustný směr tlakové diagonály?	$ns_{tlak. diag,+z,1}$	Yes
<input type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu		
<input checked="" type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové membránové síly)		
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála		
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující návrhové membránové síly		
<input type="checkbox"/> Konečné návrhové membránové síly		
v 1. směru	$ns_{end,+z,\phi,1}$	158.337 kN/m
ve 2. směru	$ns_{end,+z,\phi,2}$	11.127 kN/m
ve směru diagonály	$ns_{end,+z,tlak. diag.}$	-219.846 kN/m

Obr. 2.70: Konečné návrhové membránové síly

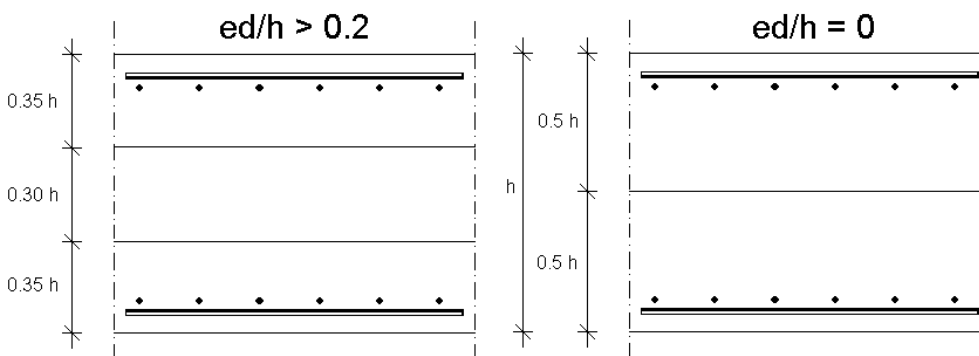
Na základě konečných návrhových membránových sil $ns_{end,+z,\phi,1}$ a $ns_{end,+z,\phi,2}$ se určí nutné průřezy výztuže dvousměrné výztužné sítě pro dolní stranu plochy.

Výztužná síť je zpevněna betonovou tlakovou diagonálou. Velikost síly působící ve ztužující vzpěře $ns_{end,+z,tlak. diag.}$ je uvedena pod konečnými návrhovými membránovými silami. V tomto případě činí - 219,859 kN/m.

Obdobně se spočítají návrhové membránové síly a ztužující síla ve směru betonové vzpěry pro horní stranu desky.

2.5.4 Průkaz betonových tlakových diagonál

Pro posouzení betonové tlakové diagonály ve skořepině se skořepina rozdělí do 3 náhradních desek namáhaných návrhovými membránovými silami.



Obr. 2.71: Tloušťky náhradních desek pro skořepiny namáhané převážně momentem (vlevo) a tlakovou silou (vpravo)

U skořepin namáhaných velkým momentem v poměru k působící normálové síle ($e_d/h > 0,2$) se tloušťka h_E obou vnějších desek zmenší na $0,35 \cdot d$. Pro skořepiny namáhané přibližně dostředným tlakem se tloušťka náhradních desek h_E zvyšuje na poloviční tloušťku plochy h . Pokud poměrná výstřednost normálové síly e_d/h leží v rozmezí 0 až 0,2, tloušťka náhradních desek se interpoluje.

Za e_d se dosadí větší hodnota z podílů m_x/n_x a m_y/n_y .

Pro posouzení betonové tlakové diagonály se síla působící v betonové tlakové diagonále $n_{\text{tlak. diag.,+z}}$ porovná s pevností osově namáhané náhradní desky $n_{\text{tlak. diag.,d}}$.

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva			
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu			
<input type="checkbox"/> Tloušťka náhradní lamely	h_E	45,15	mm
<input type="checkbox"/> Vztážené excentrické zatížení	e_d/h	0,928	
<input type="checkbox"/> Převládající namáhání	Namáhání	Tlak	
<input type="checkbox"/> Součinitel tloušťky plochy	f_{hE}	0,350	
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Návrhové membránové síly ve směru tlakové diagonály	$n_{\text{stlak. diag.,+z}}$	-219,846	kN/m
<input type="checkbox"/> Membránová síla přenesená betonem	$n_{\text{tlak. diag.,d}}$	-7224,000	kN/m
<input type="checkbox"/> Šířka náhradní lamely	b	1000,0	mm
<input type="checkbox"/> Tloušťka náhradní lamely	h_E	451,5	mm
<input type="checkbox"/> Použitá pevnost betonu	$f_{cd,08}$	16,00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Jednoosá pevnost betonu v tlaku	f_{cd}	20,00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Stupeň maximálního využití	ξ_{fcd}	0,800	
<input type="checkbox"/> Selhání tlakové diagonály betonu?	$n_{\text{tlak. diag.,d}} < n_{\text{st}}$	Ne	

Obr. 2.72: Betonová tlaková diagonála a tloušťka náhradní desky

Normálová síla $n_{\text{tlak. diag.,d}}$, kterou může deska přenést, závisí na tloušťce h_E náhradní desky a dosažené pevnosti betonu $f_{cd,08}$.

Tloušťka náhradní desky se spočítá tak, že se z vnitřních sil lineárního výpočtu desek nejdříve stanoví návrhová výstřednost zatížení ve směru x a y .

$$e_{dx} = \left| \frac{m_x}{n_x} \right| = \left| \frac{124,35}{-103,911} \right| = 1,197 \text{ m}$$

$$e_{dy} = \left| \frac{m_y}{n_y} \right| = \left| \frac{54,36}{-285,386} \right| = 0,190 \text{ m}$$

Za rozhodující se bude považovat větší výstřednost zatížení ve směru x . Pomocí ní lze stanovit poměrnou výstřednost zatížení e_d/h .

$$e_d/h = \frac{1,197}{1,29} = 0,928 > 0,2$$

Vzhledem k tomu, že poměrná výstřednost zatížení je větší než 0,2, jedná se tu o skořepinu převážně namáhanou ohybem. Součinitel f_{hE} pro výpočet tloušťky náhradní desky činí 0,35.

Tloušťka h_E náhradní desky se tak vypočítá následovně:

$$h_E = f_{hE} \cdot h = 0,35 \cdot 129 = 45,15 \text{ cm}$$

Návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku se v souladu s doporučeními SCHLAICHA/SCHÄFERA (viz Betonkalender 1993/II, str. 378) snižuje na 80 %. Obdobné doporučení lze najít také v EN 1992-1-1, v článku 6.5.2, kterým se upravuje posouzení tlakových diagonál v příhradových modelech.

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd,08} = 0,8 \cdot 20 = 16 \text{ MPa}$$

Tuto hodnotu najdeme také v detailech posouzení (viz obr. 2.72).

Na jejím základě lze určit pevnost betonové tlakové diagonály $n_{\text{tlak. diag.,d}}$.

$$n_{\text{tlak. diag.,d}} = b \cdot h_E \cdot f_{cd,08} = 100 \cdot 45,15 \cdot 16 = 7224,00 \text{ kN/m}$$

Posouzení betonové tlakové diagonály na horní straně desky probíhá obdobně.

2.5.5 Nutná podélná výztuž

Podélná výztuž, kterou je třeba použít na dolní straně plochy, se spočítá z návrhových membránových sil. V detailech posouzení se zobrazí údaje zvlášť pro oba směry výztuže.

☑ Posudková zpráva			
☑ Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
☑ Hlavní vnitřní síly			
☑ Návrhové vnitřní síly			
☑ Tlaková diagonála betonu			
☑ Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil			
☐ Dolní povrch (+z)			
☐ v 1. směru výztuže	$a_{s,dim,+z,1}$	3.40	cm ² /m
☐ Návrhová membránová síla	$n s_{kon,+z,\phi 1}$	158.337	kN/m
☐ Návrhové napětí	$\sigma_{s,+z,1}$	465.93	N/mm ²
☐ v 2. směru výztuže	$a_{s,dim,+z,2}$	0.24	cm ² /m
☐ Konečná návrhová nomálová síla	$n_{dim,+z,\phi 2}$	11.127	kN/m
☐ Návrhové napětí	$\sigma_{s,+z,2}$	465.93	N/mm ²

Obr. 2.73: Nutná podélná výztuž

$$a_{s,dim+z,1} = \frac{n s_{end,+z,\phi 1}}{\sigma_{s,+z,1}} = \frac{158,344}{465,93} = 3,40 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$a_{s,dim+z,2} = \frac{n s_{end,+z,\phi 2}}{\sigma_{s,+z,2}} = \frac{11,116}{465,93} = 0,24 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Výztuž na horní straně plochy se spočítá obdobně.

2.5.6 Posouzení na posouvající síly

Pro posouzení na posouvající síly se nejprve určí použitá tahová výztuž.

☐ Posouzení na posouvající síly			
Použitá tahová výztuž určená z nutné podélné výztuže.			
Základní vyztužení je nedostatečné. Je nutná i smyková výztuž.			
☐ Použitá podélná výztuž	a_{sl}	1.54	cm ² /m
☐ Dolní povrch (+z)			
☐ z 1. směru výztuže	$a_{sl,+z,1}$	0.03	cm ² /m
— Nutná podélná výztuž	$a_{s,dim+z,1}$	3.40	cm ² /m
— Napjatost	Napětí $\sigma_{z,1}$	Tah	
— Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly	$\Delta\phi_{+z,1}$	84.385	°
— 2. mocnina kosinu rozdílového úhlu	$\cos^2(\Delta\phi_{+z,1})$	0.010	
☐ z 2. směru výztuže	$a_{sl,+z,2}$	0.24	cm ² /m
— Nutná podélná výztuž	$a_{s,dim+z,2}$	0.24	cm ² /m
— Napjatost	Napětí $\sigma_{z,2}$	Tah	
— Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly	$\Delta\phi_{+z,2}$	5.615	°
— 2. mocnina kosinu rozdílového úhlu	$\cos^2(\Delta\phi_{+z,2})$	0.990	
☐ Horní povrch (-z)			
☐ z 1. směru výztuže	$a_{sl,-z,1}$	0.02	cm ² /m
— Nutná podélná výztuž	$a_{s,dim-z,1}$	2.00	cm ² /m
— Napjatost	Napětí $\sigma_{z,-z,1}$	Tah	
— Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly	$\Delta\phi_{-z,1}$	84.385	°
— 2. mocnina kosinu rozdílového úhlu	$\cos^2(\Delta\phi_{-z,1})$	0.010	
☐ z 2. směru výztuže	$a_{sl,-z,2}$	1.26	cm ² /m
— Nutná podélná výztuž	$a_{s,dim-z,2}$	1.27	cm ² /m
— Napjatost	Napětí $\sigma_{z,-z,2}$	Tah	
— Diferenční úhel ke směru hlavní posouvající síly	$\Delta\phi_{-z,2}$	5.615	°
— 2. mocnina kosinu rozdílového úhlu	$\cos^2(\Delta\phi_{-z,2})$	0.990	

Obr. 2.74: Použitá tahová výztuž

Ze všech vrstev a směrů výztuže lze jako tahovou výztuž použít celkem 1,54 cm²/m. Pomocí tohoto údaje se spočítá únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže.

☐ Posouzení na posouvající síly			
Použitá tahová výztuž určená z nutné podélné výztuže.			
Použití definované základní výztuže není nutné, protože podélná výztuž je dostačující.			
☐ Použitá podélná výztuž	a_{sl}	1.54	cm ² /m
☐ Smyková únosnost bez smykové výztuže			
☐ Smyková únosnost podle vzorce (6.2.a)			
— Součinitel spolehlivosti	$C_{Rd,c}$	0.120	
☐ Součinitel vlivu velikosti	k	1.399	
— Staticky účinná výška	d	1.255	m
☐ Stupeň vyztužení podélnou výztuží	ρ_l	0.000	
— Použitá podélná výztuž	a_{sl}	1.54	cm ² /m
— Šířka dílce	b_w	1.000	cm
— Staticky účinná výška	d	1.255	m
— Charakteristická pevnost betonu	f_{ck}	30.00	N/mm ²
— Součinitel podélného napětí betonu	k_1	0.150	
☐ Osové napětí betonu	σ_{cp}	0.33	N/mm ²
— Normálová síla ve směru hlavní posouvající síly	$n\beta$	-425.773	kN/m
— Šířka dílce	b_w	1.000	cm
— Výška dílce	h	129.00	cm
— Šířka dílce	b_w	1.000	cm
— Staticky účinná výška	d	1.255	m
— Smyková únosnost podle vzorce (6.2.a)	$V_{Rd,c,6.2a}$	213.271	kN/m
☐ Minimální smyková únosnost podle (6.2.b)			
☐ Součinitel pevnosti v tlaku	v_{min}	0.317	
— Součinitel vlivu velikosti	k	1.399	
— Charakteristická pevnost betonu	f_{ck}	30.00	N/mm ²
— Součinitel podélného napětí betonu	k_1	0.150	
☐ Osové napětí betonu	σ_{cp}	0.33	N/mm ²
— Normálová síla ve směru hlavní posouvající síly	$n\beta$	-425.773	kN/m
— Šířka dílce	b_w	1.000	cm
— Výška dílce	h	129.00	cm
— Šířka dílce	b_w	1.000	cm
— Staticky účinná výška	d	1.255	m
— Minimální smyková únosnost podle (6.2.b)	$V_{Rd,c,6.2b}$	460.326	kN/m
— Smyková únosnost bez smykové výztuže	$V_{Rd,c}$	460.326	kN/m
☐ Je nutná smyková výztuž?			
— Únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$V_{Rd,c}$	460.326	kN/m
— Působící posouvající síla	V_{Ed}	259.736	kN/m
— Únosnost ve smyku je dostačující. Žádná další posouzení.			

Obr. 2.75: Únosnost ve smyku bez smykové výztuže

Na základě použité tahové výztuže se stanoví stupeň vyztužení podélnou výztuží ρ_l :

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 1,54 / (100 \cdot 125,5) = 0,00012 \leq 0,02$$

V modelech typu 3D (na rozdíl od desky) se může vyskytnout přídatná normálová síla, kterou je třeba zohlednit příslušným podélným napětím v betonu.

$$\sigma_{cp} = n_{\beta} / (b_w \cdot h) = -425,783 / (100 \cdot 129) = -0,33 \text{ N/m}^2$$

Součinitel k pro zohlednění tloušťky desky se spočítá následovně:

$$k = 1 + \sqrt{(200 / d)} = 1 + \sqrt{(200 / 1255)} = 1,399 \leq 2,0 \quad d \text{ v [mm]}$$

Do posouzení dále vstupují následující součinitele:

Součinitel podélného napětí v betonu	$k_1 = 0,15$
Pevnost betonu v tlaku u C30/37	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$C_{rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$

Na tomto základě lze pomocí rovnice (6.2a) určit smykovou únosnost $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže:

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \\ &= [0,12 \cdot 1,399 \cdot (100 \cdot 0,00012 \cdot 30,0)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,33] \cdot 1000 \cdot 1255 = 212,00 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Minimální hodnota únosnosti ve smyku $V_{Rd,c}$ bez smykové výztuže se spočítá pomocí rovnice (6.2b) z minimálního stupně vyztužení v_{min} :

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,399^{3/2} \cdot 30,0^{1/2} = 0,317$$

$$V_{Rd,c} = (0,317 + 0,15 \cdot 0,33) \cdot 1000 \cdot 1255 = 459,96 \text{ kN/m}$$

Únosnost desky ve smyku $V_{Rd,c} = 459,96 \text{ kN/m}$ je větší než působící posouvající síla $V_{Ed} = 259,726 \text{ kN/m}$, a proto v našem příkladu není žádná smyková výztuž nutná.

Pokud by únosnost desky ve smyku nepostačovala, nejdříve by se ověřilo, zda je dostatečná maximální únosnost ve smyku betonové tlakové diagonály $V_{Rd,max}$. $V_{Rd,max}$ se stanoví na základě minimálního sklonu tlakové diagonály θ . Jestliže je smyková únosnost betonové tlakové diagonály větší než působící posouvající síla V_{Ed} , lze stanovit staticky nutnou smykovou výztuž a_{sw} . Následně se ještě provede posouzení pro smykovou výztuž $V_{Rd,sy}$.

2.5.7 Staticky nutná podélná výztuž

Tabulka s detailními informacemi o posouzení zahrnuje také údaje o staticky nutné podélné výztuži.

<input type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
<input type="checkbox"/> Staticky nutná podélná výztuž
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
z posouzení
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
z posouzení
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
z posouzení
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
z posouzení

Obr. 2.76: Staticky nutná podélná výztuž

U každého výztužného směru se uvádí, jaké posouzení je pro staticky nutnou výztuž rozhodující.

V našem příkladu vyplývají všechny podélné výztuže z posouzení prvku na ohyb jako skořepiny. V jiných případech by mohlo být také důvodem pro nutnou podélnou výztuž vynechání smykové výztuže.

2.5.8 Minimální podélná výztuž

Staticky nutná podélná výztuž se nyní porovná s minimální výztuží. Bohužel v žádné z norem, které jsou v modulu RF-CONCRETE Surfaces k dispozici, nenajdeme předpisy k minimální výztuži u skořepin. Jako kritérium tak slouží převažující způsob namáhání, čili rozlišuje se, zda se jedná spíše o stěnu (namáhanou převážně tlakem) nebo o desku (namáhanou převážně ohybem). Kritériem pro toto rozlišení je poměrná výstřednost zatížení e_d / h v mezním stavu únosnosti (MSÚ):

$$\frac{e_d}{h} = \frac{m}{n}$$

Rovnice 2.60

kdy

- m Moment z lineárního výpočtu desek (MSÚ)
- n Normálová síla z lineárního výpočtu desek (MSÚ)
- h Tloušťka desky

Jelikož v dimenzovaném bodě existují momenty a normálové síly jak ve směru x tak ve směru y, poměrná výstřednost zatížení pro daný dimenzovaný bod odpovídá největšímu podílu momentu a normálové síly v obou směrech.

Jednotně pro všechny normy se v modulu RF-CONCRETE Surfaces stanoví:

$$\frac{e_d}{h} > 3,5: \quad \text{Namáhání převážně ohybem} \Rightarrow \text{Předpisy pro výztuž, které platí pro } \mathbf{desky}$$

$$\frac{e_d}{h} \leq 3,5: \quad \text{Namáhání převážně tlakem} \Rightarrow \text{Předpisy pro výztuž, které platí pro } \mathbf{stěny}$$

Příslušná ustanovení najdeme v EN 1992-1-1 v článcích 9.3 Plné desky a 9.6 Stěny. Zásady týkající se minimálních výztuží jsou uvedeny v kapitole 2.3.7 na straně 24 a v kapitole 2.4.5 na straně 44 u předpisů pro výztuž stěn a desek.

V našem příkladu, v němž je skořepina namáhána převážně ohybem, se zobrazí následující minimální výztuž.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
<input checked="" type="checkbox"/> Staticky nutná podélná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Stupeň minimálního vyztužení
<input type="checkbox"/> Minimální stupeň tahové výztuže
<input type="checkbox"/> Minimální stupeň tlakové výztuže
<input type="checkbox"/> Celkový minimální stupeň vyztužení
<input checked="" type="checkbox"/> Vztážno k průřezu
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní podélná výztuž s tahem na této straně
<input type="checkbox"/> Směr hlavní podélné výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž v 1. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Napjatost
<input type="checkbox"/> Minimální tahová výztuž
<input type="checkbox"/> Minimální tlaková výztuž
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž celkově
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž stěn
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž pro houževnaté díly
<input checked="" type="checkbox"/> První výpočtová hodnota minimální podélné výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> Druhá výpočtová hodnota minimální podélné výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální podélná výztuž v 2. směru výztuže

Obr. 2.77: Minimální podélná výztuž

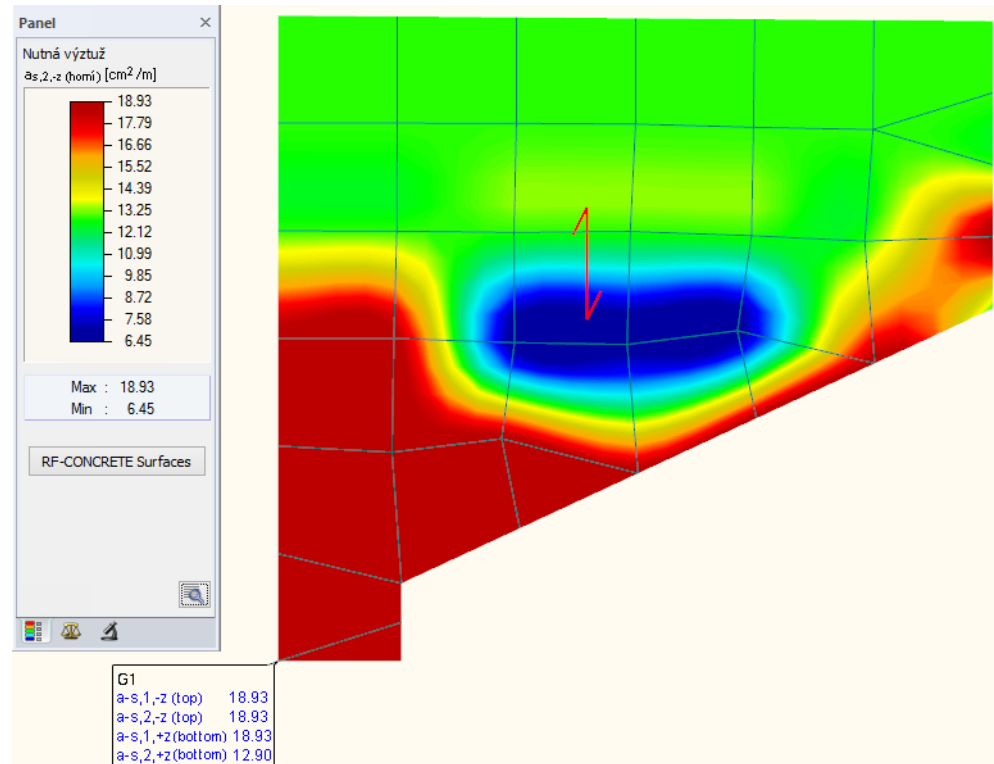
2.5.9 Vkládaná výztuž

Výztuž, která se v prvku použije, se určí ze staticky nutné výztuže a minimální výztuže.

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly
<input checked="" type="checkbox"/> Tlaková diagonála betonu
<input checked="" type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení na posouvající síly
<input checked="" type="checkbox"/> Staticky nutná podélná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola maximálního stupně vyztužení
<input checked="" type="checkbox"/> Vkládaná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)
<input checked="" type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> v 3. směru výztuže
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)
<input checked="" type="checkbox"/> v 1. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> v 2. směru výztuže
<input type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž
<input checked="" type="checkbox"/> v 3. směru výztuže

Obr. 2.78: Vkládaná výztuž

Průřezy této výztuže lze také nechat zobrazit pro bod rastru č. 1 v grafickém okně.



Obr. 2.79: Grafické zobrazení výztuže u plochy č. 37

2.6 Použitelnost

Posouzení v mezních stavech použitelnosti sestávají z několika jednotlivých posouzení. Níže uvádíme seznam článků EN 1992-1-1, které mají pro tato posouzení význam:

- Omezení napětí: článek 7.2
- Omezení trhlin: článek 7.3
- Omezení průhybu: článek 7.4

Výše uvedená posouzení jsou popsána v příslušných normách pro prutové prvky. Jak jsme zmínili v předchozí části tohoto manuálu, v mezním stavu únosnosti se návrhová situace plošného prvku transformuje do několika prutových prvků v jednotlivých směrech výztuže. Totéž platí i pro posouzení v mezním stavu použitelnosti.

2.6.1 Návrhové vnitřní síly

Na rozdíl od transformace pro mezní stav únosnosti nelze hlavní vnitřní síly čistě geometricky rozdělit do vnitřních sil v jednotlivých výztužných směrech. Takové rozdělení předpokládá u později vložené výztuže poměr přetvoření 1,0. K tomu, aby výztuže v obou směrech vykazovaly stejné přetvoření, je ovšem třeba navrhnout při rozdílných návrhových silách v těchto výztužných směrech odpovídající průřezy výztuže. V mezním stavu použitelnosti se ovšem zjišťují návrhové vnitřní síly již pro existující výztuž.

V mezním stavu použitelnosti se nepočítá žádná nutná výztuž, ale určuje se na základě navržené výztuže skutečný poměr přetvoření. Ve všech případech, kdy vložená výztuž neodpovídá nutné výztuži, se skutečný poměr přetvoření výztuží nerovná hodnotě 1,0.

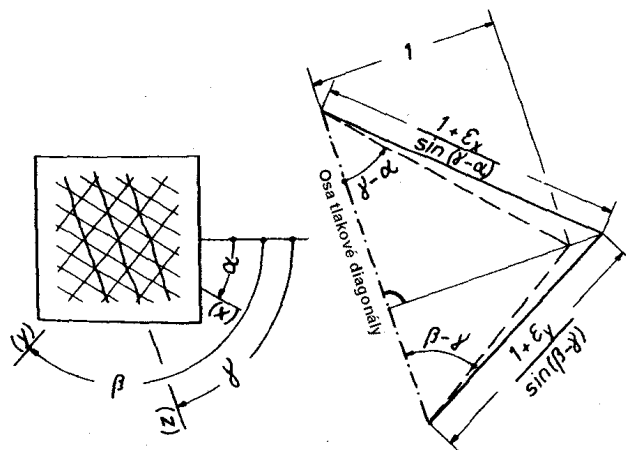
Neplatí tudíž předpoklad stejného poměru přetvoření. Je třeba najít jiný poměr přetvoření, který potvrdí výsledné návrhové vnitřní síly. Při řešení tohoto úkolu hraje geometrický vztah mezi poměrem přetvoření a směrem betonové tlakové diagonály významnou roli.

BAUMANN [1] k tomu poznamenává: „Pokud zanedbáme stlačení betonu, neboť je obecně malé oproti přetvoření výztuže, obdržíme z obrázku 38 jako podmínku kompatibility“

$$\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = \frac{\sin^2(\beta - \gamma)}{\sin^2(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.61

Na následujícím znázornění vidíme v citátu zmiňovaný „obrázek 38“ s podmínkou kompatibility poměrných přetvoření u dvousměrné výztužné sítě.



Obr. 2.80: Kompatibilita poměrných přetvoření

Členy rovnice 2.61 ϵ_y a ϵ_x jsou přetvoření obou výztužných směrů. Úhly α a β představují úhly mezi směrem hlavní síly a příslušnými výztužnými směry. Menší z nich se označí jako α . Úhel γ odpovídá rozdílovému úhlu mezi směrem betonové tlakové diagonály a směrem první hlavní vnitřní síly.

Úhly α a β se nemění. Oproti tomu úhel γ se změní, pokud je v důsledku rozdílně tuhých výztužných směrů třeba ke zpevnění výztužné sítě zvolit jiný směr betonové tlakové diagonály.

Návrhové vnitřní síly v jednotlivých výztužných směrech jsou závislé na vybraném směru betonové tlakové diagonály. Na základě těchto návrhových vnitřních sil lze určit napětí ve výztužích v jednotlivých směrech. Z těchto napětí pak vycházejí různé normy při formulaci rovnic, pomocí nichž lze spočítat průměrná přetvoření výztuže vzhledem k betonu. EN-1992-1-1 například řeší tento výpočet pomocí rovnice (7.9):

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Rovnice 2.62

Následně lze stanovit podíl rozdílů přetvoření mezi betonem a betonářskou ocelí v druhém a prvním výztužném směru.

$$Q_\epsilon = \frac{(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})_{\varphi 2}}{(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})_{\varphi 1}}$$

Rovnice 2.63

Z rovnice 2.61 lze rovněž stanovit poměr přetvoření, který se odvozuje z geometrických zákonitostí.

$$Q_{\epsilon,geo} = \frac{\epsilon_{\varphi 2}}{\epsilon_{\varphi 1}} = \frac{\sin^2(\beta - \gamma)}{\sin^2(\gamma - \alpha)}$$

Rovnice 2.64

V obou případech se přetvoření druhého výztužného směru objevuje v čitateli. Předpokládá se totiž, že první výztužný směr svírá s první hlavní vnitřní silou menší rozdílový úhel. Pokud by svíral druhý výztužný směr s první hlavní vnitřní silou menší rozdílový úhel, pak by se v čitateli nacházela přetvoření prvního výztužného směru.

Oba podíly závisí na zvoleném směru betonové tlakové diagonály. Směr betonové tlakové diagonály se nyní pokusíme zvolit tak, aby oba podíly měly stejnou hodnotu.

$$Q_\epsilon = Q_{\epsilon,geo}$$

Rovnice 2.61

Pokud geometrický poměr přetvoření $Q_{\epsilon,geo}$ po prvním výpočetním cyklu ještě neodpovídá skutečnému poměru přetvoření, stanoví se jiný směr betonové tlakové diagonály a určí se z toho vyplývající geometrický poměr přetvoření. Tento postup se opakuje tak dlouho, dokud není dosažena konvergence.

Určování návrhových vnitřních sil při hledání vhodného směru tlakové diagonály představuje nejnáročnější část posouzení v mezním stavu použitelnosti. Pokud zvolená návrhová výztuž přibližně odpovídá staticky nutné výztuži pro zadanou velikost užitných zatížení, liší se návrhové vnitřní síly jen nepatrně od vnitřních sil při předpokládaném poměru přetvoření 1,0. Modul RF-CONCRETE Surfaces proto nabízí také možnost nechat si spočítat návrhové vnitřní síly při předpokládaném poměru přetvoření 1,0.



Návrhové vnitřní síly pro posouzení v mezním stavu použitelnosti se pak spočítají jen tehdy, kdy se natržením betonu aktivuje výztuž. V tomto případě se zjišťují tahová napětí v betonu vyvozená první hlavní vnitřní silou.

2.6.2 Hlavní vnitřní síly

Pokud je první hlavní vnitřní síla záporná, vychází se v dané oblasti vyšetřovaného plošného prvku z trhlinami neporušeného betonu. U stěn se v takovém případě prověřuje pouze velikost napětí betonu v tlaku. U desek se přinejmenším na dané straně plochy neprovádí žádné posouzení mezního stavu použitelnosti.

Pokud je u **stěny** první hlavní normálovou silou tahová síla, určí se návrhové napětí betonu v tahu pomocí následující rovnice:

$$\sigma_{c,l} = \frac{n_l}{A_c} = \frac{n_l}{b \cdot h}$$

Rovnice 2.61

Jestliže je u **desky** prvním hlavním momentem kladný moment, spočítá se návrhové napětí betonu v tahu následovně:

$$\sigma_{c,l} = \frac{m_l}{W} = \frac{m_l \cdot 6}{b \cdot h^2}$$

Rovnice 2.61

Pokud je napětí $\sigma_{c,l}$ získané lineárně pružnou analýzou větší než průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu f_{ctm} , vychází se z trhlinami porušeného betonu. Teprve pak modul RF-CONCRETE Surfaces spočítá návrhové vnitřní síly pro jednotlivé výztužné směry a provede posouzení v mezním stavu použitelnosti vyjmenovaná v úvodu kapitoly 2.6.

2.6.3 Navržená výztuž

Před provedením posouzení v mezním stavu použitelnosti prověří RF-CONCRETE Surfaces navrženou výztuž: Na základě vnitřních sil mezního stavu použitelnosti se nejdříve provede dimenzování jako v mezním stavu únosnosti. Výsledná staticky nutná výztuž se porovná s výztuží, kterou definoval uživatel.

Pokud je navržená výztuž menší než staticky nutná výztuž nebo pokud je nemožné výztuž posoudit, nedojde ani k posouzení mezního stavu použitelnosti. Problematické oblasti plošných prvků se vyznačí jako nedimenzovatelné.

2.6.4 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Jednotlivá posouzení v mezním stavu použitelnosti v modulu RF-CONCRETE Surfaces si představíme na konkrétním příkladu. Vyšetřovat se bude obdélníková plocha. První působící hlavní moment m_l je větší než nula, druhý moment m_{ll} se rovná nule.

Posouzení se provede podle EN 1992-1-1 analytickou metodou.

2.6.4.1 Vstupní údaje daného příkladu

Geometrické zadání

Tloušťka desky:	$d = 20 \text{ cm}$	
Pravoúhlá výztuž:	$\phi_1 = 30^\circ$	$\phi_2 = 120^\circ$
Osová vzdálenost betonové krycí vrstvy:	$d_1 = 3,0 \text{ cm}$	$d_2 = 4,2 \text{ cm}$

Materiál

Beton: C30/37
 Betonářská ocel: B 500 S (B)

2.6.4.2 Kontrola hlavních vnitřních sil

Nejdříve se prověří, zda se beton působením hlavního momentu v MSÚ poruší trhlinami. V detailech posouzení mezního stavu použitelnosti u příslušného rastrového bodu vidíme, že poruší:



<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
1. hlavní moment	$m_{l,+z}$	-7.16	kNm/m
1. hlavní moment je záporný. Na této straně desky nebude provedena žádná kontrola.			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí betonu v tahu			
1. hlavní moment	$\sigma_{c,l,-z}$	5.05	N/mm ²
	$m_{l,-z}$	33.65	kNm/m
<input checked="" type="checkbox"/> Průřezový modul			
Šířka dílce	W	6666.67	cm ³
	b_w	100.00	cm
Výška dílce	h	0.200	m
Střední nomálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.90	N/mm ²
Na této straně desky dochází k tvorbě trhlin a výztuž bude aktivována.			
Na této straně desky dochází k tvorbě trhlin. Dochází k aktivaci výztuže a provedení posouzení.			

Obr. 2.81: Kontrola hlavních vnitřních sil

Napětí $\sigma_{c,l,-z}$ na horním okraji betonu stanovené lineárně pružnou analýzou se přitom porovná s průměrnou hodnotou pevnosti betonu C30/37 v dostředném tahu f_{ctm} 2,9 MPa.

$$\sigma_{c,l,-z} = \frac{m_{l,-z}}{W} = \frac{m \cdot 6}{b \cdot h^2} = \frac{33,65 \cdot 6}{1,0 \cdot 0,2^2} = 5,05 \text{ MPa}$$

Napětí na okraji betonu $\sigma_{c,l,-z} = 5,05 \text{ MPa}$ tak značně převyšuje pevnost betonu v tahu f_{ctm} . Proto se výztuž aktivuje i pro mezní stav použitelnosti.

2.6.4.3 Nutná výztuž pro MSÚ

Při dimenzování pro mezní stav únosnosti se na horní straně desky vychází z následujících hodnot:

<input checked="" type="checkbox"/> Posudková zpráva			
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní momenty			
1. hlavní moment	$m_{l,-z}$	56.08	kNm/m
2. hlavní moment	$m_{ll,-z}$	11.93	kNm/m
Směr	$\alpha_{b,-z}$	0.000	°
Kvocient $k = m_{ll,-z}/m_{l,-z}$	$k_{m,-z}$	0.213	
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel mezi $\alpha_{m,-z}$ a			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna			
<input checked="" type="checkbox"/> 1. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> 2. předpoklad pro směr γ tlakové diagonály betonu			
<input checked="" type="checkbox"/> Energie = součet abs(návrhové ohybové momenty)			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála			
1. předpoklad pro směr γ	$\gamma_{m,-z,1}$	75.000	°
Směr tlakové diagonály betonu	$\Phi_{tlak,diag.,m,-z}$	75.000	°
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující návrhové ohybové momenty			
v 1. směru	$m_{-z,\Phi 1}$	64.16	kNm/m
v 2. směru	$m_{-z,\Phi 2}$	42.08	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{end,-z,tlak,diag.}$	-38.23	kNm/m
Optimalizovat směr diagonály?	Tlak, diag. opti,m,-z	Ne	
<input checked="" type="checkbox"/> Konečné návrhové ohybové momenty			
v 1. směru	$m_{end,-z,\Phi 1}$	64.16	kNm/m
ve 2. směru	$m_{end,-z,\Phi 2}$	42.08	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{end,-z,tlak,diag.}$	-38.23	kNm/m

Obr. 2.82: Návrhové vnitřní síly MSÚ

Konečné návrhové ohybové momenty: $m_{\text{end},z,\phi 1} = 64,16 \text{ kNm/m}$
 $m_{\text{end},z,\phi 2} = 42,08 \text{ kNm/m}$
 $m_{\text{end},z,\text{tlak. diag.}} = -38,23 \text{ kNm/m}$
 Směr betonové tlakové diagonály: $\phi_{\text{tlak. diag.},m,z} = 75,0^\circ$

Z návrhových vnitřních sil vyplývá pro horní stranu následující nutná výztuž:

2.1 Nutná výztuž celkem

Plocha č.	A Bod rastru	B Souřadnice bodu [m]			E Symbol	F Nutná výztuž	G Zákl. výztuž	H Přídavná výztuž		J Jednotky
		X	Y	Z				Nutná	Návrh.	
1	R4	0.000	0.500	0.000	$a_{s,1,-z}$ (horní)	8.97	11.31	0.00	0.00	cm ² /m
1	R4	0.000	0.500	0.000	$a_{s,2,-z}$ (horní)	6.15	11.31	0.00	0.00	cm ² /m
1	R6	1.000	0.500	0.000	$a_{s,1,+z}$ (dolní)	0.14	0.00	0.14	0.14	cm ² /m
1	R6	1.000	0.500	0.000	$a_{s,2,+z}$ (dolní)	0.71	0.00	0.71	0.71	cm ² /m

Obr. 2.83: Nutná výztuž

2.6.4.4 Zadání výztuže

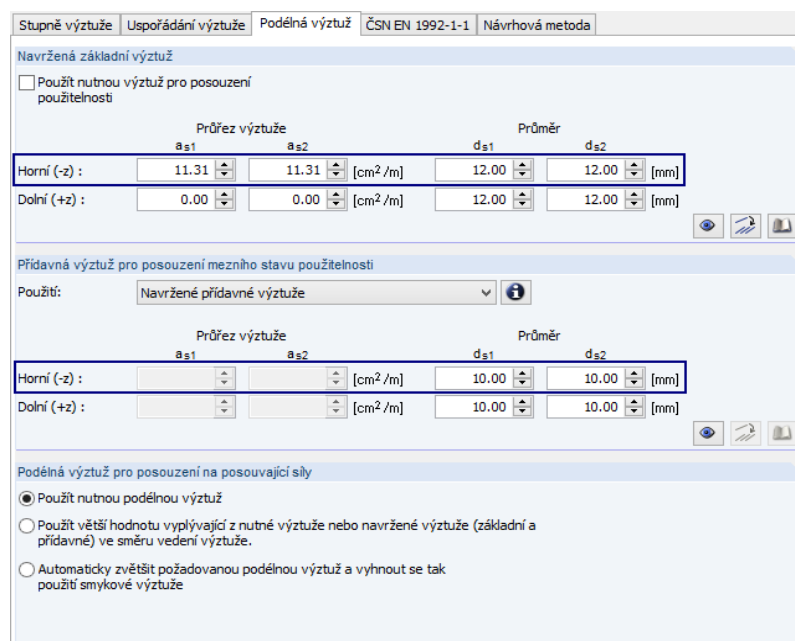
Na horní straně desky zvolíme pro oba směry výztuže z výztužných prutů o průměru d_s 12 mm ve vzdálenosti l_s 10,0 cm.

Výsledná návrhová výztuž se tak spočítá následovně:

$$\text{návr } a_{s1,-z} = \frac{d_s^2}{4} \cdot \pi \cdot \frac{100 \text{ cm/m}}{l_s} = \frac{(1,2 \text{ cm})^2}{4} \cdot \pi \cdot \frac{100 \text{ cm/m}}{10,0 \text{ cm}} = 11,31 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

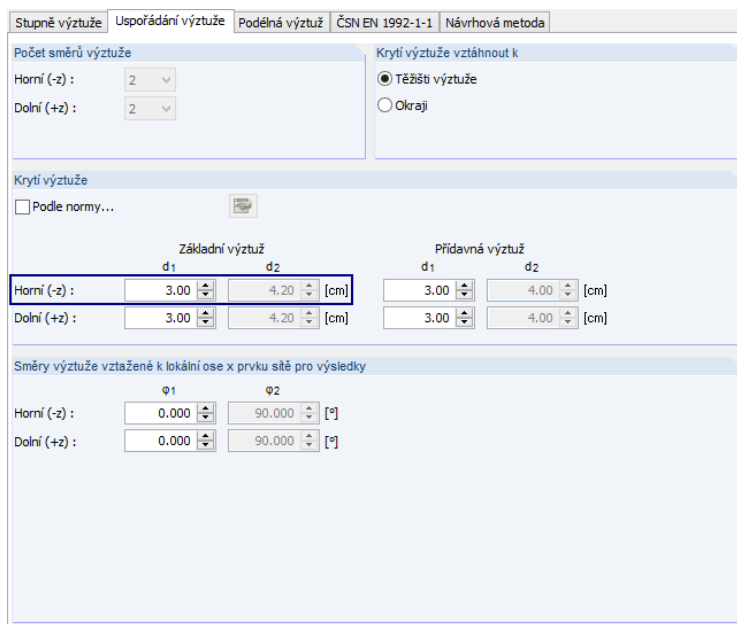


Příslušné údaje se zadávají v záložce *Podélná výztuž* v dialogu 1.4 *Výztuž*, příp. pomocí tlačítka [Importovat plochu výztuže z výztužných prutů...] (viz obr. 2.105, strana 85).



Obr. 2.84: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Podélná výztuž k zadání základní a přídavné výztuže

Při zvoleném průměru výztuže je osová vzdálenost betonových krycích vrstev následující:



Obr. 2.85: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Uspořádání výztuže

Na tomto základě se spočítá účinná výška pro jednotlivé výztužné směry:

$$d_{1,z} = h - d_1 = 20 - 3 = 17 \text{ cm}$$

$$d_{2,z} = h - d_2 = 20 - 4,2 = 15,8 \text{ cm}$$

2.6.4.5 Kontrola návrhové výztuže pro MSP

Pro mezní stav použitelnosti budeme nejdříve vycházet z předpokladu, že poměr přetvoření $\epsilon_{\phi 2} / \epsilon_{\phi 1}$ se rovná 1,0. Dospějeme tak k následujícím hodnotám.

<input checked="" type="checkbox"/> Použít vnitřní síly lineární statiky podle zadání uživatele			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
Na této straně desky nedochází k tvorbě trhlin.			
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna			
1. rozdílový úhel	$\alpha_{m,-z}$	30.000	°
2. rozdílový úhel	$\beta_{m,-z}$	120.000	°
<input type="checkbox"/> Rozhodující tlaková diagonála			
1. předpoklad pro směr γ	$\gamma_{m,-z,1a}$	75.000	°
Směr tlakové diagonály betonu	$\phi_{tlak,diag.,m,-z}$	75.000	°
<input type="checkbox"/> Rozhodující návrhové ohybové momenty			
v 1. směru	$m_{-z,\phi 1}$	38.49	kNm/m
v 2. směru	$m_{-z,\phi 2}$	25.25	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{end,-z,tlak,diag}$	-22.94	kNm/m
<input type="checkbox"/> Návrhové ohybové momenty podle Baumanna			
v 1. směru	$m_{\alpha,-z}$	38.49	kNm/m
ve 2. směru	$m_{\beta,-z}$	25.25	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{\gamma,-z}$	-22.94	kNm/m
Optimalizovat směr diagonály?	Tlak,diag.,opti,r	Ano	
<input type="checkbox"/> Konečné návrhové ohybové momenty			
v 1. směru	$m_{end,-z,\phi 1}$	38.49	kNm/m
ve 2. směru	$m_{end,-z,\phi 2}$	25.25	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{end,-z,tlak,diag}$	-22.94	kNm/m

Obr. 2.86: Návrhové momenty v MSP pro poměr přetvoření 1,0

Návrhové vnitřní síly: $m_{end,-z,\phi 1} = 38,49 \text{ kNm/m}$

$m_{end,-z,\phi 2} = 25,25 \text{ kNm/m}$

Ztužující tlakový moment: $m_{end,-z,tlak,diag} = -22,94 \text{ kNm/m}$

Směr ztužujícího tlakového momentu: $\phi_{tlak,diag.,m,-z} = 75,0^\circ$

Pro tyto návrhové momenty se na horní straně desky spočítá nutná výztuž $a_{s,dim,-z,1} = 4,54 \text{ cm}^2/\text{m}$ v prvním výztužném směru a $a_{s,dim,-z,1} = 3,17 \text{ cm}^2/\text{m}$ v druhém výztužném směru.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Použití vnitřní síly lineární statiky podle zadání uživatele			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové momenty			
<input type="checkbox"/> Staticky nutná výztuž			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
v 1. směru výztuže	$a_{s,dim,-z,1}$	4.33	cm ² /m
v 2. směru výztuže	$a_{s,dim,-z,2}$	3.04	cm ² /m
<input checked="" type="checkbox"/> Navržená podélná výztuž			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
v 1. směru výztuže	$a_{s,exist,-z,1}$	11.31	cm ² /m
v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,-z,2}$	11.31	cm ² /m

Obr. 2.87: Staticky nutná výztuž pro vnitřní síly v MSP

Nutná výztuž pro vnitřní síly daného stavu zatížení je menší než navržená výztuž zadaná uživatelem. Posouzení tak může pokračovat.

2.6.4.6 Zvolení betonové tlakové diagonály

Pokud jsou návrhové vnitřní síly $m_{end,-z,\phi1} = 38,49 \text{ kNm/m}$ a $m_{end,-z,\phi2} = 25,25 \text{ kNm/m}$, přetvoření $\epsilon_{\phi1}$ odpovídá 0,807 ‰ v prvním výztužném směru a $\epsilon_{\phi2}$ odpovídá 0,535 ‰ v druhém výztužném směru. Poměr přetvoření $Q_{s,-z}$ tak činí 0,717.

Předpokládaný poměr přetvoření 1,00 tak neodpovídá skutečnému poměru přetvoření. Sklon ztužujícího momentu vyvolávajícího tlak se proto zvýší ze 75,0° na 79,746°.

Geometricky může mít ztužující záporný moment tento sklon jen v případě, že geometrický poměr $Q_{s,geo,-z}$ přetvoření ve výztužném směru ϕ_2 a přetvoření ve výztužném směru ϕ_1 činí přibližně 0,717, což je náš případ.

Při výpočtu šířky trhlin w_k se ukazuje, že návrhové momenty při sklonu ztužujícího záporného momentu 79,746° vyvolávají přetvoření v jednotlivých výztužných směrech, jejichž poměr pak odpovídá poměru přetvoření $Q_{s,geo,-z} = 0,717$.

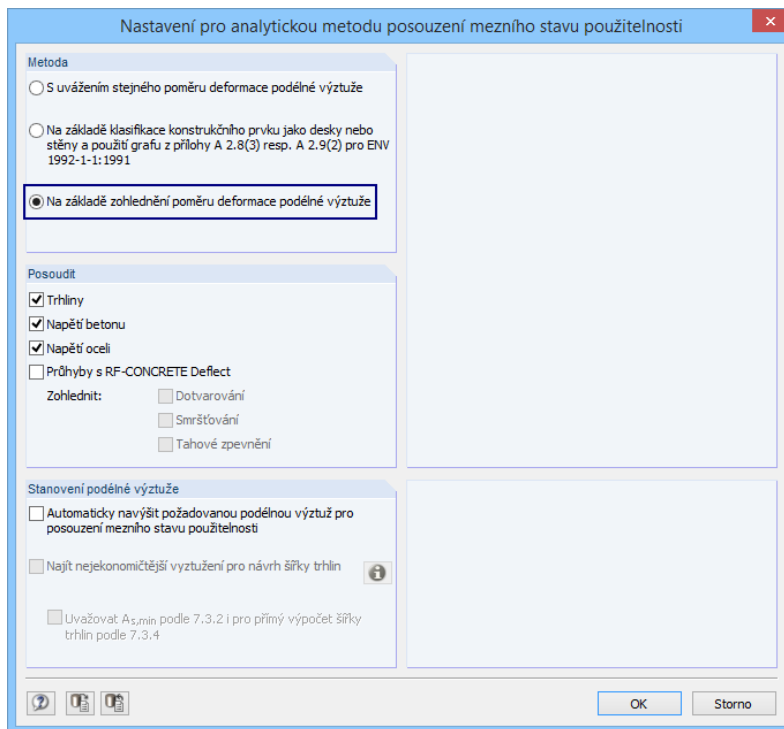
<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezím stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Směr tlakové diagonály betonu	$\gamma_{talk,diag,návr.}$	79.746	°
Směr tlakové diagonály betonu podle Baumanna	$\gamma_{talk,diag,Bau,n}$	79.746	°
Poměr protažení výztuže	$R_{s,-z}$	0.717	
Předpokládaný geometrický poměr protažení	$Q_{s,geo,-z}$	0.717	
<input type="checkbox"/> Modifikovaný/-á návrh. Momenty			
v 1. směru	$m_{navr,-z,\phi1}$	36.74	kNm/m
ve 2. směru	$m_{navr,-z,\phi2}$	27.33	kNm/m
ve směru diagonály	$m_{navr,tlak,diag.}$	-23.26	kNm/m
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola napětí oceli			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti trhlin			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení rozdílu středního protažení			
<input checked="" type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdíl středního protažení ve směru 1	$(\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm})_{-z,\phi1}$	0.735	‰
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 1. směru	$\sigma_{s,-z,\phi1}$	208.18	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Rozdíl středního protažení ve směru 2	$(\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm})_{-z,\phi2}$	0.527	‰
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 2. směru	$\sigma_{s,-z,\phi2}$	167.09	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Výsledný rozdíl středního protažení	$(\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm})_{-z,res}$	1.291	‰

Obr. 2.88: Směr betonové tlakové diagonály a poměry přetvoření

V důsledku zvoleného sklonu ztužujícího záporného momentu 79,746° se mění návrhové momenty v jednotlivých výztužných směrech, což odpovídá zde uplatněné metodě výpočtu návrhových vnitřních sil v mezím stavu použitelnosti, kdy se zohledňuje poměr přetvoření podélné výztuže.



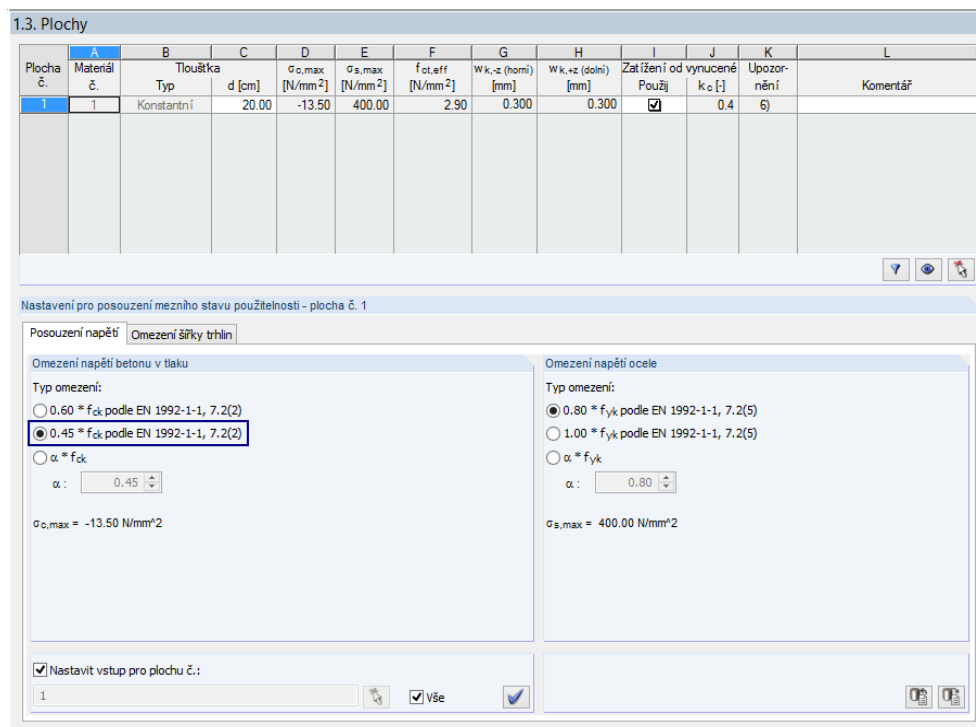
Tuto metodu jsme zvolili v dialogu *Nastavení pro analytickou metodu posouzení mezního stavu použitelnosti* (viz následující obrázek).



Obr. 2.89: Dialog *Nastavení pro analytickou metodu posouzení mezního stavu použitelnosti*

2.6.4.7 Omezení napětí betonu v tlaku

V dialogu 1.3 *Plochy* omezíme napětí betonu v tlaku na $\sigma_c = 0,45 \cdot f_{ck}$.



Obr. 2.90: Omezení napětí betonu v tlaku v dialogu 1.3 *Plochy*, v záložce *Posouzení napětí*

V případě betonu C30/37 se tak minimální napětí betonu $\sigma_{c,min}$ spočítá následovně:

$$\sigma_{c,min} = 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot -30,0 = -13,5 \text{ MPa}$$

Při výpočtu napětí betonu v tlaku se bude předpokládat lineární průběh napětí, protože vysoký počet iterací pro určení vhodného směru betonové tlakové diagonály by byl časově příliš náročný. Lineární průběh je dostatečně přesný, protože v provozních podmínkách činí stlačení betonu zpravidla maximálně 0,3 až 0,5 ‰.

Minimální napětí $\sigma_{c,min}$ se porovná s napětím v tlačené oblasti betonu pro oba výtuzné směry.

Napětí betonu v tlaku σ_c se spočítá následovně:

$$\sigma_c = \frac{m_{Ed}}{I_{i,II}} \cdot x$$

Rovnice 2.65

kdy

m_{Ed}

Působící moment

$$I_{i,II} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot a_s \cdot (d - x)^2$$

Ideální moment setrvačnosti ve stavu II

B

Šířka prvku (pro desky vždy 1 m)

α_E

Poměr modulů pružnosti

a_s

Navržená tahová výtuz

d

Účinná výška

$$x = \frac{\alpha_e \cdot a_s}{b} \cdot \left(-1,0 + \sqrt{1,0 + \frac{2,0 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot a_s}} \right)$$

Výška tlačené oblasti betonu

Pro výtuzný směr ϕ tak vychází následující výška tlačené oblasti $x_{-z,\phi 1}$:

$$x_{-z,\phi 1} = \frac{6,061 \cdot 11,31}{100} \cdot \left(-1,0 + \sqrt{1,0 + \frac{2,0 \cdot 100 \cdot 17}{6,061 \cdot 11,31}} \right) = 4,19 \text{ cm}$$

Stejnou hodnotu spolu s příslušnými mezivýsledky najdeme také v tabulce s detaily posouzení.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výtuz			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení napětí betonu v tlaku v jednotlivých směrech výtuz			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Napětí betonu v tlaku v 1. směru výtuz na protilehlé straně	$\sigma_{c,+z,\phi 1}$	-11.23	N/mm ²
Návrh. Moment do 1 směru výtuz	$m_{d,-z,\phi 1}$	36.74	kNm/m
<input type="checkbox"/> Ideální moment setrvačnosti	$I_{i,II,-z,\phi 1}$	13701.00	cm ⁴
Tlaková výtuz z výtuz na protilehlé straně je možná.			
Šířka dílce	b_w	100.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 1}$	4.19	cm
Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Tahová výtuz v 1. směru výtuz	$a_{s,exist,-z,1}$	11.31	cm ² /m
Statically účinná výška	$d_{-z,\phi 1}$	0.170	m
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 1}$	4.19	cm
Tlaková výtuz v 1. směru výtuz	$a_{s,exist,+z,1}$	0.15	cm ² /m
Krytí tlakové výtuz betonem	$c_{-z,\phi 1}$	0.030	m
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 1}$	4.19	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí betonu v tlaku v 2. směru výtuz na protilehlé straně	$\sigma_{c,+z,\phi 2}$	-9.40	N/mm ²

Obr. 2.91: Výška tlačené oblasti betonu pro 1. směr výtuz

Pro výztužný směr ϕ se spočítá výška tlačené oblasti $x_{-z,\phi 2}$:

$$x_{-z,\phi 2} = \frac{6,061 \cdot 11,31}{100} \cdot \left(-1,0 + \sqrt{1,0 + \frac{2,0 \cdot 100 \cdot 15,8}{6,061 \cdot 11,31}} \right) = 4,02 \text{ cm}$$

Také tato hodnota s příslušnými mezivýsledky se zobrazí v detailech posouzení.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezím stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení napětí betonu v tlaku v jednotlivých směrech výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí betonu v tlaku v 1. směru výztuže na protilehlé straně			
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí betonu v tlaku v 2. směru výztuže na protilehlé straně			
Návrh. Moment do 2 směru výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Ideální moment setrvačnosti			
Tlaková výztuž z výztuže na protilehlé straně je možná.			
Šířka dílce	b_w	100.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 2}$	4.02	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Modul pružnosti výztuže	E_s	200000.00	N/mm ²
Střední sečný modul pružnosti	E_{cm}	33000.00	N/mm ²
Tahová výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,-z,2}$	11.31	cm ² /m
Tlaková výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,+z,2}$	0.73	cm ² /m
Šířka dílce	b_w	100.00	cm
Staticky účinná výška	$d_{-z,\phi 2}$	0.158	m
Krytí tlakové výztuže betonem	$c_{+z,\phi 2}$	0.040	m
Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Tahová výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,-z,2}$	11.31	cm ² /m
Staticky účinná výška	$d_{-z,\phi 2}$	0.158	m
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 2}$	4.02	cm
Tlaková výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,+z,2}$	0.73	cm ² /m
Krytí tlakové výztuže betonem	$c_{-z,\phi 2}$	0.040	m
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 2}$	4.02	cm

Obr. 2.92: Výška tlačené oblasti betonu pro 2. směr výztuže

Ideální momenty setrvačnosti $I_{i,II}$ ve stavu II se pro oba směry výztuže spočítají následovně:

$$I_{i,II,-z,\phi 1} = \frac{1}{3} \cdot 100,0 \cdot 4,19^3 + 6,061 \cdot 11,31 \cdot (17 - 4,19)^2 = 13701 \text{ cm}^4$$

$$I_{i,II,-z,\phi 2} = \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 4,02^3 + 6,061 \cdot 11,31 \cdot (15,8 - 4,02)^2 = 11678 \text{ cm}^4$$

Pro oba výztužné směry ϕ_1 a ϕ_2 tak podle rovnice 2.65 mají výsledná napětí betonu v tlaku σ_c v tlačené oblasti (tzn. na horní straně plochy) následující hodnoty:

$$\sigma_{c,o,\phi 1} = \frac{3676 \cdot 4,19}{13701} = -11,24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,o,\phi 2} = \frac{2733 \cdot 4,02}{11678} = -9,41 \text{ MPa}$$

Tyto hodnoty vidíme také na obr. 2.92.

Napětí v tlaku $\sigma_{c,+z,\phi 1}$ a $\sigma_{c,+z,\phi 2}$ jsou tak menší než minimální napětí betonu $\sigma_{c,min}$ (viz obr. 2.90, strana 76). Rozhodující podíl tohoto napětí a dovoleného napětí betonu v tlaku vychází pro směr výztuže ϕ_1 . Posouzení je splněno.

Maximální napětí betonu v tlaku	max σ_c	-11.23	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Přípustné napětí betonu v tlaku			
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení			
Maximální napětí betonu v tlaku	max σ_c	-11.23	N/mm ²
Přípustné napětí betonu v tlaku	příp σ_c	-13.50	N/mm ²
Kritérium posouzení	Kritérium	0.84	

Obr. 2.93: Posouzení napětí betonu v tlaku

2.6.4.8 Omezení napětí v betonářské výztuži

V dialogu 1.3 *Plochy* omezíme podle článku 7.2(5) normy EN 1992-1-1 tahová napětí v betonářské výztuži hodnotou $\sigma_{s,max} = 0,8 \cdot f_{yk}$ (viz obr. 2.90, strana 76). Pro vybranou ocel S (B) se tak maximální napětí v oceli $\sigma_{s,max}$ spočítá následovně:

$$\sigma_{s,max} = 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

Maximální napětí $\sigma_{s,max}$ je pak třeba porovnat s napětím v tahu v obou výztužných směrech.

Napětí v tahu σ_s zjistíme pomocí následující rovnice:

$$\sigma_s = \frac{\alpha_E \cdot m_{Ed} \cdot (d - x)}{I_{i,II}}$$

Rovnice 2.66

kdy

α_E Poměr modulů pružnosti (E_s/E_{cm})

m_{Ed} Působící moment

d Účinná výška

$x = \frac{\alpha_e \cdot a_s}{b} \cdot \left(-1,0 + \sqrt{1,0 + \frac{2,0 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot a_s}} \right)$ Výška tlakové oblasti betonu

B Šířka prvku (pro desky vždy 1 m)

a_s Navržená tahová výztuž

$I_{i,II} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 + \alpha_e \cdot a_s \cdot (d - x)^2$ Ideální moment setrvačnosti ve stavu II

Na základě hodnot spočtených v kapitole 2.6.4.6 lze napětí v tahu $\sigma_{s,u,\phi 1}$ a $\sigma_{s,u,\phi 2}$ v obou směrech výztuže $\phi 1$ a $\phi 2$ určit takto:

$$\sigma_{s,u,\phi 1} = \frac{6,061 \cdot 3674 \cdot (17 - 4,19)}{13701} = 208,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,u,\phi 2} = \frac{6,061 \cdot 2733 \cdot (15,8 - 4,02)}{11677} = 167,09 \text{ MPa}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola napětí oceli			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
V betonu se objevují trhliny. Podélná výztuž je aktivována.			
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 1. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 1}$	208.18	N/mm ²
Návrh. Moment do 1 směru výztuže	$m_{d,-z,\phi 1}$	36.74	kNm/m
<input checked="" type="checkbox"/> Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Střední sečný modul pružnosti	E_{cm}	33000.00	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Ideální moment setrvačnosti	$I_{i,II,-z,\phi 1}$	13701.00	cm ⁴
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 1}$	4.19	cm
<input type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 2. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 2}$	167.09	N/mm ²
Návrh. Moment do 2 směru výztuže	$m_{d,-z,\phi 2}$	27.33	kNm/m
<input checked="" type="checkbox"/> Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Střední sečný modul pružnosti	E_{cm}	33000.00	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Ideální moment setrvačnosti	$I_{i,II,-z,\phi 2}$	11677.20	cm ⁴
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{-z,\phi 2}$	4.02	cm
Maximální napětí v oceli	$\max \sigma_s$	208.18	N/mm ²

Obr. 2.94: Maximální napětí ve výztuži v 1. a 2. výztužném směru

Tahová napětí σ_{s,z,ϕ_1} a σ_{s,z,ϕ_2} jsou tak menší než maximální napětí v oceli $\sigma_{s,max}$ (viz obr. 2.90, strana 76). Rozhodující podíl návrhového a dovoleného napětí v oceli vychází pro výztužný směr ϕ_1 . Posouzení je splněno.

☑ Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
☑ Kontrola napětí oceli			
☑ Přípustné napětí v oceli			
☑ Posouzení			
Maximální napětí v oceli	max σ_s	208.18	N/mm ²
Přípustné napětí v oceli	příp. σ_s	400.00	N/mm ²
Kritérium posouzení	Kritérium	0.53	

Obr. 2.95: Posouzení napětí v betonářské výztuži

2.6.4.9 Minimální výztuž pro omezení šířky trhlin

Minimální průřez výztuže pro omezení šířky trhlin se spočítá podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.2 pomocí rovnice (7.1).

$$a_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$$

Rovnice 2.67

kdy

- k_c Součinitel, kterým se zohledňuje rozdělení napětí v průřezu bezprostředně před vznikem trhlin a změna ramene vnitřních sil
- k Součinitel vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí vedoucích ke zmenšení sil vyplývajících z omezení přetvoření
- $f_{ct,eff}$ Průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhlin
- A_{ct} Plocha betonu v tažené oblasti průřezu; tažená oblast je ta část plochy průřezu, která je podle výpočtu těsně před vznikem první trhliny namáhána tahem
- σ_s Absolutní hodnota největšího napětí, které se připouští ve výztuži bezprostředně po vzniku trhliny

Mezní průměr ϕ_s^* se podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.3 (2) spočítá v závislosti na skutečném průměru ϕ_s pomocí upravené rovnice (7.6N).

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)}$$

Rovnice 2.68

kdy

- ϕ_s Maximální upravený průměr prutu
- ϕ_s^* Maximální průměr prutu uvedený v EN 1992-1-1, tab. 7.2N (viz obr. 2.96)
- h Celková výška průřezu
- h_{cr} Výška tažené oblasti bezprostředně před vznikem trhliny při uvažování charakteristických hodnot předpětí a osových sil při kvazistálé kombinaci zatížení
- d Účinná výška průřezu vztažená k těžišti krajní vrstvy výztuže

Tab. 7.2N Maximální průměr prutů ϕ_s pro kontrolu trhlin¹

Nap. oceli ² [MPa]	Maximální velikost prutu [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Obr. 2.96: Maximální průměr výztužných prutů podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.3

V našem příkladu necháme vypočítat minimální výztuž pouze na horní straně desky. Příslušné nastavení lze provést v dialogu, který vidíme na obrázku níže. Otevřeme ho ze záložky *Omezení šířky trhlin* dialogu 1.3 *Plochy*. V dialogu zrušíme označení políček pro *dolní (+z) výztuž*.



1.3. Plochy

Plocha č.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Materiál č.	Typ	Tloušťka d [cm]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$f_{ot,eff}$ [N/mm ²]	$w_{k,-z}$ (horní) [mm]	$w_{k,+z}$ (dolní) [mm]	Zatížení od vynucené Použij	k_c []	Upozor-nění	Komentář
1	1	Konstantní	20.00	-13.50	400.00	2.90	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	6)	

Nastavení pro posouzení mezního stavu použitelnosti - plocha č. 1

Posouzení napětí Omezení šířky trhlin

Posouzení omezení šířky trhlin

Mezní hodnota přípustné šířky trhlin $w_{k,max}$

Mezní hodnoty podle 7.3.1(5)

Zadaná uživatelem

$w_{k,-z}$ (horní): 0.300 [mm]

$w_{k,+z}$ (dolní): 0.300 [mm]

Posouzení bez přímého výpočtu šířky trhlin podle 7.3.3

Výpočet mezního průměru výztuže $lim\ d_s$

Výpočet max. vzdálenosti výztuže $lim\ s_l$

Posouzení s přímým výpočtem šířky trhlin podle 7.3.4

Nastavit vstup pro plochu č.: 1

Minimální výztuž pro účinky vynucených přetvoření

Min. výztuž $A_{s,min}$ pro vynucené přetvoření

Zvýška tržiny vzhledem k povolené úložné pevnosti betonu v tahu

Dialog Další nastavení minimální výztuže z důvodu vynucených přetvoření

Směr výztuže z důvodu vynuceného přetvoření

Horní (-z) výztuž ve směru: ϕ_1 ϕ_2

Dolní (+z) výztuž ve směru: ϕ_1 ϕ_2

Rozložení napětí v průřezu před vznikem trhlin

Použití čistého tahového vynuceného přetvoření ($k_c = 1$)

Použití ohybového vynuceného přetvoření ($k_c = 0,4$)

Závisící na definovaném zatížení

Výpočet Kontrola Detaily... Nár. příloha Gr

Obr. 2.97: Dialog *Další nastavení minimální výztuže z důvodu vynucených přetvoření* otevřený z dialogu 1.3 *Plochy*

Mezní průměr $d_{s,-z,\phi_1}^*$ pro výztužný směr ϕ_1 na horní straně desky se určí pomocí rovnice 2.68.

$$d_{s,-z,\phi_1}^* = 12 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{2 \cdot (200 - 170)}{0,4 \cdot 100} = 18,00 \text{ mm}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení minimální výztuže			
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
Maximální přípustná šířka trhlin na dolní (+z) straně	$w_{k,+z,mezni}$	0.300	mm
Maximální přípustná šířka trhlin na horní (-z) straně	$w_{k,-z,mezni}$	0.300	mm
Faktor pro nelineární průběh tahového napětí	k	1.000	
Základní pevnost betonu v tahu pro tabulku 7.2	$f_{ct,0}$	2.90	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff}$	2.90	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Plocha tahové oblasti betonu	A_{ct}	1000.00	cm ²
Šířka dílce	b_w	1000.0	mm
Výška dílce	h	0.200	m
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž v 1. směru výztuže	$a_{s,min,-z,1}$	5.02	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Faktor pro průběh napětí před první tvorbou trhlin	k_c	0.400	
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující návrhové síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí v betonu (těžištvá osa, nepotrhaný st	$\sigma_{c,l,min,-z,\phi 1}$	1.000	N/mm ²
Koeficient	$k_{1,min,-z,\phi 1}$	2.90	
<input checked="" type="checkbox"/> Plocha tahové oblasti betonu	$A_{ct,-z,\phi 1}$	1000.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Přípustné napětí v oceli podle tabulky 7.2	příp $\sigma_{s,-z,\phi 1}$	231.11	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 1}^*$	1.80	mm
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota mezního průměru	$d_{s,calc1}^*$	1.80	mm
Navržený průměr prutu	$d_{s,min,-z,\phi 1}$	1.20	mm
Staticky účinná výška	$d_{-z,\phi 1}$	0.170	m
<input checked="" type="checkbox"/> Minimální výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,min,-z,2}$	5.83	cm ² /m

Obr. 2.98: Mezní průměr pro výztužný směr ϕ_1

Obdobně se pro výztužný směr ϕ_2 stanoví mezní průměr $d_{s,-z,\phi 2}^*$:

$$d_{s,-z,\phi 2}^* = 12 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{2 \cdot (200 - 158)}{0,4 \cdot 100} = 25,20 \text{ mm}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení minimální výztuže			
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž v 1. směru výztuže	$a_{s,min,-z,1}$	5.02	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Minimální výztuž v 2. směru výztuže	$a_{s,min,-z,2}$	5.83	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Faktor pro průběh napětí před první tvorbou trhlin	k_c	0.400	
<input checked="" type="checkbox"/> Rozhodující návrhové síly			
Faktor pro nelineární průběh tahového napětí	k	1.000	
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff}$	2.90	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Plocha tahové oblasti betonu	$A_{ct,-z,\phi 2}$	1000.00	cm ²
<input type="checkbox"/> Přípustné napětí v oceli podle tabulky 7.2	příp $\sigma_{s,-z,\phi 2}$	198.86	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 2}^*$	2.52	cm
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota mezního průměru	$d_{s,calc1}^*$	2.52	cm
Navržený průměr prutu	$d_{s,min,-z,\phi 2}$	1.20	cm
Staticky účinná výška	$d_{-z,\phi 2}$	0.158	m

Obr. 2.99: Mezní průměr pro výztužný směr ϕ_2

V dialogu 1.3 *Plochy* je nastavena mezní hodnota přípustné šířky trhlin $w_{k,max}$ na 0,3 mm (viz obr. 2.97). Pro mezní průřezy $d_{s,-z,\phi 1}^* = 18,00$ mm a $d_{s,-z,\phi 2}^* = 25,20$ mm lze z tabulky 7.2N v normě EN 1992-1-1 (viz obr. 2.96) interpolovat dovolené namáhání σ_s .

$$\sigma_{s,-z,\phi 1} = 240 + \frac{280 - 240}{16 - 25} \cdot (18,00 - 16) = 231,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s,-z,\phi 2} = 200 + \frac{200 - 160}{25 - 32} \cdot (25,20 - 25) = 198,86 \text{ MPa}$$

Tyto hodnoty dovoleného namáhání oceli vidíme také na obr. 2.98 a obr. 2.99.

Rozhodující je namáhání oceli ve směru ϕ_2 .

Plocha tažené oblasti betonu v průřezu se spočítá následovně:

$$A_{ct} = b \cdot \frac{h}{2} = 100 \cdot \frac{20}{2} = 1000 \text{ cm}^2$$

Pomocí rovnice 2.67 na straně 80 tak pro 2. výztužný směr získáme následující minimální výztuž:

$$a_{s,min,\phi 2} = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,9 \cdot 1000}{198,86} = 5,83 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

U tohoto výztužného směru je vložena výztuž větší než minimální výztuž, a výsledné kritérium posouzení je tak:

$$\frac{a_{s,min,-z,2}}{a_{s,exist,-z,2}} = \frac{5,83}{11,31} = 0,516$$

<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení minimální výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Navržená podélná výztuž			
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení			
Minimální výztuž na horní (-z) straně v 2. směru výztuže	$a_{s,min,-z,2}$	5,83	cm ² /m
Navržená výztuž na horní (-z) straně v 2. směru výztuže	$a_{s,exist,-z,2}$	11,31	cm ² /m
Kritérium posouzení	Kritérium	0,52	

Obr. 2.100: Kritérium posouzení pro minimální výztuž

2.6.4.10 Kontrola průměru prutu

Mezní průměr výztužných prutů max d_s se ověří podle EN 1992-1-1, rovnice (7.6N) (viz rovnice 2.68, strana 80).

Mezní průměr prutu $d_{s,-z,\phi 1}^*$ v prvním výztužném směru na horní straně desky se určí v závislosti na napětí v daném směru. Toto napětí bylo stanoveno na $\sigma_{s,-z,\phi 1} = 208,18 \text{ MPa}$ při posouzení pro omezení napětí v betonářské výztuži. Na základě daného napětí a zvolené šířky trhlin $w_k = 0,3 \text{ mm}$ získáme interpolací podle tabulky 7.2N tento mezní průměr $d_{s,-z,\phi 1}^*$:

$$d_{s,-z,\phi 1}^* = 25 + \frac{25 - 16}{200 - 240} \cdot (208,18 - 200) = 23,16 \text{ mm}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximálního průměru prutů			
<input checked="" type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
Maximální přípustná šířka trhlin na dolní (+z) straně	$w_{k,-z,mezni}$	0.300	mm
Maximální přípustná šířka trhlin na horní (-z) straně	$w_{k,-z,mezni}$	0.300	mm
<input checked="" type="checkbox"/> Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²
Střední normálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.90	N/mm ²
Výška dílce	h	0.200	m
Referenční pevnost betonu v tahu podle tabulky	$f_{ct,0}$	2.90	N/mm ²
Šířka dílce	b_w	100.00	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Maximální průměr prutu v 1. směru výztuže	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	1.54	cm
<input checked="" type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 1}^*$	2.32	cm
Napětí ve výztuži v 1. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 1}$	208.18	N/mm ²
<input checked="" type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota maximálního průměru prutů	$d_{s,max,calc1}$	1.54	cm
Staticky účinná výška	$d_{-z,\phi 1}$	0.170	m
Faktor pro průběh napětí před první tvorbou t	k_{σ}	0.400	
Výška tlakové oblasti betonu	h_{cr}	0.100	m
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²

Obr. 2.101: Mezní průměr v 1. výztužném směru

Obdobně se určí mezní průměr pro 2. výztužný směr $d_{s,-z,\phi 2}^*$ na základě tahového napětí $\sigma_{s,-z,\phi 2} = 167,09$ MPa a zvolené šířky trhlin $w_k = 0,3$ mm:

$$d_{s,-z,\phi 2}^* = 32 + \frac{32 - 25}{160 - 200} \cdot (167,09 - 160) = 30,76 \text{ mm}$$

<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input type="checkbox"/> Stanovení maximálního průměru prutu			
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Maximální průměr prutu v 1. směru výztuže	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	1.54	cm
<input type="checkbox"/> Maximální průměr prutu v 2. směru výztuže	$d_{s,max,-z,\phi 2}$	1.46	cm
<input type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 2}^*$	3.08	cm
Napětí ve výztuži v 2. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 2}$	167.09	N/mm ²
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota maximálního průměru prutu	$d_{s,max,calc1}$	1.46	cm
Statically účinná výška	$d_{-z,\phi 2}$	0.158	m
Faktor pro průběh napětí před první tvorbou trhlin	k_c	0.400	
Výška tlakové oblasti betonu	h_{cr}	0.100	m
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²

Obr. 2.102: Mezní průměr v 2. výztužném směru

Z mezních průměrů $d_{s,i}^*$ pro oba výztužné směry a z příslušných napětí ve výztuži se spočítají maximální mezní průměry $d_{s,i}$.

$$d_{s,max,-z,\phi 1} = 23,16 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{0,4 \cdot 100}{2 \cdot (200 - 170)} = 15,44 \text{ mm}$$

$$d_{s,max,-z,\phi 2} = 30,76 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot \frac{0,4 \cdot 100}{2 \cdot (200 - 158)} = 14,65 \text{ mm}$$

<input type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input type="checkbox"/> Hlavní vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input type="checkbox"/> Nutná podélná výztuž vlivem návrhových membránových sil			
<input type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input type="checkbox"/> Stanovení maximálního průměru prutu			
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Maximální průměr prutu v 1. směru výztuže	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	1.54	mm
<input type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 1}^*$	2.32	mm
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota maximálního průměru prutu	$d_{s,max,calc1}$	1.54	mm
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Maximální průměr prutu v 2. směru výztuže	$d_{s,max,-z,\phi 2}$	1.46	mm
<input type="checkbox"/> Mezní průměr výztuže	$d_{s,-z,\phi 2}^*$	3.08	mm
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová hodnota maximálního průměru prutu	$d_{s,max,calc1}$	1.46	mm
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²

Obr. 2.103: Maximální průměry prutu

Pro oba směry výztuže je navržen průměr prutu $d_s = 12$ mm. Kritérium posouzení pro rozhodující směr výztuže ϕ_1 je tak:

$$\frac{d_{s,exist,-z,\phi 2}}{\max d_{s,-z,\phi 2}} = \frac{12,0}{14,65} = 0,819$$

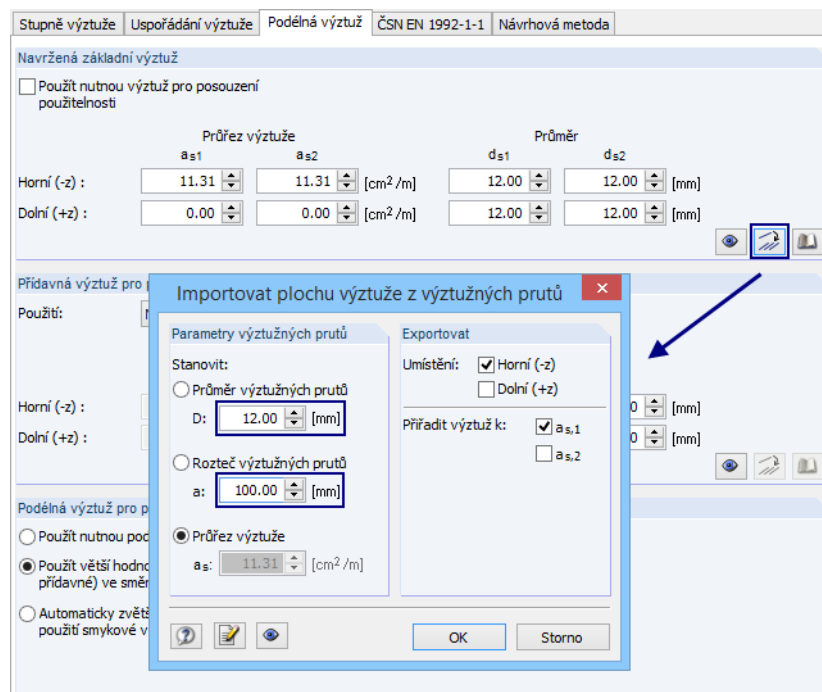
<input type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input type="checkbox"/> Stanovení maximálního průměru prutu			
<input type="checkbox"/> Navržený průměr prutu			
<input type="checkbox"/> Posouzení			
Navržený průměr prutu na horní straně v 1. směru vý:	$d_{s,exist,-z,\phi 1}$	1.20	mm
Maximální průměr prutu na horní straně v 1. směru vý	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	1.46	mm
Kritérium posouzení	Kritérium	0.819	

Obr. 2.104: Kritérium posouzení pro průměr prutu

2.6.4.11 Posouzení vzdálenosti prutů



V záložce *Podélná výztuž* dialogu 1.4 *Výztuž* jsme pomocí tlačítka [Importovat plochu výztuže z výztužných prutů...] zadali vzdálenost prutů $a = 100$ mm pro oba směry výztuže (viz obr. 2.84, strana 73).



Obr. 2.105: Dialog *Importovat plochu výztuže z výztužných prutů*

Maximální vzdálenost prutů $\max s_{l,-z,\phi 1}$ se stanoví interpolací z hodnot v tabulce 7.3N v normě EN 1992-1-1 pro napětí v tahu $\sigma_{s,-z,\phi 1} = 208,18$ MPa a šířku trhlin $w_k = 0,3$ mm.

Tabulka 7.3N Maximální vzdálenost prutu pro omezení trhlin¹

Napětí v oceli ² [MPa]	Maximální vzdálenost výztuže [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Obr. 2.106: Maximální vzdálenost prutů podle EN 1992-1-1, tabulky 7.3N

$$\max s_{l,-z,\phi 1} = 250 + \frac{250 - 200}{200 - 240} \cdot (208,18 - 200) = 239,8 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost výztužných prutů se pro druhý směr výztuže ϕ_2 určí obdobně na základě tahového napětí $\sigma_{s,-z,\phi 2} = 167,09$ MPa, výsledná hodnota $\max s_{l,-z,\phi 2}$ je pak 291,1 mm.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky				
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny				
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže				
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti				
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti výztuže				
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry				
Maximální přípustná šířka trhlin na dolní (+z) straně podle	$w_{k,-z,mezni}$	0.300	mm	
Maximální přípustná šířka trhlin na horní (-z) straně podle	$w_{k,-z,mezni}$	0.300	mm	
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)				
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)				
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost prutů v 1. směru výztuže	$s_{l,max,-z,\phi 1}$	0.240	m	
Napětí ve výztuži v 1. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 1}$	208.18	N/mm ²	
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost prutů v 2. směru výztuže	$s_{l,max,-z,\phi 2}$	0.291	m	
Napětí ve výztuži v 2. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 2}$	167.09	N/mm ²	

Obr. 2.107: Maximální vzdálenost prutů v obou výztužných směrech

Ve výztužném směru ϕ_1 je navržená vzdálenost prutů $s_{l,exist,-z,\phi 1} = 100$ mm menší než maximální přípustná vzdálenost prutů $s_{l,max,-z,\phi 1} = 240$ mm.

Pro směr výztuže ϕ_1 tak platí následující kritérium posouzení:

$$\frac{s_{l,exist,-z,\phi 1}}{s_{l,max,-z,\phi 1}} = \frac{0,100}{0,240} = 0,417$$

<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti				
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti výztuže				
<input checked="" type="checkbox"/> Navržená vzdálenost prutů				
<input checked="" type="checkbox"/> Posouzení				
Navržená vzdálenost prutů na horní (-z) straně v 1. směru v	$s_{l,exist,-z,\phi 1}$	0.100	m	
Maximální vzdálenost prutů na horní (-z) straně v 1. směru v	$s_{l,max,-z,\phi 1}$	0.240	m	
Kritérium posouzení	Kritérium	0.42		

Obr. 2.108: Kritérium posouzení pro vzdálenost prutů

2.6.4.12 Posouzení šířky trhlin

Šířka trhliny w_k se určí podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.4 ze vztahu (7.8).

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Rovnice 2.69

kdy

- $s_{r,max}$ Maximální výsledná vzdálenost trhlin (viz rovnice 2.70, resp. rovnice 2.71)
- ϵ_{sm} Průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci zatížení, zahrnující účinek vnesených deformací a přihlížející k účinkům tahového ztužení (uvažuje se pouze přídatné tahové poměrné přetvoření od stavu nulového poměrného přetvoření betonu ve stejné úrovni)
- ϵ_{cm} Průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami

Maximální vzdálenost trhlin $s_{r,max}$

V případech, kde soudržná výztuž je umístěna v dostatečné blízkosti středu tažené oblasti (vzdálenost není větší než $5 \cdot (c + \phi / 2)$), lze maximální výslednou vzdálenost trhlin vypočítat ze vztahu (7.11) v normě EN 1992-1-1:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$$

Rovnice 2.70

Pokud vzdálenost soudržné výztuže překročí $5 \cdot (c + \phi / 2)$ nebo pokud soudržná výztuž není v tažené oblasti, lze horní mez šířky trhlin stanovit za předpokladu následující maximální vzdálenosti trhlín:

$$s_{r,max} = 1,3 \cdot (h - x)$$

Rovnice 2.71

Pro posouzení šířky trhlin tak potřebujeme spočítat výšku tlačené oblasti x ve stavu II. Tato výška se určí pomocí výšky tlačené oblasti ξ vztažené k výšce prvku.

$$x = \xi \cdot h = \frac{0,5 + \alpha_e \cdot \frac{a_{s,exist}}{b \cdot h} \cdot \frac{d}{h} \cdot h}{1,0 + \alpha_e \cdot \frac{a_{s,exist}}{b \cdot h}}$$

Rovnice 2.72

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola napětí oceli			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti trhlín			
<input checked="" type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input checked="" type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín v 1. směru výztuže	$s_{r,max,-z,\phi 1}$	0.177	m
<input type="checkbox"/> Mezní vzdálenost sprážené výztuže	$s_{l,mezní,-z,\phi 1}$	0.150	m
Krytí výztuže	$c-z,\phi 1$	2.40	cm
Navržený průměr prutů	$d_{s,exist,-z,\phi 1}$	0.012	m
<input type="checkbox"/> Navržená vzdálenost prutů	$s_{l,exist,-z,\phi 1}$	0.100	m
Existující výztuž v 1. směru výztuže	$a_{s,max,-z,1}$	11.31	cm ² /m
Navržený průměr prutů	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	0.012	m
<input type="checkbox"/> Existující vzdálenost prutů je menší než / rovná mezní vzdálenosti => vzorec (7.11)			
Krytí výztuže	$c-z,\phi 1$	2.40	cm
Navržený průměr prutů	$d_{s,max,-z,\phi 1}$	0.012	m
Součinitel zohledňující vlastnosti spojení.	k_1	0.800	
Součinitel zohledňující rozložení přetvoření.	k_2	0.500	
Parametr NP	k_3	3.400	
Parametr NP	k_4	0.425	
<input type="checkbox"/> Efektivní stupeň vyztužení	$p_{eff,-z,\phi 1}$	0.021	
Existující výztuž v 1. směru výztuže	$a_{s,max,-z,1}$	11.31	cm ² /m
<input type="checkbox"/> Účinná oblast výztuže (obr. 7.1)	$a_{c,eff,-z,\phi 1}$	532.71	cm ²
Šířka dílce	b_w	100.00	cm
<input type="checkbox"/> Výška účinné oblasti výztuže (obr. 7.1)	$h_{eff,-z,\phi 1}$	0.053	m
<input type="checkbox"/> 1. výpočtová výška účinné oblasti výztuže	$h_{eff,calc1}$	0.075	m
Osově krytí betonem	$d'_{-z,\phi 1}$	3.00	cm
<input type="checkbox"/> 2. výpočtová výška účinné oblasti výztuže	$h_{eff,calc2}$	0.053	m
Výška dílce	h	0.200	m
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín v 2. směru výztuže	$s_{r,max,-z,\phi 2}$	0.218	m
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín podle (7.15)	$s_{r,max,-z,výs}$	0.137	m
Úhel mezi výztuží a rozevřením trhlíny	ϕ_{-z}	40.254	°

Obr. 2.109: Maximální vzdálenost trhlín v 1. směru výztuže

Dále se zjišťuje maximální vzdálenost trhlín podle EN 1992-1-1, vztahu (7.15):

$$s_{r,max} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{r,max,x}} + \frac{\sin \theta}{s_{r,max,y}}}$$

Rovnice 2.73

kdy

θ Úhel mezi výztuží ve směru y a směrem hlavního tahového napětí

$s_{r,max,y}, s_{r,max,z}$ Maximální vzdálenosti trhlín vypočtené ve směrech y a z

Tato rovnice má význam, pokud jsme v dialogu *Nastavení pro analytickou metodu posouzení mezního stavu použitelnosti* (viz obr. 2.89, strana 76) zvolili pro výpočet návrhových vnitřních sil v

mezním stavu použitelnosti první metodu *S uvážením stejného poměru deformace podélné výztuže*. Jestliže označíme třetí metodu *Na základě zohlednění poměru deformace podélné výztuže*, směr tlakové diagonály se oproti tomu stanoví podle BAUMANNA. Mezní úhel 15° se přitom nebere v potaz, protože šířka trhlin v dané oblasti není rozhodující.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky	
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny	
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže	
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti	
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola napětí oceli	
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti trhlín	
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)	
Na této straně desky nedochází k tvorbě trhlín.	
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)	
<input checked="" type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín v 1. směru výztuže	
<input checked="" type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín v 2. směru výztuže	
<input type="checkbox"/> Maximální vzdálenost trhlín podle (7.15)	
Úhel mezi výztuží a rozevřením trhlín	

$s_{r,max,-z,\phi 1}$	0.177	m
$s_{r,max,-z,\phi 2}$	0.218	m
$s_{r,max,-z,vys}$	0.137	m
$\phi-z$	40.254	°

Obr. 2.110: Maximální vzdálenost trhlín pro oba směry výztuže

Rozdíl průměrných hodnot poměrného přetvoření ($\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$)

Pro hodnotu šířky trhlin w_k podle rovnice 2.69 na straně 86 je ještě třeba určit součinitel ($\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$) pro každý výztužný směr a pro směr výsledného přetvoření.

Rozdíl průměrných hodnot poměrného přetvoření betonu a betonářské oceli vypočítáme podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.4 ze vztahu (7.9):

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

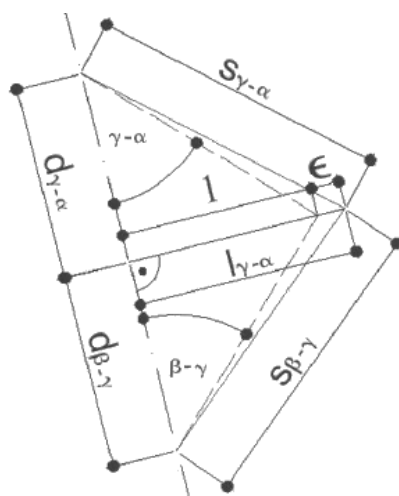
Rovnice 2.74

Maximální průměrné přetvoření ($\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{z,res}$ se určí jako výsledná průměrná hodnota poměrných přetvoření v jednotlivých výztužných směrech; jeho hodnota je 1,291 ‰.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola navržené podélné výztuže			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola napětí oceli			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení maximální vzdálenosti trhlín			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení rozdílu středního protažení			
<input type="checkbox"/> Parametry výpočtu pro všechny směry			
Pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ct,eff,wk}$	2.90	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Poměr modulu pružnosti	α_e	6.061	
Modul pružnosti výztuže	E_s	200000.00	N/mm ²
Střední sečný modul pružnosti	E_{cm}	33000.00	N/mm ²
Součinitel pro zohlednění doby trvání zatížení	k_t	0.400	
<input type="checkbox"/> Dolní povrch (+z)			
<input type="checkbox"/> Horní povrch (-z)			
<input type="checkbox"/> Rozdíl středního protažení ve směru 1			
1. výpočtová hodnota rozdílu středního protažení	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{calc1}$	0.735	‰
2. výpočtová hodnota rozdílu středního protažení	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{calc2}$	0.625	‰
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 1. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 1}$	208.18	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Rozdíl středního protažení ve směru 2			
1. výpočtová hodnota rozdílu středního protažení	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{calc1}$	0.527	‰
2. výpočtová hodnota rozdílu středního protažení	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{calc2}$	0.501	‰
<input checked="" type="checkbox"/> Napětí ve výztuži v 2. směru	$\sigma_{s,-z,\phi 2}$	167.09	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Výsledný rozdíl středního protažení	$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{z,res}$	1.291	‰
<input type="checkbox"/> Rozdílový úhel podle Baumanna			
1. rozdílový úhel	$\alpha_{m,-z}$	30.000	°
2. rozdílový úhel	$\beta_{m,-z}$	120.000	°
Směr tlakové diagonály betonu podle Baumanna	$\gamma_{talk,diag.,Bau,n}$	79.746	°

Obr. 2.111: Rozdíl průměrných hodnot poměrného přetvoření pro oba výztužné směry

Při zjišťování průměrného poměrného přetvoření ($\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$) se pro zjednodušení zavádějí symboly s pro délku strany ve směru výztuže, d pro dílčí délku tlakové diagonály, l pro kolmici na tlakovou diagonálu a ε .



Obr. 2.112: Průměrné poměrné přetvoření ε

Dílčí délka $d_{\gamma-\alpha}$ se určí při zvoleném sklonu tlakové diagonály následovně:

$$d_{\gamma-\alpha} = \frac{1}{\tan(\gamma-\alpha)}$$

U délky není stanovena jednotka (kolmice na tlakovou diagonálu vstupuje do vzorce bez jednotky).

Následně se vypočítá délka $s_{\gamma-\alpha}$.

$$s_{\gamma-\alpha} = \frac{1 + \varepsilon_{\alpha}}{\sin(\gamma-\alpha)}$$

Pokud výztužný směr θ_1 s hlavním momentem m_1 svírá nejmenší rozdílový úhel, pak se za ε_{α} dosadí dříve stanovený rozdíl průměrných poměrných přetvoření $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{\theta_1}$ betonu a betonářské oceli:

$$s_{\gamma-\alpha} = \frac{1 + (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{\theta_1}}{\sin(\gamma-\alpha)}$$

Jestliže nejmenší rozdílový úhel svírá výztužný směr θ_2 s hlavním momentem m_1 , dosadí se za ε_{α} dříve stanovený rozdíl průměrných poměrných přetvoření $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})_{\theta_2}$ betonu a betonářské oceli.

Pomocí PYTHAGOROVY věty lze z délek $d_{\gamma-\alpha}$ a $s_{\gamma-\alpha}$ vypočítat hodnotu $l_{\gamma-\alpha}$:

$$l_{\gamma-\alpha} = \sqrt{s_{\gamma-\alpha}^2 - d_{\gamma-\alpha}^2}$$

Vzhledem k tomu, že všechny vzorce vycházejí z délky 1,0 LE, stanoví se poměrné přetvoření ε takto:

$$\varepsilon = l_{\gamma-\alpha} - 1,0$$

Toto přetvoření $\varepsilon = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ se znovu prověří úhlem $(\beta - \gamma)$.

Pokud jsme pro výpočet návrhových vnitřních sil v mezním stavu použitelnosti zvolili metodu *S uvážením stejného poměru deformace podélné výztuže*, může se poměr přetvoření výztuží značně lišit od předpokládaného geometrického poměru přetvoření. Pro správný výpočet výsledného poměru přetvoření se tak použije přetvoření výztuže ležící blíže hlavnímu účinku.

Šířka trhlin w_k

Šířku trhlin w_k lze určit pomocí rovnice 2.69 na straně 86.

☐ Stanovení výpočtové hodnoty šířky trhlin		
☐ Dolní povrch (+z)	Využití	0.000
Na této straně desky nedochází k tvorbě trhlin.		
☐ Horní povrch (-z)	Využití	0.591
☐ Výpočtová hodnota šířky trhlin v 1. směru výztuže	$w_{k,-z,\phi 1}$	0.130 mm
Maximální vzdálenost trhlin v 1. směru výztuže	$s_{r,max,-z,\phi 1}$	0.177 m
Rozdíl středního protažení ve směru 1	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})-z,\phi 1$	0.735 ‰
☐ Výpočtová hodnota šířky trhlin v 2. směru výztuže	$w_{k,-z,\phi 2}$	0.115 mm
Maximální vzdálenost trhlin v 2. směru výztuže	$s_{r,max,-z,\phi 2}$	0.218 m
Rozdíl středního protažení ve směru 2	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})-z,\phi 2$	0.527 ‰
☐ Výpočtová hodnota šířky trhlin ve směru středního prota:	$w_{k,-z,vys}$	0.177 mm
Maximální vzdálenost trhlin podle (7.15)	$s_{r,max,-z,vys}$	0.137 m
Výsledný rozdíl středního protažení	$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})-z,res$	1.291 ‰

Obr. 2.113: Šířka trhlin

V dialogu 1.3 *Plochy* jsme zadali maximální přípustnou šířku trhlin $\max w_k = 0,3$ mm. Kritérium posouzení pro rozhodující směr je tak:

☑ Návrhové vnitřní síly v mezním stavu použitelnosti		
☑ Kontrola napětí oceli		
☑ Stanovení maximální vzdálenosti trhlin		
☑ Stanovení rozdílu středního protažení		
☑ Stanovení výpočtové hodnoty šířky trhlin		
☐ Posouzení		
Šířka trhlin na horní (-z) straně ve směru výsledného protažení	$w_{k,-z,vys}$	0.177 mm
Maximální přípustná šířka trhlin na horní (-z) straně podle z:	$w_{k,-z,mezni}$	0.300 mm
Kritérium posouzení	Kritérium	0.591

Obr. 2.114: Kritérium posouzení pro šířku trhlin

2.6.5 Rozhodující namáhání

V RFEMu lze definovat nejrůznější namáhání v jednotlivých zatěžovacích stavech (ZS). Z těchto zatěžovacích stavů lze vytvářet kombinace zatížení (KZ) a kombinace výsledků (KV). Rozdíly mezi oběma druhy kombinací jsme popsali v kapitole 5.5 a 5.6 manuálu k hlavnímu programu RFEM.

Zatímco v případě zatěžovacích stavů a kombinací zatížení se vytvoří vždy jediná sada vnitřních sil, u kombinace výsledků může být v závislosti na typu modelu sad vnitřních sil až 16:

- V případě modelu typu $2D - XZ$ ($u_x/u_z/\varphi_y$) a $2D - XY$ ($u_x/u_y/\varphi_z$) působí v plošných prvcích výlučně normálové síly n_x , n_y a n_{xy} . Výsledkem jejich kombinace je 6 sad vnitřních sil, přičemž vždy u jedné z těchto normálových sil se vykazuje příslušná maximální nebo minimální hodnota.
- V případě modelu typu $2D - XY$ ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$) (deska) se zjišťují maximální a minimální hodnoty momentů m_x , m_y a m_{xy} a posouvajících sil v_x a v_y . Výsledkem je tak 10 sad vnitřních sil.
- U modelu typu $3D$ se vykazují všechny výše uvedené normálové síly, momenty i posouvající síly. Vytvoří se tak 16 sad vnitřních sil.

Výpočetní jádro zpracovává pro posouzení mezního stavu použitelnosti vnitřní síly vybraných zatěžovacích stavů a kombinací zatížení jednotlivě za sebou. Totéž platí pro sady vnitřních sil u kombinace výsledků. Je proto zřejmé, že posouzení kombinace výsledků je časově výrazně náročnější.

Vnitřní síly, resp. sady vnitřních sil vyvozují u většiny posouzení pro jednotlivé výztužné směry namáhání. Pro všechny výztužné směry se určí největší namáhání. Pokud je únosnost v jednotlivých výztužných směrech rozdílná, pak se zjistí, u jakého výztužného směru je podíl namáhání vyděleného únosností největší.

2.7 Výpočet deformací v modulu RF-CONCRETE Deflect



K výpočtu deformací je zapotřebí licence k přídatnému modulu **RF-CONCRETE Deflect**.

2.7.1 Materiálové a geometrické předpoklady

Při výpočtu deformací v modulu RF-CONCRETE Deflect se předpokládá lineární pružné chování betonářské výztuže v tahu i tlaku. U betonu se přitom vychází z jeho lineární pružného chování při působení tlaku a lineární pružného chování až do dosažení pevnosti betonu v tahu. Pro stav použitelnosti je tím zajištěna dostatečná přesnost. Pokud napětí v prvku přesahuje pevnost betonu v tahu, dochází k rozvoji trhlin podle EN 1992-1-1, čl. 7.3.4.

Při výpočtu se uplatňuje jednoduchý izotropní lomově mechanický model, který se definuje samostatně v obou směrech výztuže. Technicky se postupuje tak, že se v souladu s EN 1992-1-1 stanoví matice tuhosti materiálu interpolací mezi stavem bez trhlin (stav I) a stavem porušeným trhlinami (stav II) podle čl. 7.4.3, rovnice (7.18). Betonářská ocel se tak modeluje jako ortotropní materiál. Zákony, které platí pro rozvoj trhlin, umožňují zohlednit účinky tahového zpevnění betonu mezi trhlinami a prosté dlouhodobé účinky jako dotvarování a smršťování.

Matice tuhosti materiálu se počítají u typu modelů $2D - XY (u_z/\varphi_x/\varphi_y)$ a $3D$. V případě modelu typu $3D$ se v matici tuhosti navíc uvažuje vliv excentricit ideálního těžiště (viz níže).

2.7.2 Návrhové vnitřní síly

Jak jsme již výše zmínili, výpočet tuhostí vychází z lineárně pružných předpokladů. Vnitřní síly se transformují do ortogonálních směrů výztuže ϕ a na obě strany s (horní i dolní). Stanovené vnitřní síly – ohybové momenty $m_{\phi,s}$ a normálové síly $n_{\phi,s}$ (krouticí momenty se transformací do směrů výztuže eliminují) – závisí na

- (a) typu modelu
- (b) způsobu výpočtu
- (c) kritériu klasifikace.

2.7.3 Kritická strana

Pro stanovení kritické strany se posuzuje každý směr výztuže ϕ zvlášť. Při tom se vyšetřuje stav napjatosti na obou stranách s – na dolní straně (ve směru lokální osy $+z$) a horní straně (ve směru lokální osy $-z$). Za rozhodující stranu se bude považovat strana, která vykazuje největší tahové namáhání v betonu. Vnitřní síly na kritické straně se označí jako n_{ϕ} a m_{ϕ} .

Normálová síla $n_{\phi,s}$ transformovaná do směru výztuže ϕ má na obou stranách s stejnou hodnotu ($n_{\phi} = n_{\phi,\text{horní}} = n_{\phi,\text{dolní}}$). Normálové síly tak nejsou pro stanovení kritické strany důležité; rozhodující strana se určuje pouze na základě momentů. Znaménka ohybových momentů $m_{\phi,s}$ se stanoví podle toho, zda momenty vyvozují na příslušné straně tahové nebo tlakové namáhání. Kritickou stranou je pak ten povrch prvku, na který působí větší ohybový moment (tj. strana silněji namáhaná tahem).

Při výpočtu tuhosti se zohledňují pouze vnitřní síly n_{ϕ} a m_{ϕ} na kritické straně. Dosud se „dolní strana“ prvku vztahovala k lokální ose $+z$, v dalším textu bude ovšem „dolní strana“ označovat kritickou stranu plochy.

2.7.4 Průřezové hodnoty

Hodnoty průřezu se spočítají pro oba směry výztuže ϕ a oba stavy průřezu c (bez trhlin / s trhlinami). Přitom se u stavu I (průřez bez trhlin) vychází z lineárně pružného chování betonu na tažené straně a u stavu II (průřez s trhlinami) se pevnost betonu v tahu nezohledňuje.

Pokud žádné normálové síly n_{ϕ} nepůsobí (např. u modelu typu 2D - XY ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$)), daná část výpočtu nezávisí na těchto vnitřních silách a lze přímo spočítat průřezové hodnoty. V ostatních případech se iteračním výpočtem, takzvanou „binární metodou“ určí výška tlačené oblasti. Z numerických důvodů se přitom v každém iteračním kroku použije minimální hodnota pro stupeň vyztužení $\rho_{\min} = 10^{-4}$, tzn. pokud chybí výztuž, dosadí se do výpočtu pomyslná minimální plocha výztuže. Tato malá hodnota nemá na výsledky (tuhosti) znatelný vliv.

Počítají se následující ideální průřezové hodnoty (vztahující se k betonovému průřezu) ve směru výztuže ϕ a ve stavu c:

- Moment setrvačnosti k ideálnímu těžišti $I_{\phi,c}$
- Moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu $I_{o,\phi,c}$
- Průřezová plocha $A_{\phi,c}$
- Výstřednost ideálního těžiště $e_{\phi,c}$

2.7.5 Zohlednění dlouhodobých účinků

Dlouhodobými účinky se rozumí vliv dotvarování a smršťování. Podle EN 1992-1-1 je třeba zmíněné dlouhodobé účinky uvažovat samostatně.

2.7.5.1 Dotvarování

Vlivy dotvarování lze zohlednit zmenšením modulu pružnosti betonu E. Uplatňuje se přitom účinný součinitel dotvarování φ_{eff} podle EN 1992-1-1, rovnice (7.20):

$$E_{cd,\text{eff}} = \frac{E_{cd}}{1 + \varphi_{\text{eff}}}$$

Rovnice 2.75

2.7.5.2 Smršťování

Při výpočtu deformací podle EN 1992-1-1 se vliv smršťování projevuje ve dvou oblastech.

Redukce tuhosti materiálu

Tuhost materiálu v každém směru výztuže ϕ se zmenší součinitelem pro vliv smršťování $k_{sh,\phi,c}$. Pro oba stavy c (bez trhlin / s trhlinami) lze normálové síly $n_{sh,\phi,c}$ a ohybové momenty $m_{sh,\phi,c}$ spočítat z poměrného přetvoření od celkového smršťování ε_{sh} :

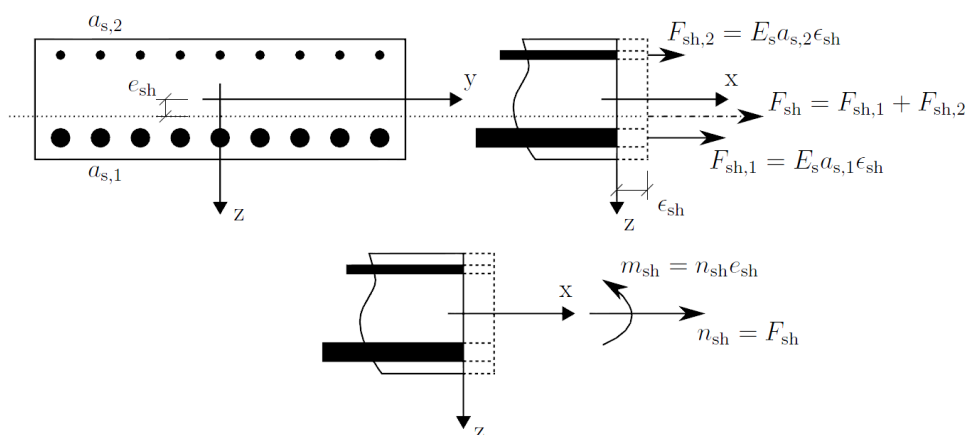
$$n_{sh,\phi} = -\varepsilon_{sh} \cdot E_s (a_{s1} + a_{s2})$$

$$m_{sh,\phi} = n_{sh} \cdot e_{sh}$$

Rovnice 2.76

kdy

$n_{sh,\phi}$	Přídavná normálová síla od smršťování ve směru výztuže ϕ
$m_{sh,\phi}$	Přídavný moment od smršťování v těžišti ideálního průřezu ve směru výztuže ϕ
a_{s1}	Dolní plocha výztuže
a_{s2}	Horní plocha výztuže
E_s	Modul pružnosti betonářské výztuže
ε_{sh}	Poměrné přetvoření od smršťování
e_{sh}	Výstřednost smršťovacích sil (stav I a stav II) od těžiště ideálního průřezu



Obr. 2.115: Vnitřní síly $n_{sh,\phi}$ a $m_{sh,\phi}$

Na základě daných vnitřních sil od smršťování se určí přídavné zakřivení $\kappa_{sh,\phi,c}$ vyvolané smršťováním ve vyšetřovaném bodě – bez vlivu okolní konstrukce. Následně se spočítá nový součinitel pro vliv smršťování $k_{sh,\phi,c}$ pomocí následující rovnice:

$$k_{sh,\phi,c} = \frac{\kappa_{sh,\phi,c} + \kappa_{\phi}}{\kappa_{\phi}}$$

Rovnice 2.77

kdy

- κ_{ϕ} Křivost vyvolaná vnějším zatížením bez vlivu dotvarování ve směru výztuže ϕ
- $\kappa_{sh,\phi,c}$ Křivost vyvolaná smršťováním (a uspořádáním výztuže) bez vlivu dotvarování ve směru výztuže ϕ

Součinitel vlivu $k_{sh,\phi,c}$ je omezen intervalem $k_{sh,\phi,c} \in (1, 100)$: Z numerických a fyzikálních příčin tak nelze tuhost snížit součinitelem $k_{sh,\phi,c}$ více než 100násobně. Minimální hodnota $k_{sh,\phi,c} = 1$ navíc znamená, že vliv smršťování nelze zohlednit, pokud má opačný směr než křivost vyvolaná zatížením κ_d .

Vliv smršťování na membránovou tuhost se neuvažuje.

Výpočet rozdělovacího součinitele

Druhá oblast vlivu smršťování zasahuje do výpočtu rozdělovacího součinitele ζ podle EN 1992-1-1, čl. 7.4.3, rovnice (7.18). V následující kapitole se budeme rozdělovacím součinitelem zabývat blíže.

2.7.6 Rozdělovací součinitel

Výpočet rozdělovacího součinitele ζ_d ukážeme pro směr výztuže ϕ . Nejdříve se vypočítá maximální napětí betonu v tahu $\sigma_{\max,\phi}$ za předpokladu lineárně pružného chování materiálu:

$$\sigma_{\max,\phi} = \frac{n_\phi + n_{sh,\phi}}{A_{\phi,l}} + \frac{m_\phi - n_\phi \cdot \left(x_{\phi,l} - \frac{h}{2}\right) + m_{sh,\phi,l}}{I_{\phi,l}} \cdot (h - x_{\phi,l})$$

Rovnice 2.78

kdy

n_ϕ	Normálová síla od vnějšího zatížení ve směru výztuže ϕ
$n_{sh,\phi}$	Přídavná normálová síla od smršťování ve směru výztuže ϕ
m_ϕ	Moment od vnějšího zatížení ve směru výztuže ϕ
$m_{sh,\phi,l}$	Přídavný moment od smršťování ve směru výztuže ϕ ve stavu I
$x_{\phi,l}$	Výška tlačené oblasti betonu ve stavu neporušeném trhlinami ve směru výztuže ϕ
h	Výška průřezu
$A_{\phi,l}$	Ideální průřezová plocha ve stavu I ve směru výztuže ϕ
$I_{\phi,l}$	Ideální moment setrvačnosti ve stavu I ve směru výztuže ϕ

Vliv smršťovacích sil na maximální napětí betonu v tahu $\sigma_{\max,\phi}$ se zohledňuje přidávanými vnitřními silami od smršťování.

Výpočet rozdělovacího součinitele ζ_ϕ závisí na tom, zda se ve výpočtu deformací uvažuje vliv tahového zpevnění průřezu („Tension Stiffening“) podle EN 1992-1-1.

Rozdělovací součinitel ζ_ϕ se zohledněním tahového zpevnění

- pro $\sigma_{\max,\phi} > f_{ctm}$:

$$\zeta_\phi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\sigma_{\max,\phi}} \right)^n$$

- pro $\sigma_{\max,\phi} \leq f_{ctm}$:

$$\zeta_\phi = 0$$

Rovnice 2.79

kdy

β	Součinitel, kterým se zohledňuje vliv doby trvání zatížení
f_{ctm}	Průměrná pevnost betonu v tahu
n	2 pro EN 1992-1-1

Rozdělovací součinitel ζ_ϕ bez uvážení tahového zpevnění

- pro $\sigma_{\max,\phi} > f_{ctm}$:

$$\zeta_\phi = 1$$

- pro $\sigma_{\max,\phi} \leq f_{ctm}$:

$$\zeta_\phi = 0$$

Rovnice 2.80

2.7.7 Průřezové charakteristiky pro výpočet deformací

Pro matici tuhosti materiálu D k výpočtu deformací potřebujeme v každém směru výztuže průřezové charakteristiky v závislosti na stavu průřezu. Jednotlivě se jedná o

- Moment setrvačnosti k ideálnímu těžišti I_ϕ
- Moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu $I_{0,c}$
- Ideální průřezová plocha A_ϕ
- Výstřednost ideálního těžiště e_ϕ vzhledem ke geometrickému těžišti

Průměrné poměrné přetvoření ε_ϕ a průměrná křivost κ_ϕ se podle EN 1992-1-1 interpoluje z průhybu prvku ve stavu neoslabeném trhlinami a průhybu ve stavu plně rozvinutých trhlin; použije se přitom vztah (7.18):

$$\varepsilon_\phi = \zeta_\phi \cdot \varepsilon_{\phi,II} + (1 - \zeta_\phi) \cdot \varepsilon_{\phi,I}$$

$$\kappa_\phi = \zeta_\phi \cdot \kappa_{\phi,II} + (1 - \zeta_\phi) \cdot \kappa_{\phi,I}$$

Rovnice 2.81

Poměrná přetvoření ve stavu c (stav I a stav II) se vypočítají pomocí následujících rovnic:

$$\varepsilon_{\phi,c} = \frac{n_\phi}{E \cdot A_{\phi,c}}$$

$$\kappa_{\phi,c} = \kappa_{sh,\phi,c} \cdot \frac{m_\phi - n_\phi \cdot e_{\phi,c}}{E \cdot I_{\phi,c}}$$

Rovnice 2.82

Vliv smršťování se tak zohledňuje součinitelem $\kappa_{sh,\phi,c}$.

Pokud na prvek nepůsobí žádné normálové síly n_ϕ (např. u modelu typu $2D - XY$ ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$)), jsou relevantní pouze ideální průřezové charakteristiky, které se vztahují k ideálnímu těžišti průřezu:

$$A_\phi = \frac{A_{\phi,I} \cdot A_{\phi,II}}{\zeta_\phi \cdot A_{\phi,I} \cdot \kappa_{sh,\phi,II} + (1 - \zeta_\phi) \cdot A_{\phi,II} \cdot \kappa_{sh,\phi,I}}$$

$$I_\phi = \frac{I_{\phi,I} \cdot I_{\phi,II}}{\zeta_\phi \cdot I_{\phi,I} \cdot \kappa_{sh,\phi,II} + (1 - \zeta_\phi) \cdot I_{\phi,II} \cdot \kappa_{sh,\phi,I}}$$

Rovnice 2.83

Pokud normálové síly na prvek působí, vztahují se průřezové charakteristiky ke geometrickému středu průřezu:

$$A_\phi = \frac{n_\phi}{A \cdot \varepsilon_\phi} \quad \text{přičemž} \quad \varepsilon_\phi = \frac{m_\phi - \kappa_\phi \cdot E \cdot I_\phi}{n_\phi}$$

$$I_{\phi,0} = I_\phi + A_\phi \cdot e_\phi^2 \quad \text{přičemž} \quad I_\phi \text{ pomocí rovnice 2.83}$$

Rovnice 2.84

Během výpočtu průřezových charakteristik se počáteční hodnota Poissonova součinitele ν_{init} upraví pomocí následující rovnice:

$$\nu = (1 - \max_{\phi \in \{1,2\}} (\zeta_\phi)) \cdot \nu_{init}$$

Rovnice 2.85

2.7.8 Matice tuhosti materiálu D

Tuhost v ohybu – desky a skořepiny

Tuhosti v ohybu ve směrech výztuže ϕ se vypočítají takto:

$$D_{d,d} = I_{0,d} \cdot E / (1 - \nu^2) \quad \text{příčemž } d = \{1,2\}$$

$$D_{d,d} = I_d \cdot E / (1 - \nu^2) \quad \text{příčemž } d = \{1,2\}$$

Nediagonální složka matice tuhosti materiálu se pro desky i skořepiny počítá stejně:

$$D_{1,2} = D_{2,1} = \nu \cdot \sqrt{(D_{1,1} \cdot D_{2,2})}$$

U skořepin se rozdíly v hodnotách ohybové tuhosti vlivem momentů setrvačnosti kompenzují složkami výstřednosti v matici tuhosti materiálu.

Tuhost v kroucení – desky a skořepiny

Prvky matice tuhosti pro kroucení se počítají u desek a skořepin následovně:

$$D_{3,3} = (1 - \nu) / 2 \cdot \sqrt{(D_{1,1} \cdot D_{2,2})}$$

Smyková tuhost – desky a skořepiny

Prvky matice tuhosti pro smyk se pro výpočet deformací neredukují. Vypočítají se ze smykového modulu G ideálního průřezu a výšky průřezu h. Pro desky a skořepiny platí:

$$D_{3+d,3+d} = 5/6 \cdot G \cdot h \quad \text{příčemž } d = \{1,2\}$$

Membránová tuhost – skořepiny

Hodnoty membránových tuhostí ve směrech výztuže ϕ se vypočítají následovně:

$$D_{d+5,d+5} = E \cdot A_d / (1 - \nu^2) \quad \text{příčemž } d = \{1,2\}$$

Nediagonální složka matice tuhosti materiálu se stanoví ze vztahu:

$$D_{6,7} = D_{7,6} = \nu \cdot \sqrt{(D_{6,6} \cdot D_{7,7})}$$

Složka smykové tuhosti činí:

$$D_{8,8} = G \cdot h$$

Excentricita – skořepiny

Prvky matice tuhosti pro výstřednost těžiště (ideální průřez) ve směru výztuže ϕ se spočítají následovně:

$$D_{d,6} = D_{6,d} = D_{d+5,d+5} \cdot e_d \quad \text{příčemž } d = \{1,2\}$$

Nediagonální složka matice tuhosti materiálu se stanoví ze vztahu:

$$D_{1,7} = D_{7,1} = \nu / 2 \cdot (e_{\phi 1} + e_{\phi 2}) \cdot \sqrt{(D_{6,6} \cdot D_{7,7})}$$

Složky excentricity pro kroucení spočítáme takto:

$$D_{3,8} = D_{8,3} = 1/2 \cdot G \cdot h \cdot (e_{\phi 1} + e_{\phi 2})$$

2.7.9 Pozitivní definitnost matice tuhosti materiálu

Pozitivní definitnost matice tuhosti materiálu D ověříme SYLVESTROVÝM kritériem, upraveným s ohledem na nulové bloky. Pokud matice tuhosti D není pozitivně definitní, nediagonální složky matice tuhosti materiálu se postupně jedna po druhé vynulují. V extrémním případě zůstanou pouze kladné složky z diagonály.

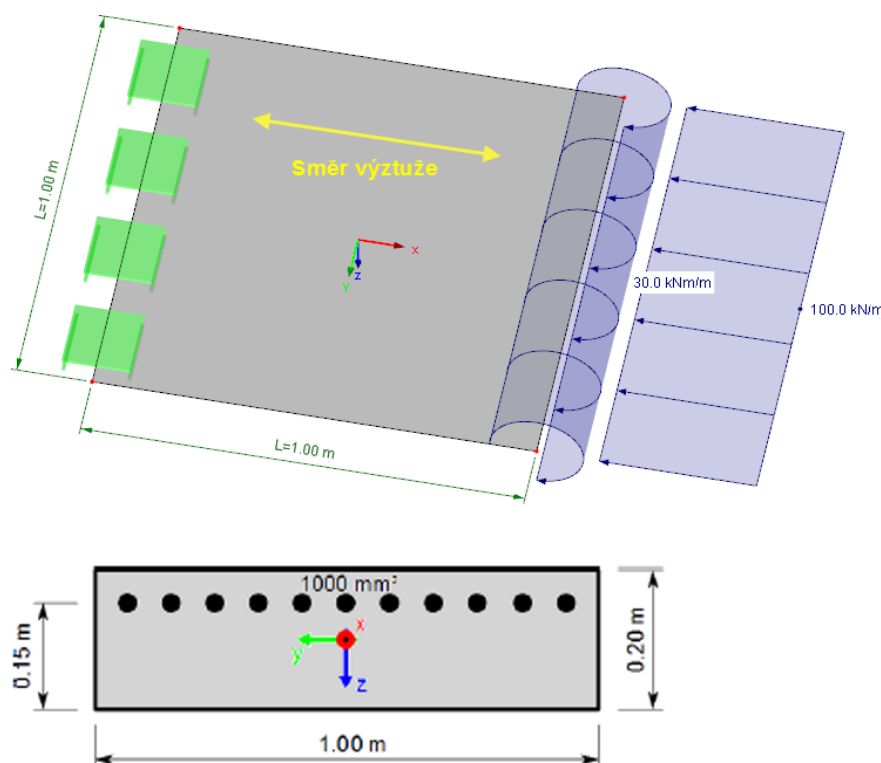
2.7.10 Příklad

Výše popsaný výpočet matice tuhosti materiálu D si ukážeme na jednoduchém příkladu. Model obsahuje jediný konečný prvek a plocha je vyztužena pouze na jedné straně (nahore). Pro zjednodušení provedeme ruční výpočet ve směru výztuže ϕ_1 .

2.7.10.1 Geometrie

Model o rozměrech 1 m x 1 m a tloušťce 0,20 m je na jedné straně vetknutý. Na volné straně působí ohybový moment $m_x = -30 \text{ kNm/m}$ a normálová síla $n_x = -100 \text{ kN/m}$. Automatická vlastní tíha se nezohledňuje.

Podélná výztuž v ϕ_1 činí 1000 mm^2 .



Obr. 2.116: Model konstrukce včetně zatížení a výztuže

2.7.10.2 Materiály

Materiálové charakteristiky shrnuje následující tabulka.

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky				
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny				
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly				
<input checked="" type="checkbox"/> Výběr návrhových vnitřních sil				
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení kritických ploch				
<input checked="" type="checkbox"/> Materiálové charakteristiky pro výpočet tuhosti				
<input type="checkbox"/> Beton				
Modul pružnosti	E_b	33000.00	N/mm ²	
Smykový modul	G_c	11800.0	N/mm ²	
Poissonův součinitel	ν	0.20		
Střední normálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.9	N/mm ²	
Souč. dotvarování	ϕ	2.00		
Součinitel kroucení	ϕ	1.00		
<input type="checkbox"/> Výztuž				
Modul pružnosti	E_s	200000.00	N/mm ²	

Obr. 2.117: Materiálové charakteristiky pro výpočet tuhosti

2.7.10.3 Výběr návrhových vnitřních sil

Nejprve se vnitřní síly transformují do prvního směru výztuže ϕ_1 . Ohybové momenty vykazují na dolní (+ z) a horní (- z) straně rozdílné hodnoty; normálové síly mají po transformaci stejné znaménko.

$$m_{\phi_1,+z} = - 30 \text{ kN}$$

$$m_{\phi_1,-z} = 30 \text{ kN}$$

$$n_{\phi_1,+z} = n_{\phi_1,-z} = - 100 \text{ kN}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Výběr návrhových vnitřních sil			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže			
Návrhová normálová síla	n_{ϕ_1}	-100.0	kN/m
<input type="checkbox"/> Návrhový moment	m_{ϕ_1}	30.0	kNm/m
Návrhový moment na dolní straně (+z)	m_{+z, ϕ_1}	-30.0	kNm/m
Návrhový moment na horní straně (-z)	m_{-z, ϕ_1}	30.0	kNm/m
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže			
Návrhová normálová síla	n_{ϕ_2}	0.0	kN/m
<input type="checkbox"/> Návrhový moment	m_{ϕ_2}	1.1	kNm/m
Návrhový moment na dolní straně (+z)	m_{+z, ϕ_2}	-1.1	kNm/m
Návrhový moment na horní straně (-z)	m_{-z, ϕ_2}	1.1	kNm/m

Obr. 2.118: Výběr návrhových vnitřních sil

2.7.10.4 Výpočet kritické strany

Horní strana (-z) se ukazuje být kritickou stranou. Při dalším výpočtu se bude uvažovat pouze ohybový moment a normálová síla na této straně.

$$m_{\phi_1} = m_{\phi_1,-z} = 30 \text{ kN}$$

$$n_{\phi_1} = n_{\phi_1,+z} = n_{\phi_1,-z} = - 100 \text{ kN}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Výběr návrhových vnitřních sil			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení kritických ploch			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Kritické plochy	horní (-z)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Návrhový moment na dolní straně (+z)	m_{+z, ϕ_1}	-30.0	kNm/m
Návrhový moment na horní straně (-z)	m_{-z, ϕ_1}	30.0	kNm/m
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Kritické plochy	horní (-z)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Návrhový moment na dolní straně (+z)	m_{+z, ϕ_2}	-1.1	kNm/m
Návrhový moment na horní straně (-z)	m_{-z, ϕ_2}	1.1	kNm/m

Obr. 2.119: Výpočet kritické strany

2.7.10.5 Průřezové hodnoty (stav bez trhlin a s trhlinami)

Průřezové hodnoty závisí na rozhodující straně a směru výztuže ϕ_1 . Pro plochy výztuže a_{s2,ϕ_1} , a_{s1,ϕ_2} a a_{s2,ϕ_2} použijeme minimální hodnoty.

Je třeba určit následující průřezové charakteristiky ve stavu neoslabeném trhlinami i stavu s trhlinami, abychom mohli sestavit matici tuhosti materiálu **D**.

Těžiště

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od tlačného povrchu betonu se vypočítá ve stavu bez trhlin přímo.

$$z_{1,\phi_1} = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + \alpha \cdot (a_{s1,\phi_1} \cdot d_{1,\phi_1} + a_{s2,\phi_1} \cdot d_{2,\phi_1})}{b \cdot h + \alpha \cdot (a_{s1,\phi_1} + a_{s2,\phi_1})}$$

$$= \frac{\frac{1000 \cdot 200^2}{2} + 6,061 \cdot (1000 \cdot 150 + 15 \cdot 50)}{1000 \cdot 200 + 6,061 \cdot (1000 + 15)} = 101,4 \text{ mm}$$

V případě stavu porušeného trhlinami je třeba spočítat iterační metodou výšku χ_{II,ϕ_1} tlačné oblasti. Teprve poté se přistoupí k výpočtu vzdálenosti těžiště ideálního průřezu od tlačného povrchu ve stavu s trhlinami.

Ideální průřezová plocha $A_{c,d}$

Účinná plocha průřezu ve stavu bez trhlin činí bez vlivu dotvarování:

$$A_{I,\phi_1} = b \cdot h + \alpha \cdot (a_{s1,\phi_1} + a_{s2,\phi_1}) = 1000 \cdot 200 + 6,061 \cdot (1000 + 15) = 2061,5 \text{ cm}^2$$

Účinná plocha průřezu se ve stavu porušeném trhlinami počítá s vlivem dotvarování.

$$A_{II,\phi_1} = b \cdot \chi_{II,\phi_1} + \alpha \cdot (a_{s1,\phi_1} + a_{s2,\phi_1}) = 1000 \cdot 68,3 + 18,182 \cdot (1000 + 15) = 867,19 \text{ cm}^2$$

Součinitel α je poměr modulů pružnosti oceli a betonu s vlivem, resp. bez vlivu dotvarování.

Ideální moment setrvačnosti k ideálnímu těžišti $I_{c,d}$

Účinný moment setrvačnosti k ideálnímu těžišti ve stavu bez trhlin činí bez vlivu dotvarování:

$$I_{I,\phi_1} = 1/12 \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (z_{I,\phi_1} - h/2)^2 + \alpha \cdot a_{s1,\phi_1} \cdot (d_{1,\phi_1} - z_{I,\phi_1})^2 + \alpha \cdot a_{s2,\phi_1} \cdot (z_{I,\phi_1} - d_{2,\phi_1})^2$$

$$= 1/12 \cdot 1000 \cdot 200^3 + 1000 \cdot 200 \cdot (101,4 - 200/2)^2 + 6,061 \cdot 1000 \cdot (150 - 101,4)^2 + 6,061 \cdot 15 \cdot (101,4 - 50)^2$$

$$= 68161,30 \text{ cm}^4$$

Účinný moment setrvačnosti k ideálnímu těžišti se ve stavu porušeném trhlinami počítá s vlivem dotvarování.

$$I_{II,\phi_1} = 1/12 \cdot \chi_{II,\phi_1}^3 + b \cdot \chi_{II,\phi_1} \cdot (z_{II,\phi_1} - \chi_{II,\phi_1}/2)^2 + \alpha \cdot a_{s1,\phi_1} \cdot (d_{1,\phi_1} - z_{II,\phi_1})^2 + \alpha \cdot a_{s2,\phi_1} \cdot (z_{II,\phi_1} - d_{2,\phi_1})^2$$

$$= 1/12 \cdot 1000 \cdot 68,3^3 + 1000 \cdot 68,3 \cdot (58,5 - 68,3/2)^2 + 18,182 \cdot 1000 \cdot (150 - 58,5)^2 + 18,182 \cdot 15 \cdot (58,5 - 50)^2$$

$$= 21928,70 \text{ cm}^4$$

Ideální moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu $I_{0,c,d}$

Ideální moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu ve stavu bez trhlin je bez vlivu dotvarování:

$$I_{0,I,\phi_1} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 + \alpha \cdot a_{s1,\phi_1} \cdot (d_{1,\phi_1} - h/2)^2 + \alpha \cdot a_{s2,\phi_1} \cdot (h/2 - d_{2,\phi_1})^2$$

$$= 1/12 \cdot 1000 \cdot 200^3 + 6,061 \cdot 200 \cdot (150 - 200/2)^2 + 6,061 \cdot 15 \cdot (200/2 - 50)^2$$

$$= 68204,50 \text{ cm}^4$$

Ideální moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu se ve stavu porušeném trhlinami počítá s vlivem dotvarování:

$$I_{0,II,\phi 1} = 1/12 \cdot \chi^3_{II,\phi 1} + b b \cdot \chi_{II,\phi 1} \cdot (h/2 - \chi_{II,\phi 1}/2)^2 + \alpha \cdot a_{s1,\phi 1} \cdot (d_{1,\phi 1} - h/2)^2 + \alpha \cdot a_{s2,\phi 1} \cdot (h/2 - d_{2,\phi 1})^2$$

$$= 1/12 \cdot 1000 \cdot 68,3^3 + 1000 \cdot 68,3 \cdot (200/2 - 68,3/2)^2 + 18,182 \cdot 1000 \cdot (150 - 200/2)^2 + 18,182 \cdot 15 \cdot (200/2 - 50)^2$$

$$= 36881,50 \text{ cm}^4$$

Výstřednost těžiště $e_{c,d}$

Výstřednost ideálního těžiště průřezu se stanoví následovně:

$$e_{c,\phi 1} = z_{c,\phi 1} - h/2$$

- Stav bez trhlin:

$$e_{\phi 1,I} = 101,4 - 200/2 = 1,4 \text{ mm}$$

- Stav s trhlinami:

$$e_{\phi 1,II} = 58,5 - 200/2 = -41,5 \text{ mm}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky			
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny			
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly			
<input checked="" type="checkbox"/> Výběr návrhových vnitřních sil			
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení kritických ploch			
<input checked="" type="checkbox"/> Materiálové charakteristiky pro výpočet tuhosti			
<input checked="" type="checkbox"/> Průřezové charakteristiky (stav s trhlinami a bez trhlin)			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Geometrie			
Výška průřezu	h	200.0	mm
Účinná výška	$d_{1,\phi 1}$	150.0	mm
Plocha výztuže	$a_{s1,\phi 1}$	10.00	cm ²
Účinná výška	$d_{2,\phi 1}$	50.0	mm
Plocha výztuže	$a_{s2,\phi 1}$	0.15	cm ²
<input type="checkbox"/> Stav bez trhlin (Stav I)			
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{I,\phi 1}$	101.4	mm
Ideální průřezová plocha	$A_{I,\phi 1}$	2061.52	cm ²
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	$I_{I,\phi 1}$	68161.30	cm ⁴
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému	$I_{0,I,\phi 1}$	68204.50	cm ⁴
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru kr	$e_{I,\phi 1}$	1.4	mm
<input type="checkbox"/> Stav s trhlinami (Stav II)			
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{II,\phi 1}$	68.3	mm
Ideální průřezová plocha	$A_{II,\phi 1}$	867.19	cm ²
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	$I_{II,\phi 1}$	21928.70	cm ⁴
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému	$I_{0,II,\phi 1}$	36881.50	cm ⁴
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru kr	$e_{II,\phi 1}$	-41.5	mm

Obr. 2.120: Hodnoty průřezu v 1. směru výztuže

<input checked="" type="checkbox"/> Průřezové charakteristiky (stav s trhlinami a bez trhlin)			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Geometrie			
Výška průřezu	h	200.0	mm
Účinná výška	$d_{1,\phi 2}$	139.0	mm
Plocha výztuže	$a_{s1,\phi 2}$	0.14	cm ²
Účinná výška	$d_{2,\phi 2}$	60.0	mm
Plocha výztuže	$a_{s2,\phi 2}$	0.14	cm ²
<input type="checkbox"/> Stav bez trhlin (Stav I)			
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{I,\phi 2}$	100.0	mm
Ideální průřezová plocha	$A_{I,\phi 2}$	2001.68	cm ²
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	$I_{I,\phi 2}$	66692.90	cm ⁴
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému	$I_{0,I,\phi 2}$	66692.90	cm ⁴
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru kr	$e_{I,\phi 2}$	0.0	mm
<input type="checkbox"/> Stav s trhlinami (Stav II)			
Výška tlakové oblasti betonu	$x_{II,\phi 2}$	9.5	mm
Ideální průřezová plocha	$A_{II,\phi 2}$	100.42	cm ²
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	$I_{II,\phi 2}$	516.86	cm ⁴
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému	$I_{0,II,\phi 2}$	8734.84	cm ⁴
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru kr	$e_{II,\phi 2}$	-90.5	mm

Obr. 2.121: Hodnoty průřezu ve 2. směru výztuže

2.7.10.6 Zohlednění smršťování

Pro uvážení vlivu smršťování vstupuje do výpočtu definovaná hodnota poměrného přetvoření od celkového smršťování ϵ_{sh} . K vlivu konstrukčních vynucených přetvoření a redistribucí smršťovacích sil se tak nepřihlíží.

V našem příkladu se uvažuje následující hodnota poměrného přetvoření od smršťování:

$$\epsilon_{sh} = -0,5 \cdot 10^{-3}$$

Poměrné přetvoření od smršťování vyvolává přídatné síly v průřezu:

$$\begin{aligned} n_{sh,\phi 1} &= -E_s \cdot \epsilon_{sh} \cdot (a_{s1,\phi 1} + a_{s2,\phi 1}) \\ &= -200 \cdot 10^9 \cdot (-0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1000 + 15) \cdot 10^{-6} \\ &= 101,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Síly působí v obou stavech c (bez trhlin, resp. s trhlínami) s výstředností vzhledem k těžišti ideálního průřezu:

$$e_{sh,c,\phi 1} = \frac{a_{s1,\phi 1} \cdot d_{1,\phi 1} + a_{s2,\phi 1} \cdot d_{2,\phi 1}}{a_{s1,\phi 1} + a_{s2,\phi 1}} - z_{c,\phi 1}$$

- Stav bez trhlin:

$$e_{sh,c,\phi 1} = \frac{1000 \cdot 150 + 15 \cdot 50}{1000 + 15} - 101,4 = 47,1 \text{ mm}$$

- Stav s trhlínami:

$$e_{sh,c,\phi 1} = \frac{1000 \cdot 150 + 15 \cdot 50}{1000 + 15} - 58,5 = 90,0 \text{ mm}$$

Ohybový moment vyvozený normálovou silou $n_{sh,\phi 1}$ je pro oba stavy c:

$$m_{sh,c,\phi 1} = n_{sh,\phi 1} \cdot e_{sh,c,\phi 1}$$

- Stav bez trhlin:

$$m_{sh,I,\phi 1} = 101,5 \cdot 10^3 \cdot 0,047 = 4,8 \text{ kNm/m}$$

- Stav s trhlínami:

$$m_{sh,II,\phi 1} = 101,5 \cdot 10^3 \cdot 0,090 = 9,1 \text{ kNm/m}$$

Při stanovení součinitele $k_{sh,c,d}$ je pro oba stavy c třeba rozlišovat:

- pro $m_{\phi 1} \neq 0$:

$$k_{sh,c,\phi 1} = \frac{m_{sh,c,\phi 1} + m_{\phi 1} - n_{\phi 1} \cdot e_{c,\phi 1}}{m_{\phi 1} - n_{\phi 1} \cdot e_{c,\phi 1}}$$

- pro $m_{\phi 1} = 0$:

$$k_{sh,c,\phi 1} = 1 \quad \text{přičemž } k_{sh,c,\phi 1} \in \{1, 100\}$$

V našem příkladu platí: $m_{\phi 1} \neq 0$

- Stav bez trhlin:

$$k_{sh,I,\phi 1} = \frac{4,771 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}} = 1,159$$

- Stav s trhlínami:

$$k_{sh,II,\phi 1} = \frac{9,135 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot (-41,5 \cdot 10^{-3})}{30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot (-41,5 \cdot 10^{-3})} = 1,354$$

☐ Viv smršťování			
☐ v 1. směru výztuže			
☐ Stav bez trhlin (Stav I)			
Volné smršťování	ϵ_{sh}	-0.001	
Normálová síla způsobená smršťováním	$n_{sh,I,\phi 1}$	101.5	kN/m
Moment způsobený smršťováním	$m_{sh,I,\phi 1}$	4.8	kNm/m
Součinitel vlivu smršťování	$k_{sh,I,\phi 1}$	1.159	
☐ Stav s trhlínami (Stav II)			
Volné smršťování	ϵ_{sh}	-0.001	
Normálová síla způsobená smršťováním	$n_{sh,II,\phi 1}$	101.5	kN/m
Moment způsobený smršťováním	$m_{sh,II,\phi 1}$	9.1	kNm/m
Součinitel vlivu smršťování	$k_{sh,II,\phi 1}$	1.354	
☐ v 2. směru výztuže			
☐ Stav bez trhlin (Stav I)			
Volné smršťování	ϵ_{sh}	-0.001	
Normálová síla způsobená smršťováním	$n_{sh,I,\phi 2}$	2.8	kN/m
Moment způsobený smršťováním	$m_{sh,I,\phi 2}$	0.0	kNm/m
Součinitel vlivu smršťování	$k_{sh,I,\phi 2}$	1.000	
☐ Stav s trhlínami (Stav II)			
Volné smršťování	ϵ_{sh}	-0.001	
Normálová síla způsobená smršťováním	$n_{sh,II,\phi 2}$	2.8	kN/m
Moment způsobený smršťováním	$m_{sh,II,\phi 2}$	0.3	kNm/m
Součinitel vlivu smršťování	$k_{sh,II,\phi 2}$	1.238	

Obr. 2.122: Zohlednění smršťování

2.7.10.7 Výpočet rozdělovacího součinitele

Maximální napětí ve stavu bez trhlin je:

$$\sigma_{max,\phi 1} = \frac{n_{\phi 1} + n_{sh,\phi 1}}{A_{\phi 1,I}} + \frac{m_{\phi 1} - n_{\phi 1} \cdot (\chi_{l,\phi 1} - \frac{h}{2}) + m_{sh,I,\phi 1}}{I_{l,\phi 1}} \cdot (h - \chi_{l,\phi 1})$$

$$= \frac{-100 \cdot 10^3 + 101,5 \cdot 10^3}{0,206} + \frac{30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot (0,101 - \frac{0,200}{2}) + 4,778 \cdot 10^3}{6,816 \cdot 10^{-4}} \cdot (0,200 - 0,101)$$

$$= 5,1 MPa$$

Předpokládá se dlouhodobé zatížení:

$$\beta_{\phi 1} = 0,5$$

S přihlédnutím k *tahovému zpevnění* se spočítá rozdělovací součinitel pomocí následující rovnice:

- pro $\sigma_{max,\phi 1} > f_{ctm}$:

$$\zeta_d = 1 - \beta_{\phi 1} \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\sigma_{max,\phi 1}} \right)^2$$

- pro $\sigma_{max,\phi 1} \leq f_{ctm}$:

$$\zeta_{sh,c,\phi 1} = 0$$

V našem příkladu je maximální tahové napětí v betonu větší než pevnost betonu v tahu.

$$\sigma_{max,\phi 1} > f_{ctm}$$

$$5,1 > 2,9$$

Rozdělovací součinitel tak má následující hodnotu:

$$\zeta_{\phi 1} = 1 - \beta_{\phi 1} \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\sigma_{max,\phi 1}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{2,9}{5,1} \right)^2 = 0,835$$

<input checked="" type="checkbox"/> Průřezové charakteristiky (stav s trhlinami a bez trhlin)			
<input checked="" type="checkbox"/> Vliv smršťování			
<input checked="" type="checkbox"/> Výpočet parametru poškození			
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Parametr poškození	$\zeta_{\phi 1}$	0.835	
Tension stiffening		Ano	
Maximální tahové napětí v betonu	$\sigma_{c,l,\phi 1}$	5.1	MPa
Střední nomálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.9	MPa
Součinitel trvání zatížení	$\beta_{\phi 1}$	0.500	
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže			
<input type="checkbox"/> Parametr poškození	$\zeta_{\phi 2}$	0.000	
Tension stiffening		Ano	
Maximální tahové napětí v betonu	$\sigma_{c,l,\phi 2}$	0.2	MPa
Střední nomálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.9	MPa
Součinitel trvání zatížení	$\beta_{\phi 2}$	0.500	
<input checked="" type="checkbox"/> Konečné průřezové charakteristiky			

Obr. 2.123: Výpočet rozdělovacího součinitele

2.7.10.8 Konečné průřezové hodnoty

Křivost se pro oba stavy c (bez trhlin /s trhlinami) vypočítá následovně:

$$\kappa_{c,\phi 1} = k_{sh,c,\phi 1} \cdot \frac{m_{\phi 1} - n_{\phi 1} \cdot e_{c,\phi 1}}{E \cdot I_{c,\phi 1}}$$

- Stav bez trhlin:

$$\kappa_{l,\phi 1} = 1,158 \cdot \frac{30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}}{11 \cdot 10^9 \cdot 6,816 \cdot 10^{-4}} = 4,655 \cdot 10^{-3}$$

- Stav

s trhlinami:

$$\kappa_{ll,\phi 1} = 1,353 \cdot \frac{30 \cdot 10^3 - (-100 \cdot 10^3) \cdot (-41,5 \cdot 10^{-3})}{11 \cdot 10^9 \cdot 2,193 \cdot 10^{-4}} = 14,499 \cdot 10^{-3}$$

Poměrné přetvoření pro oba stavy stanovíme takto:

$$\varepsilon_{c,\phi 1} = \frac{n_{\phi 1}}{E \cdot A_{c,\phi 1}}$$

- Stav bez trhlin:

$$\varepsilon_{l,\phi 1} = \frac{-100 \cdot 10^3}{11 \cdot 10^9 \cdot 0,206} = -4,413 \cdot 10^{-5}$$

- Stav s trhlinami:

$$\varepsilon_{ll,\phi 1} = \frac{-100 \cdot 10^3}{11 \cdot 10^9 \cdot 0,087} = -10,449 \cdot 10^{-5}$$

Můžeme tak určit průměrné poměrné přetvoření.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\phi 1} &= \zeta_{\phi 1} \cdot \varepsilon_{ll,\phi 1} + (1 - \zeta_{\phi 1}) \cdot \varepsilon_{l,\phi 1} \\ &= 0,835 \cdot (-10,449 \cdot 10^{-5}) + (1 - 0,835) \cdot (-4,413 \cdot 10^{-5}) = -9,459 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

Průměrná křivost se vypočítá následovně:

$$\begin{aligned} \kappa_{\phi 1} &= \zeta_{\phi 1} \kappa_{ll,\phi 1} + (1 - \zeta_{\phi 1}) \kappa_{l,\phi 1} \\ &= 0,835 \cdot 14,499 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,835) \cdot 4,655 \cdot 10^{-3} = 12,885 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Na základě střední křivosti a podélného přetvoření lze vypočítat konečné průřezové hodnoty s uvažováním smršťování, dotvarování a tahového zpevnění.

Ideální průřezová plocha

$$A_{\phi 1} = \frac{n_{\phi 1}}{E \cdot \varepsilon_{\phi 1}} = \frac{-100 \cdot 10^3}{11 \cdot 10^9 \cdot (-9,459 \cdot 10^{-5})} = 958,59 \text{ cm}^2$$

Ideální moment setrvačnosti k ideálnímu středu průřezu

$$I_{\phi 1} = \frac{I_{l,\phi 1} \cdot I_{ll,\phi 1}}{\zeta_{\phi 1} \cdot I_{l,\phi 1} \cdot k_{sh,II,\phi 1} + (1 - \zeta_{\phi 1}) \cdot I_{ll,\phi 1} \cdot k_{sh,I,\phi 1}}$$

$$= \frac{6,816 \cdot 10^{-4} \cdot 2,193 \cdot 10^{-4}}{0,836 \cdot 6,816 \cdot 10^{-4} \cdot 1,353 + (1 - 0,836) \cdot 2,193 \cdot 10^{-4} \cdot 1,158}$$

$$= 18391,50 \text{ cm}^2$$

Výstřednost těžiště

$$e_{\phi 1} = \frac{m_{\phi 1} - \kappa_{\phi 1} \cdot E \cdot I_{\phi 1}}{n_{\phi 1}} = \frac{30 \cdot 10^3 - 12,855 \cdot 10^{-3} \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 1,839 \cdot 10^{-4}}{-100 \cdot 10^3} = -39 \text{ mm}$$

Ideální moment setrvačnosti ke geometrickému středu průřezu

$$I_{0,\phi 1} = I_{\phi 1} + A_{\phi 1} \cdot e_{\phi 1}^2 = 1,839 \cdot 10^4 + 0,096 \cdot (-0,0393)^2 = 33207,10 \text{ cm}^4$$

Poissonův součinitel se přitom spočítá následovně:

$$\nu = (1 - \max_{d \in \{1,2\}}(\zeta_d)) \cdot \nu_{init} = (1 - \max(0, 0,836)) \cdot 0,2 = 0,0328$$

<input checked="" type="checkbox"/> Vnitřní síly lineárního výpočtu desky				
<input checked="" type="checkbox"/> Kontrola, zda vnitřní síly způsobují trhliny				
<input checked="" type="checkbox"/> Návrhové vnitřní síly				
<input checked="" type="checkbox"/> Výběr návrhových vnitřních sil				
<input checked="" type="checkbox"/> Stanovení kritických ploch				
<input checked="" type="checkbox"/> Materiálové charakteristiky pro výpočet tuhosti				
<input checked="" type="checkbox"/> Průřezové charakteristiky (stav s trhlinami a bez trhlin)				
<input checked="" type="checkbox"/> Vliv smršťování				
<input checked="" type="checkbox"/> Výpočet parametru poškození				
<input checked="" type="checkbox"/> Konečné průřezové charakteristiky				
<input type="checkbox"/> v 1. směru výztuže				
Ideální průřezová plocha	A _{φ1}	958.59	cm ²	
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	I _{φ1}	18391.50	cm ⁴	
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému s	I _{0,φ1}	33207.10	cm ⁴	
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru critic	e _{φ1}	39.3	mm	
<input type="checkbox"/> v 2. směru výztuže				
Ideální průřezová plocha	A _{φ2}	2001.68	cm ²	
Ideální moment setrvačnosti vůči ideálnímu těžišti	I _{φ2}	66692.90	cm ⁴	
Ideální moment setrvačnosti vůči geometrickému s	I _{0,φ2}	66692.90	cm ⁴	
Excentricita těžiště (kladná hodnota ve směru critic	e _{φ2}	0.0	mm	

Obr. 2.124: Konečné průřezové hodnoty

2.7.10.9 Matice tuhosti materiálu

Tuhost v ohybu

$$D_{1.1} = \frac{I_{0,\phi_1} \cdot E}{1-\nu^2} = \frac{3,322 \cdot 10^{-4} \cdot 11 \cdot 10^9}{1-0,0328^2} = 3656,74 \text{ kNm}$$

$$D_{1.2} = D_{2.1} = 0,0328 \cdot \sqrt{(3,656 \cdot 10^6 \cdot 7,344 \cdot 10^6)} = 170,58 \text{ kNm}$$

Tuhost v kroucení

$$D_{3.3} = \frac{1-\nu}{2} \cdot \sqrt{D_{1.1} \cdot D_{2.2}} = \frac{1-0,0328}{2} \cdot \sqrt{(3,656 \cdot 10^6 \cdot 7,344 \cdot 10^6)} = 2505,84 \text{ kNm}$$

Smyková tuhost

$$D_{4.4} = D_{5.5} = \frac{5}{6} \cdot G \cdot h = \frac{5}{6} \cdot 11,8 \cdot 10^9 \cdot 0,2 = 1966670 \text{ kNm/m}$$

Membránová tuhost

$$D_{6.6} = \frac{E \cdot A_{\phi_1}}{1-\nu^2} = \frac{11 \cdot 10^9 \cdot 0,096}{1-0,0328^2} = 1055590 \text{ kNm/m}$$

$$D_{6.7} = D_{7.6} \cdot \nu \cdot \sqrt{(D_{6.6} \cdot D_{7.7})} = 0,0328 \cdot \sqrt{(1055,590 \cdot 10^6 \cdot 2204,240 \cdot 10^6)} = 50210,6 \text{ kNm}$$

$$D_{8.8} = G \cdot h = 11,8 \cdot 10^9 \cdot 0,2 = 2360000 \text{ kNm/m}$$

Excentricita

$$D_{1.6} D_{6.1} = D_{6.1} \cdot e_{\phi_1} = 1055,590 \cdot 10^9 \cdot 0,0393 = 41499,2 = \text{kNm/m}$$

$$D_{2.7} = D_{7.2} = D_{7.7} \cdot e_{\phi_2} = 0$$

$$D_{1.7} = D_{7.1} = \frac{\nu}{2} \cdot (e_{\phi_1} + e_{\phi_2}) \cdot \sqrt{D_{6.6} \cdot D_{7.7}} = \frac{0,0328}{2} \cdot (0,0393 + 0) \cdot \sqrt{1055,590 \cdot 10^6 \cdot 2505,84 \cdot 10^6} = 987,0 \text{ kNm}$$

$$D_{3.8} = D_{8.3} = \frac{1}{2} \cdot G \cdot h \cdot (e_{\phi_1} + e_{\phi_2}) = \frac{1}{2} \cdot 11,8 \cdot 10^9 \cdot 0,2 \cdot (0,0393 + 0) = 46390,2 \text{ kNm}$$

<input checked="" type="checkbox"/> Průřezové charakteristiky (stav s trhlinami a bez trhlin)			
<input checked="" type="checkbox"/> Vliv smršťování			
<input checked="" type="checkbox"/> Výpočet parametru poškození			
<input checked="" type="checkbox"/> Konečné průřezové charakteristiky			
<input checked="" type="checkbox"/> Matice tuhosti materiálu			
<input type="checkbox"/> Ohybová tuhost			
v 1. směru výztuže	D ₁₁	3656.74	kNm
v 2. směru výztuže	D ₂₂	7344.18	kNm
příčný vliv	D ₁₂	170.58	kNm
kroucení	D ₃₃	2505.84	kNm
<input type="checkbox"/> Smyková tuhost			
v 1. směru výztuže	D ₄₄	1966670.0	kN/m
v 2. směru výztuže	D ₅₅	1966670.0	kN/m
<input type="checkbox"/> Membránová tuhost			
v 1. směru výztuže	D ₆₆	1055590.0	kN/m
v 2. směru výztuže	D ₇₇	2204240.0	kN/m
příčný vliv	D ₆₇	50210.6	kN/m
kroucení	D ₈₈	2360000.0	kN/m
<input type="checkbox"/> Excentricita			
v 1. směru výztuže	D ₁₆	41499.2	kNm/m
v 2. směru výztuže	D ₂₇	0.0	kNm/m
příčný vliv	D ₁₇	987.0	kNm/m
kroucení	D ₃₈	46390.2	kNm/m

Obr. 2.125: Matice tuhosti materiálu

2.8 Nelineární metoda posouzení

2.8.1 Obecně

Posouzení v mezním stavu použitelnosti (MSP) se obecně dělí do 3 podskupin:

- Omezení napětí (EN 1992-1-1, čl. 7.2)
- Omezení trhlin (EN 1992-1-1, čl. 7.3)
- Omezení průhybu (EN 1992-1-1, čl. 7.4)

Pro dimenzování železobetonových konstrukcí se zpravidla používají lineární analýzy nosných prvků. Pro výpočet výztuže včetně posouzení mezního stavu použitelnosti se tak provádí lineární výpočet vnitřních sil s následným posouzením průřezu. Při tomto postupu se ovšem zohledňuje pro železobeton typická tvorba trhlin s příslušnými nelineárními zákony platnými pro železobeton pouze na úrovni průřezu.

Pokud uvážíme nelineární chování železobetonu při výpočtu vnitřních sil, obdržíme realistické stavy napjatosti a následně takové rozdělení vnitřních sil, které se u staticky neurčitých konstrukcí v důsledku redistribuce tuhosti značně liší od lineárně spočtených vnitřních sil. Pro posouzení mezního stavu použitelnosti to znamená, že pro výpočet přetvoření, napětí a trhlin, které odpovídají skutečnosti, je třeba zohlednit nelineární chování železobetonu.

Pokud při výpočtu deformací neuvážíme vznik trhlin, pak deformace podceníme. Jestliže zohledníme dotvarování a smršťování, může nastat trojnásobná až osminásobná deformace – v závislosti na stavu namáhání a daných okrajových podmínkách. Přídavný modul **RF-CONCRETE NL** umožňuje provést realistický výpočet deformací, šířky trhlin i napětí železobetonových ploch tím, že při výpočtu vnitřních sil zohledňuje nelineární chování materiálu.

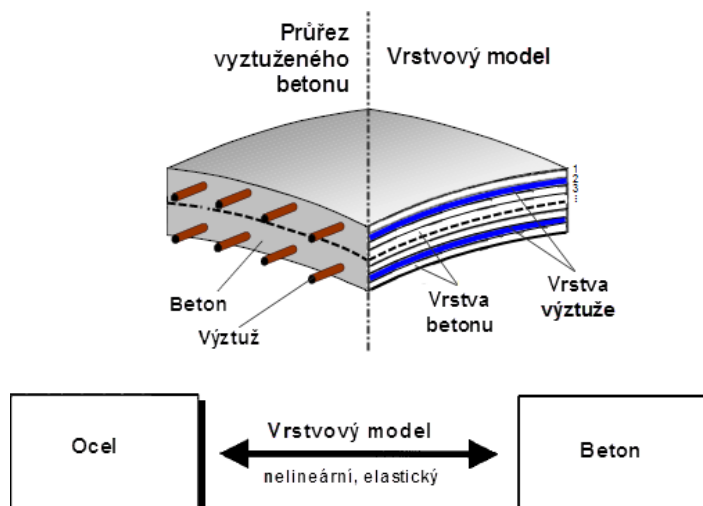
2.8.2 Rovnice a řešení přibližnými metodami

2.8.2.1 Teoretické základy

Pojmem „nelineární výpočet“ se rozumí výpočet vnitřních sil a deformací, při němž se zohledňuje (fyzikálně) nelineární chování materiálu.

Plošné nosné konstrukce lze jako dvourozměrné nosné prvky popsat pomocí stavových veličin plošných zatížení, deformací, vnitřních sil a přetvoření v jejich těžištích. Vzhledem k tomu, že pro nelineární modelování železobetonových prvků je ovšem třeba uvážit materiálové vlastnosti, které se po výšce plochy mění, je třeba model 2D rozšířit o výšku průřezu. Železobetonový průřez se rozdělí do určitého počtu ocelových a betonových vrstev (srov. obr. 2.126 níže).

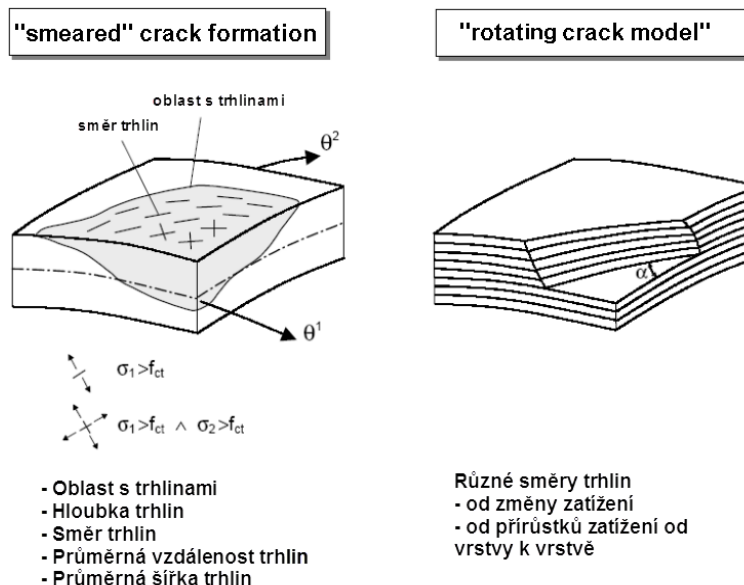
Pokud vyjdeme z přetvoření v těžištích ploch, získáme za předpokladu zachování normál pro jednotlivé vrstvy přetvoření, která vyvozují napětí při uplatnění příslušného zákona o chování oceli nebo betonu. Tato výsledná napětí pro jednotlivé vrstvy pak lze integrovat do vnitřních sil celého průřezu.



Obr. 2.126: Vrstvový model železobetonových ploch

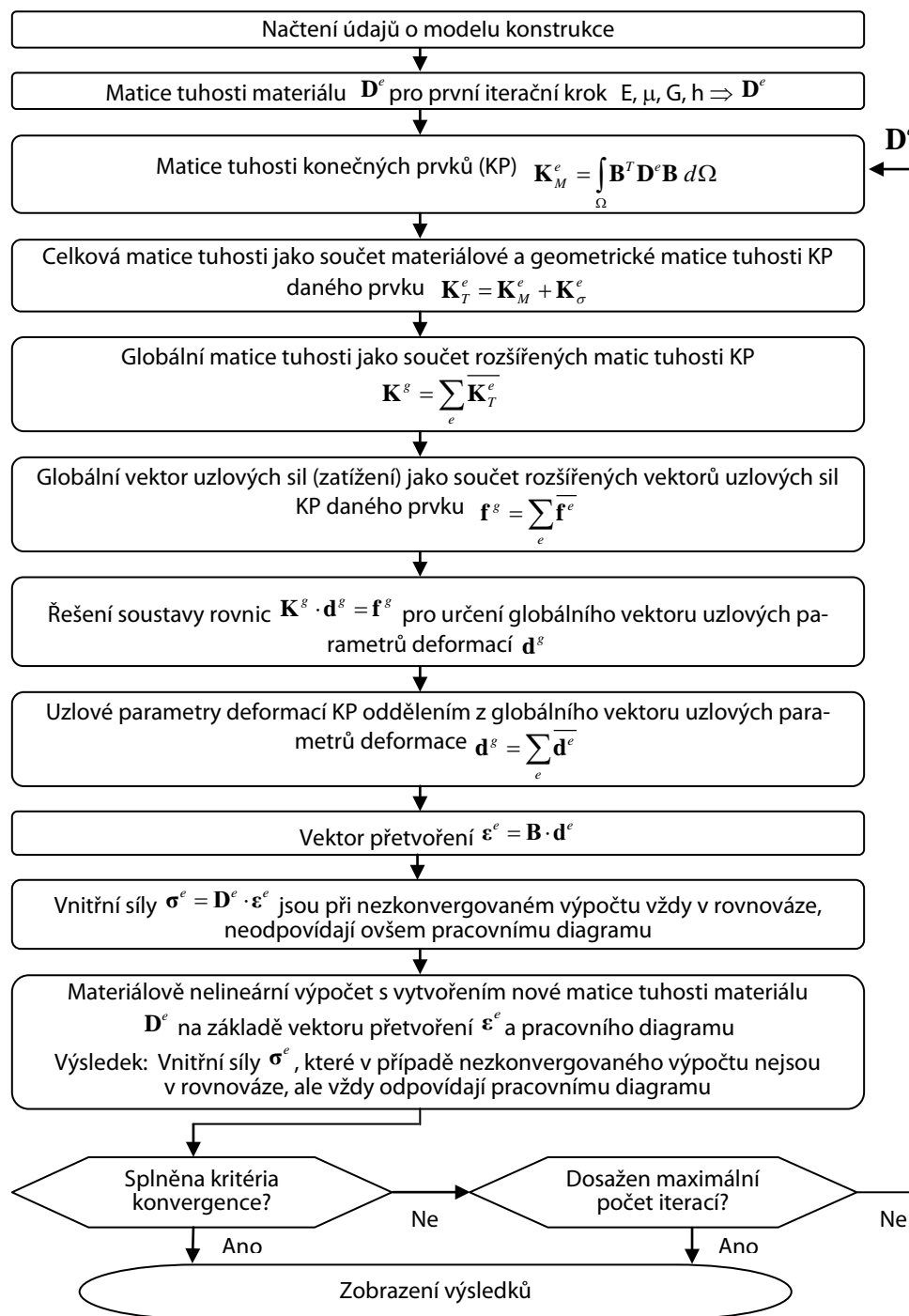
Pokud je v některém bodu konstrukce dosažena pevnost betonu v tahu, nastane diskontinuita ve formě trhliny. Přísně vzato by zde bylo nutné upravit diskretizaci (*remeshing*), aby byla ve výpočtu zohledněna skutečná poloha a rozsah každé trhliny. S vyšším počtem trhlín by silně stoupala náročnost výpočtu touto metodou, protože každá trhlina by vedla ke zvýšení počtu prvků. Z tohoto důvodu se vzniklé trhliny v jednom prvku „sloučí“ a vlivy trhlín na snížení pevnosti se ve výpočtu zohlední pomocí upraveného zákona o chování materiálu.

Pokud první hlavní napětí v určité betonové vrstvě dosáhne pevnosti betonu v tahu, vznikne trhlina kolmo na první směr hlavního napětí. Pokud se změní zatížení, může se změnit i tento hlavní směr. Přitom lze přijmout předpoklad, že se poloha a směr vzniklé trhliny nemění (takzvaný *fixed crack model*) nebo že trhlina je stále kolmá na proměnné hlavní směry (*rotating crack model*). Modul RF-CONCRETE NL používá *rotating crack model*.



Obr. 2.127: Modelování trhlín u železobetonových plošných prvků

2.8.2.2 Postupový diagram



Obr. 2.128: Postupový diagram

kdy

- D^e Matice tuhosti materiálu, konstitutivní matice
- B Matice na základě geometrie a základního typu funkce KP $\epsilon^e = B \cdot d^e$
- K_M^e Materiálová matice tuhosti KP
- K_{σ}^e Geometrická matice tuhosti KP
- K_T^e Celková matice tuhosti KP
- K^g Globální matice tuhosti celého modelu konstrukce

f^e	Vektor uzlových sil KP
f^g	Globální vektor uzlových sil (zatížení na celý model konstrukce), vektor pravých stran
d^e	Vektor uzlových parametrů deformace KP
d^g	Globální vektor uzlových parametrů deformace, vektor neznámých
ε^e	Vektor přetvoření
σ^e	Vektor vnitřních sil

2.8.2.3 Metody řešení nelineárních rovnic

Formulace metody konečných prvků pro řešení nelineárních diferenčních rovnic vede k algebraickým rovnicím, které lze vyjádřit v následujícím tvaru:

$$K(d) \cdot d = f$$

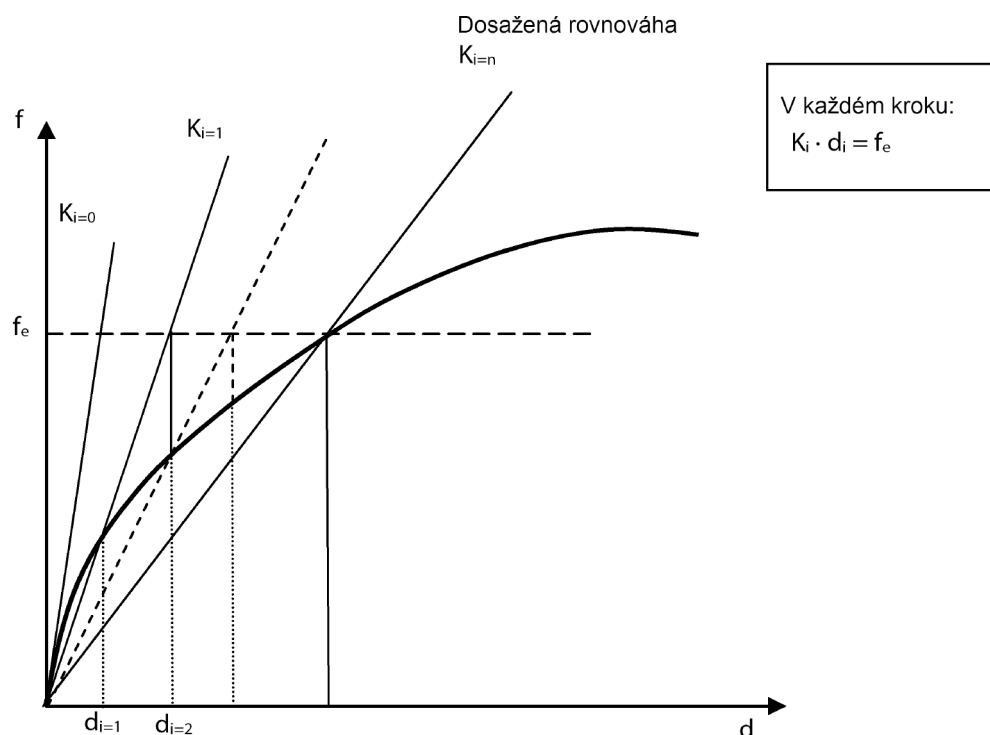
Rovnice 2.86

kdy

K	Matice tuhosti konstrukce
D	Vektor neznámých (obvykle uzlových parametrů deformace)
F	Vektor pravých stran (obvykle sil v uzlu)

Matice K je funkcí d , a tak ji nelze vyhodnotit bez znalosti vektoru kořenů soustavy d . Vzhledem k tomu, že tuto nelineární soustavu nelze řešit přímo, používá se iterační metoda, založená na postupném upřesňování řešení.

V modulu RF-CONCRETE NL se uplatňuje princip PICARDOVY iterace. Tato metoda je známá také pod označením *přímá iterační metoda* nebo *metoda sečného modulu*.



Obr. 2.129: Přímá iterační metoda

2.8.2.4 Kritéria konvergence

Při řešení nelineárních rovnic se uvažují dvě kritéria konvergence. Iterační krok se považuje za uzavřený, pokud je některé kritérium konvergence splněno. První kritérium konvergence sleduje změnu diagonálních členů matice tuhosti materiálu. Jakmile se ustálí matice tuhosti materiálu u všech konečných prvků, je dosažena konvergence.

$$D_{\text{tot}}^{i-1} = \begin{bmatrix} D_j^{i-1} & & \\ & \dots & \\ & & D_n^{i-1} \end{bmatrix} \quad D_{\text{tot}}^i = \begin{bmatrix} D_j^i & & \\ & \dots & \\ & & D_n^i \end{bmatrix} \quad \frac{\sum_{j=1}^n |D_j^i - D_j^{i-1}|}{\sum_{j=1}^n D_j^{i-1}} \leq \varepsilon$$

Rovnice 2.87

kdy

- D_{tot}^{i-1} Matice tuhosti materiálu z předešlého iteračního kroku
- D_{tot}^i Matice tuhosti materiálu v aktuálním iteračním kroku
- ε Požadovaná přesnost (pro přesnost 1 v RFEMu platí: $\varepsilon = 0,05 \%$)

Druhé kritérium konvergence sleduje změnu velikosti maximální deformace. Současně se kontroluje, zda se změnilo místo maximální deformace v konstrukci. Vzhledem k tomu, že deformace zpravidla konverguje rychleji než matice tuhosti, aktivuje se kritérium deformace až po 50 iteračních krocích (pro přesnost 1 v RFEMu).

$$\frac{d_{\text{max}}^i - d_{\text{max}}^{i-1}}{d_{\text{max}}^{i-1}} < \varepsilon \quad \text{a} \quad N_{\text{max}}^i = N_{\text{max}}^{i-1}$$

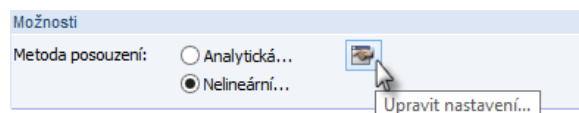
Rovnice 2.88

kdy

- d_{max}^{i-1} Maximální posun uzlu z předešlého iteračního kroku
- d_{max}^i Maximální posun uzlu v konstrukci v aktuálním iteračním kroku
- ε Požadovaná přesnost (pro přesnost 1 v RFEMu platí: $\varepsilon = 0,05 \%$)
- N_{max}^{i-1} Číslo uzlu s maximálním posunem z předešlého iteračního kroku
- N_{max}^i Číslo uzlu s maximálním posunem z aktuálního iteračního kroku



Přesnost kritérií konvergence pro nelineární výpočet a pro okamžik, od něhož se bude zohledňovat i kritérium deformace, se nastavuje v záložce *Globální parametry výpočtu* dialogu *Parametry výpočtu* v hlavním programu RFEM. Daný dialog je přístupný také z dialogu 1.1 *Základní údaje* modulu RF-CONCRETE:

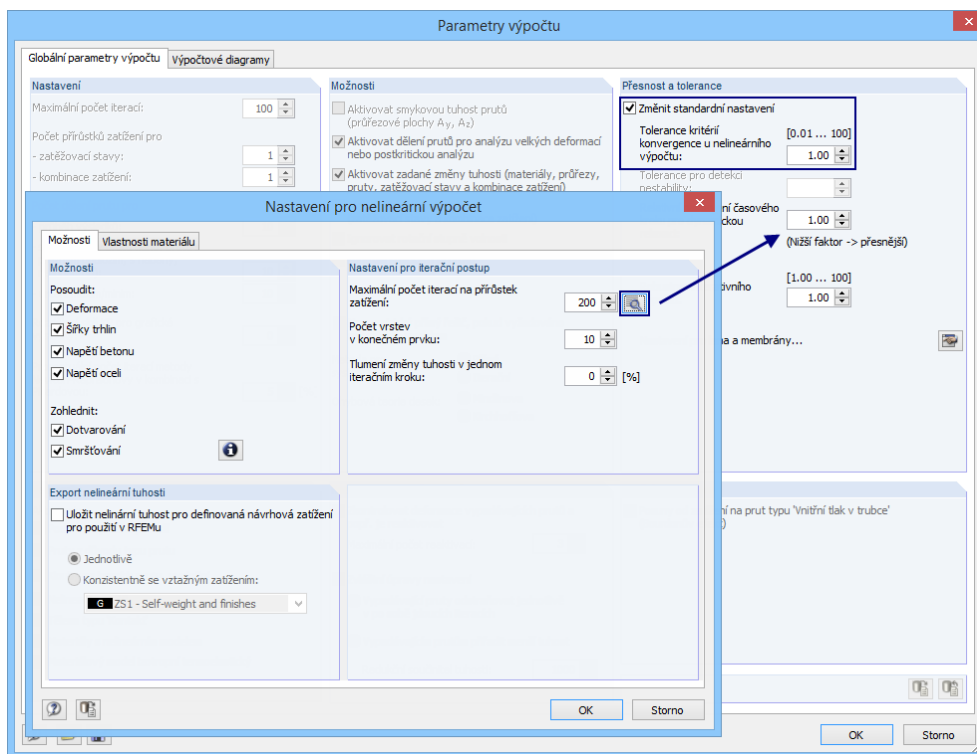


Obr. 2.130: Tlačítko [Upravit nastavení...] v dialogu 1.1 *Základní údaje*, v záložce *Mezní stav použitelnosti*

Otevře se dialog *Nastavení pro nelineární výpočet* (viz následující obrázek).



Tlačítko [Detaily...] pak slouží k zobrazení dialogu *Parametry výpočtu* hlavního programu RFEM.



Obr. 2.131: Dialog *Nastavení pro nelineární výpočet* s možným přístupem do dialogu *Parametry výpočtu* RFEMu

Hodnota, kterou v tomto dialogu zadáme pro přesnost kritérií konvergence („přesnost v RFEMu“), má následující vliv na kritérium přerušení ϵ fyzikálně nelineárního výpočtu a na iterační krok n_i , od něhož se navíc zohledňuje kritérium deformace:

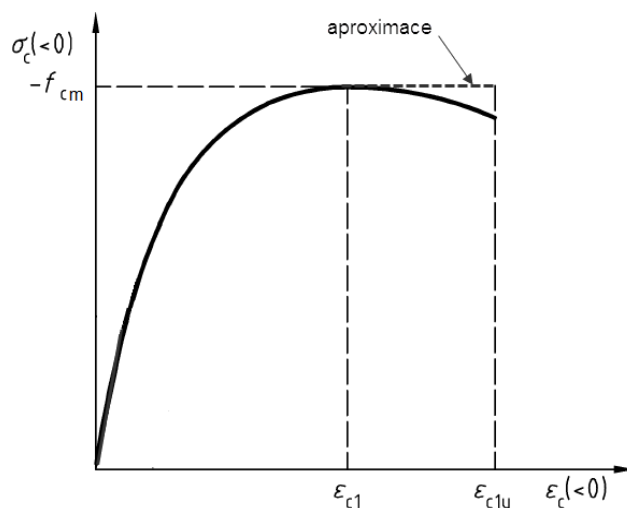
$$\epsilon = \text{„přesnost v RFEMu“} \cdot 0,05 \% \qquad n_i = 1 / \text{„přesnost v RFEMu“} \cdot 50$$

Standardní hodnota přesnosti v RFEMu je 1. Přesnost kritérií konvergence pro fyzikální nelinearitu pak odpovídá $\epsilon = 0,05 \%$ a kritérium deformace se začíná přidatně uvažovat po 50. iteračním kroku. Pro vyšší přesnost je třeba hodnotu přesnosti v RFEMu zmenšit. Tím se zmenší ϵ a kritérium deformace se bude zohledňovat později.

2.8.3 Materiálové charakteristiky

2.8.3.1 Beton v tlačené oblasti

Při posouzení mezního stavu použitelnosti se uvažují průměrné hodnoty pevnosti materiálů. V tlačené oblasti lze zvolit buď parabolický nebo parabolicko-rectangulární průběh pracovního diagramu.



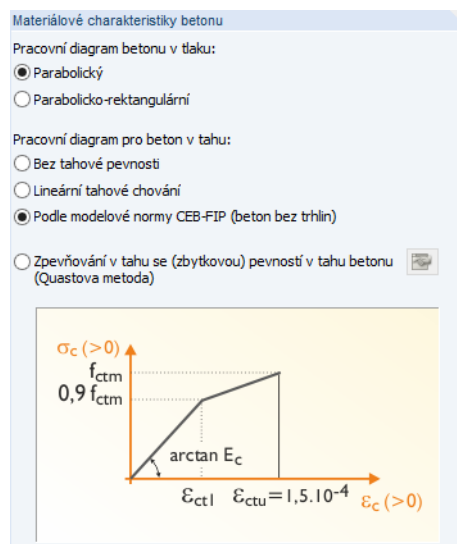
Obr. 2.132: Pracovní diagram betonu v tlačené oblasti



Příslušné údaje se nastaví v dialogu *Nastavení pro nelineární výpočet*, v záložce *Vlastnosti materiálu* (viz obr. 3.11, strana 134). Tento dialog otevřeme ze záložky *Mezní stav použitelnosti* dialogu 1.1 *Základní údaje* pomocí vlevo znázorněného tlačítka (viz obr. 2.130).

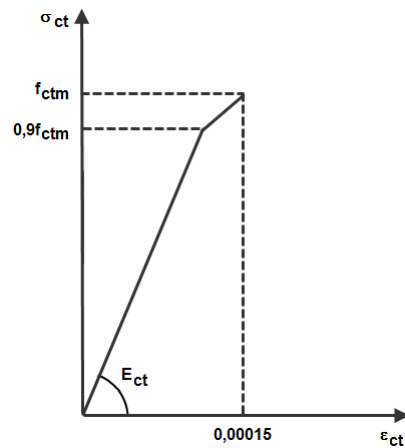
2.8.3.2 Beton v tažené oblasti

Také pro pracovní diagram betonu v tažené oblasti máme na výběr z několika možností.



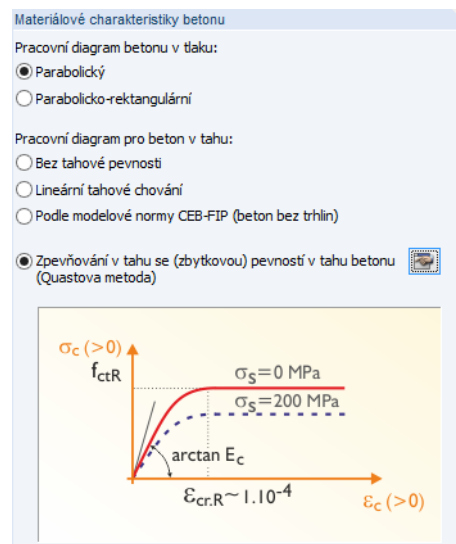
Obr. 2.133: Pracovní diagramy betonu v tažené oblasti

Pevnost betonu v tahu lze mimo jiné zohlednit v souladu s modelovou normou CEB-FIP 90:1993. Přitom se až k dosažení pevnosti betonu v tahu f_{ctm} předpokládá průběh do mezního poměrného přetvoření 0,15 ‰ znázorněný na obr. 2.134.



Obr. 2.134: Pracovní diagram betonu v tažené oblasti podle modelové normy CEB-FIP 90:1993

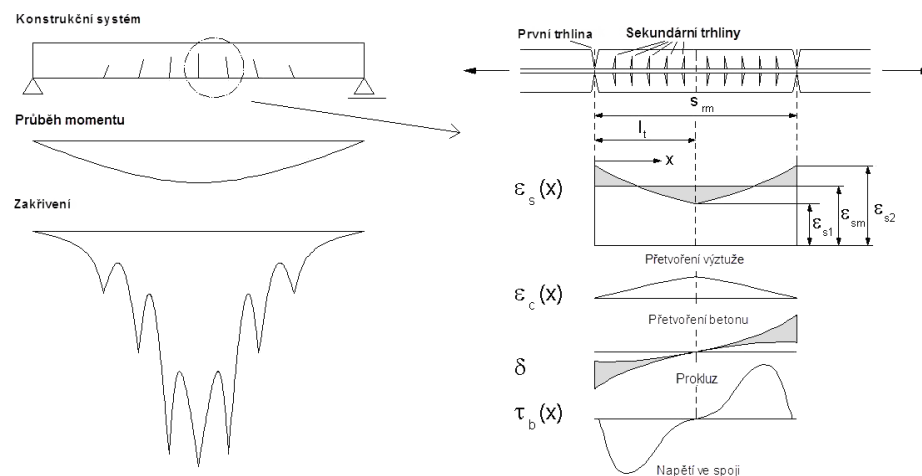
Další možností je zohlednit tahové zpevnění betonu (*Tension Stiffening*). Tento proces blíže popíšeme v následující kapitole.



Obr. 2.135: Pracovní diagram pro tahové zpevnění betonu

2.8.3.3 Zpevnění betonu v tažené oblasti

U železobetonových prvků porušených trhlinami se tahové síly v trhlíně přenášejí výlučně výztuží. Mezi dvěma trhlinami se ovšem tahová napětí přenáší přes (posuvné) spřažení do betonu. Beton se tak podílí na přenášení vnitřních tahových sil, což vede ke zvýšení tuhosti prvku. Tento účinek se označuje jako tahové zpevnění betonu mezi trhlinami nebo také jako *Tension Stiffening*.



Obr. 2.136: Průběh napětí a přetvoření mezi dvěma primárními trhlinami

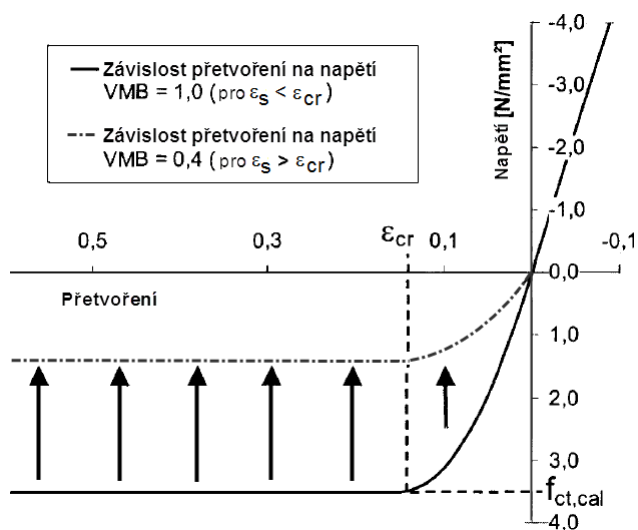
Zvýšení tuhosti prvku tahovým zpevněním lze zohlednit dvěma způsoby:

- Konstantní zbytkové tahové napětí, které zde zůstává po vzniku trhliny, lze zahrnout do pracovního diagramu betonu. Zbytkové tahové napětí je přitom výrazně menší než pevnost betonu v tahu. Alternativně lze také upravit vztahy mezi napětím a přetvořením pro taženou oblast, kdy je klesající větví po dosažení pevnosti v tahu zohledněno tahové zpevnění betonu mezi trhlinami.
- Další možností je změna „holého“ pracovního diagramu betonářské oceli. Přitom se ve sledovaném průřezu uvažuje redukované přetvoření oceli ϵ_{sm} , které získáme z ϵ_{s2} po odečtení účinků tahového ztužení.

RF-CONCRETE NL používá pro zohlednění tahového zpevnění model pevnosti betonu v tahu podle QUASTA [16]. Tento model vychází z definovaného pracovního diagramu betonu v tažené oblasti (parabolicko-rectangulární diagram). Hlavní předpoklady tohoto modelu lze shrnout následovně:

- Plné tahové zpevnění betonu až k dosažení mezního poměrného přetvoření ϵ_{cr} , resp. výpočtové pevnosti betonu v tahu $f_{ct,R}$
- Redukované zpevnění betonu v tažené oblasti odpovídající danému přetvoření betonu
- Žádné tahové zpevnění po dosažení meze tečení u rozhodujícího výztužného prutu

Souhrnně to znamená, že výpočtová pevnost v tahu $f_{ct,R}$ **není** pevná veličina, nýbrž se vztahuje na dané přetvoření v rozhodujícím ocelovém (taženém) vláknu. Maximální pevnost v tahu $f_{ct,R}$ klesá od definovaného mezního poměrného přetvoření ϵ_{cr} do přetvoření výztužného prutu na mezi pevnosti v rozhodujícím ocelovém vláknu lineárně na nulu. Vychází se přitom z pracovního diagramu pro taženou oblast betonu (parabolicko-rectangulární diagram) znázorněného na obr. 2.137 a z výpočtu redukčního součinitele TZB (tahového zpevnění betonu).



Obr. 2.137: Pracovní diagram betonu v tažené oblasti s redukčním součinitelem TZB = 0,4

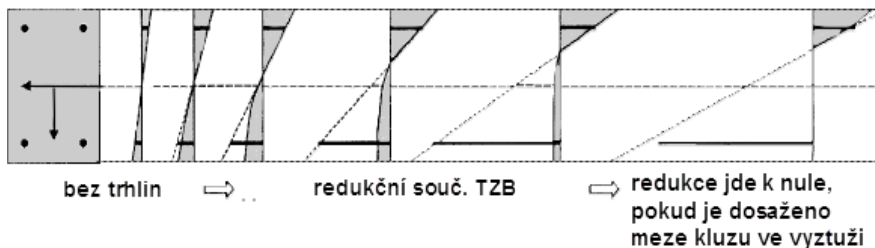
Pracovní diagram v tažené oblasti lze vyjádřit následujícími rovnicemi:

$$\sigma_c = VMB \cdot \left[f_{ct,R} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_{cr}} \right)^{n_{PR}} \right) \right] \quad \text{pro } 0 < \epsilon \leq \epsilon_{cr}$$

$$\sigma_c = VMB \cdot f_{ct,R} \quad \text{pro } \epsilon > \epsilon_{cr} \text{ (konstantní průběh)}$$

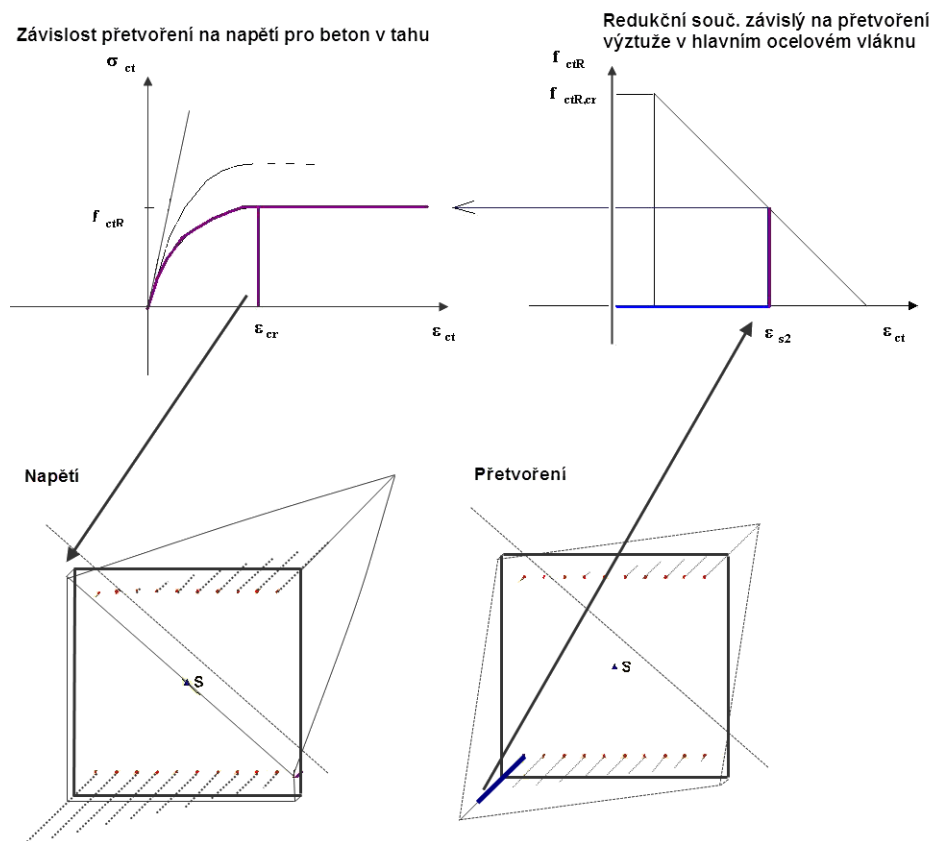
Rovnice 2.89

Parabolu v první rovnici lze ovlivnit mocnitelem n_{PR} . Mocnitel by se měl upravit tak, aby při přechodu z tlačené do tažené oblasti byl modul pružnosti pokud možno stejný.



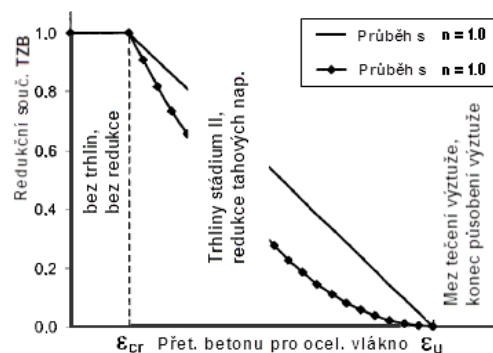
Obr. 2.138: Stavy napjatosti pro rostoucí namáhání s tahovým zpevněním

Pro stanovení redukčního součinitele TZB se použije přetvoření na nejsilněji taženém ocelovém vlákně. Poloha referenčního bodu je znázorněna na obr. 2.139.



Obr. 2.139: Stanovení zbytkové tahové pevnosti pro tahové zpevnění podle QUASTA [16]

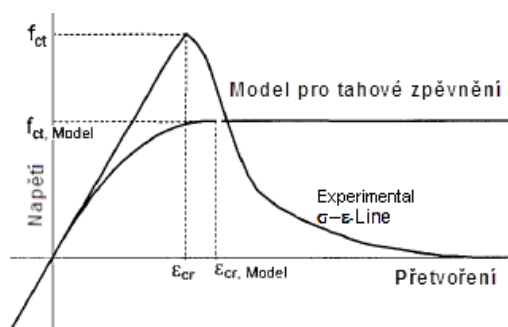
Redukční součinitel TZB klesá s rostoucím přetvořením výztuže. Z diagramu pro součinitel TZB (viz následující obr. 2.140) je patrné, že součinitel TZB klesne na nulovou hodnotu přesně v okamžiku, kdy výztuž dosáhne meze tečení.



Obr. 2.140: Redukční součinitel TZB

Průběh redukčního součinitele TZB ve stavu II ($\epsilon > \epsilon_{cr}$) lze ovlivnit mocnitelem n_{TZB} . Empirické hodnoty, které lze podle PFEIFFERA [11] použít, jsou hodnoty $n_{TZB} = 1$ (lineární) až $n_{TZB} = 2$ (parabola) pro prvky namáhané ohybem. QUAST [17] ve svém modelu používá mocnitel $n_{TZB} = 1$ (lineární), a dosahuje tak dobré shody při následném přepočítání experimentů na sloupech. Podle PFEIFFERA [11] lze pomocí $n_{TZB} = 2$ modelovat čistě tahové experimenty s přijatelnou shodou.

Parabolo-rectangulární diagram pro taženou oblast betonu porušenou trhlinami má sloužit jako pomoc při výpočtu. Na první pohled existují značné rozdíly při srovnání s experimentálně stanoveným pracovním diagramem na tažené straně prostého betonu.



Obr. 2.141: Porovnání modelu s laboratorním pokusem

Pokud sledujeme napětí v železobetonovém průřezu namáhaném ohybem, ukazuje se, že pomocí parabolicko-rektangulárního diagramu lze mnohem lépe popsat průměrná přetvoření a napětí.

U nosníku namáhaného ohybem se mezi dvěma trhlinami vytvoří betonové těleso, které působí jako určitý druh stěny, do které se pozvolna přes výztuž znovu přenáší tahové síly. Tím vzniká velmi nepravidelný průběh napětí a přetvoření. V průměru lze ovšem vytvořit rovinu přetvoření s parabolicko-rektangulárním průběhem, kterým lze zachytit průměrné zakřivení.



Obr. 2.142: Stav napjatosti při ohybu

QUAST navrhl u svého modelu následující výpočtové hodnoty pro pevnost v tahu $f_{ct,R}$ a pro mezní poměrné přetvoření $\varepsilon_{cr,R}$:

$$f_{ct,R} = \left| \frac{1}{20} \cdot f_{cm} \right| \quad \varepsilon_{cr,R} = \left| \frac{1}{20} \cdot \varepsilon_{c1} \right|$$

Rovnice 2.90

Výpočtová hodnota pro pevnost v tahu $f_{ct,R}$ je tak menší než hodnoty stanovené Eurokódem. Důvod spočívá v pracovním diagramu a ve výpočtu redukčního součinitele TZB, kdy předpokládané tahové napětí a výsledná tahová síla po překročení tahového poměrného přetvoření klesají jen pozvolna. Při přetvoření $2 \cdot \varepsilon_{cr}$ ještě působí tahové napětí odpovídající přibližně $0,95 \cdot f_{ct,R}$. Při namáhání ohybem tak lze dobře předpovídat snížení tuhosti. Při prostém tahovém namáhání jsou výše uvedené hodnoty pro $f_{ct,R}$ příliš malé. V tomto případě by se podle PFEIFFERA [11] měly pro výpočtovou hodnotu pevnosti v tahu použít hodnoty z Eurokódu 2.

Hodnot pro $f_{ct,R} = 1/20 \cdot f_{cm}$, které QUAST [17] doporučuje, lze dosáhnout tak, že použijeme 60% hodnot stanovených pro pevnost v tahu v normě EC 2. Pokud dosadíme za $f_{ct,R} = 0,6 \cdot f_{cm}$, na jedné straně se předpoví porušení průřezu trhlinami příliš brzy. Na druhé straně se tím však již zohlední snížení pevnosti v tahu vlivem dlouhodobého zatížení (cca 70 %) nebo dočasně vyššího zatížení (např. krátkodobého působení charakteristické kombinace zatížení), které poškozuje tlačěnou oblast.

Jednotlivé výpočtové hodnoty pro taženou oblast betonu lze popsat následovně:

$$f_{ct,R} = 0,60 \cdot f_{ct,norma}$$

Výpočtová pevnost v tahu

$$v = \left| \frac{f_{cm}}{f_{ct,norma}} \right|$$

Poměrná hodnota, pomocná hodnota

$$\varepsilon_{cr,R} = \left| \frac{\varepsilon_{c1}}{v} \right|$$

Výpočtové mezní poměrné přetvoření

$$\eta_{PR} = 1,1 \cdot E_{cm} \cdot \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cm}}$$

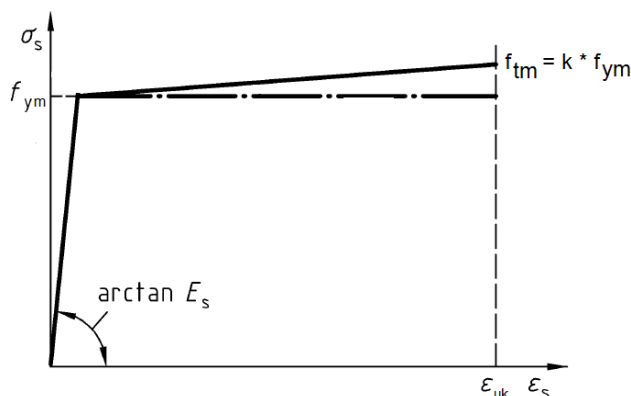
Mocnitel pro obecnou parabolu (viz rovnice 2.89)

Rovnice 2.91

2.8.3.4 Betonářská ocel

Při posouzení mezního stavu použitelnosti se vychází z průměrných hodnot pevností materiálů. Průměrné hodnoty pevnosti betonářské oceli zveřejnil výbor JCSS v předpisu *Probabilistic Model Code*. V něm se průměrná hodnota meze kluzu betonářské oceli stanoví na $f_{ym} = 1,1 \cdot f_{yk}$.

RF-CONCRETE NL používá pracovní diagram betonářské oceli s bilineárním průběhem.



Obr. 2.143: Pracovní diagram betonářské oceli

Uživatel může zvolit buď horizontální průběh plastické větve nebo její stoupání až k dosažení f_{tm} . Příslušné údaje se nastaví v dialogu *Nastavení pro nelineární výpočet* (viz obr. 3.11, strana 134). Tento dialog otevřeme ze záložky *Mezní stav použitelnosti* dialogu 1.1 *Základní údaje* pomocí tlačítka [Upravit nastavení...].

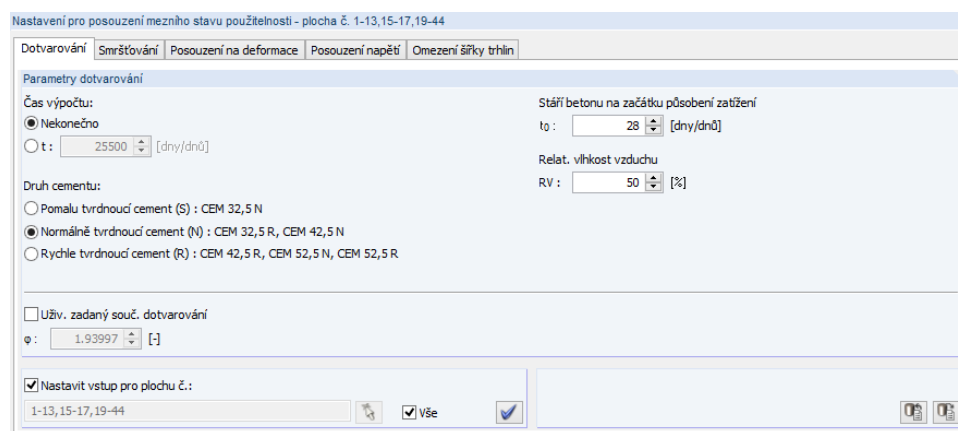
2.8.4 Dotvarování a smršťování

2.8.4.1 Zohlednění dotvarování

Dotvarováním lze popsat časově závislé přetvoření betonu vyvolané zatížením, které působí po určitou dobu. Veličiny, které mají podstatný vliv na dotvarování, jsou podobné jako u smršťování (viz kapitola 2.8.4.2). Kromě toho má na přetvoření vyvolaná dotvarováním betonu důležitý vliv konstantní tlakové napětí σ_c .

Pro dotvarování je třeba zohlednit trvání zatížení, okamžik, kdy je poprvé beton zatížen, a také velikost namáhání. Dotvarování se uvažuje součinitelem dotvarování $\varphi(t, t_0)$ k určitému časovému okamžiku t .

V modulu RF-CONCRETE Surfaces se údaje pro výpočet součinitele dotvarování zadávají v dialogu 1.3 *Plochy*. Je zde třeba určit stáří betonu v okamžiku, kdy je poprvé zatížen, dále relativní vlhkost vzduchu a druh cementu. Z těchto vstupních údajů program spočítá součinitel dotvarování φ .



Obr. 2.144: Dialog 1.3 *Plochy*, záložka *Dotvarování*

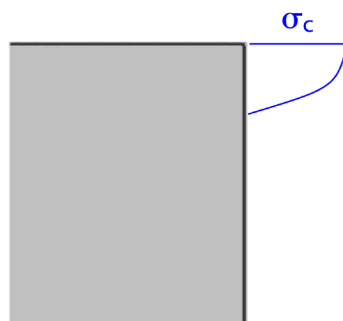
Nyní v krátkosti popíšeme výpočet součinitele dotvarování φ podle EN 1992-1-1, čl. 3.1.4. Předpokladem pro níže uvedené rovnice je, aby konstantní tlakové napětí σ_c nepřekročilo následující hodnotu:

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ckj}$$

Rovnice 2.92

kdy

f_{ckj} Válcová pevnost betonu v tlaku v okamžiku vnesení konstantního tlakového napětí



Obr. 2.145: Konstantní tlakové napětí σ_c

Za předpokladu lineárního dotvarování ($\sigma_c < 0,45 \cdot f_{ck}$) lze dotvarování betonu uvažovat nižší hodnotou modulu pružnosti betonu.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1,0 + \varphi(t, t_0)}$$

Rovnice 2.93

kdy

E_{cm}	Průměrný modul pružnosti podle EN 1992-1-1, tabulky 3.1
$\varphi(t, t_0)$	Součinitel dotvarování
T	Stáří betonu ve dnech v uvažovaném okamžiku
t_0	Stáří betonu ve dnech v okamžiku vnesení zatížení

Podle EN 1992-1-1, čl. 3.1.4 lze součinitel dotvarování $\varphi(t, t_0)$ v uvažovaném okamžiku t spočítat následovně:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \cdot \beta_c(t, t_0)$$

Rovnice 2.94

kdy

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,10 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2$$

RH Relativní vlhkost okolního prostředí v [%]

$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u}$ Náhradní rozměr prvku v [mm] (u ploch: $h_0 = h$)

A_c Průřez plochy

u Obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7}$ Součinitel vlivu pevnosti betonu

f_{cm} Průměrná válcová pevnost betonu v tlaku

$\alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2}$ Součinitel vlivu pevnosti betonu

$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$ Součinitel pro zohlednění vlivu pevnosti betonu v tlaku

$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_{0,eff}^{0,2}}$ Součinitel pro zohlednění vlivu stáří betonu

$$t_{0,eff} = t_0 \left[1 + \frac{9}{2 + t_0^{1,2}} \right]^\alpha \geq 0,5 \cdot d$$

$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$ Součinitel časového průběhu dotvarování po zatížení

t Stáří betonu ve dnech v uvažovaném okamžiku

t_0 Stáří betonu ve dnech v okamžiku vnesení zatížení

$$\beta_H = 1,5 \cdot \left[1 + (0,012 \cdot RH)^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3$$

RH Relativní vlhkost okolního prostředí v [%]

h_0 Náhradní rozměr prvku v [mm]

$\alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,5}$ Součinitel vlivu pevnosti betonu

Vliv druhu cementu na součinitel dotvarování betonu lze uvažovat úpravou stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení t_0 podle následujícího vztahu:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(1 + \frac{9}{2 + (t_{0,T})^{1,2}} \right)^\alpha \geq 0,5$$

Rovnice 2.95

kdy

$t_0 = t_T$ Stáří betonu ve dnech v okamžiku vnesení zatížení, upravené s přihlédnutím k vlivu teploty

α Mocnitel vystihující vliv druhu cementu:

-1 Pomalu tuhnoucí cementy (S) (32,5)

0 Normálně nebo rychle tuhnoucí cementy (N) (např. B. 32,5 R; 42,5)

1 Rychle tuhnoucí cementy s vysokou počáteční pevností (R) (42,5 R; 52,5)

Zohlednění dotvarování při výpočtu

Pokud jsou známa přetvoření v okamžiku $t = 0$ i v pozdějším okamžiku t , lze určit součinitel dotvarování φ a zohlednit ho ve výpočtovém modelu.

$$\varphi_t = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_{t=0}} - 1$$

Rovnice 2.96

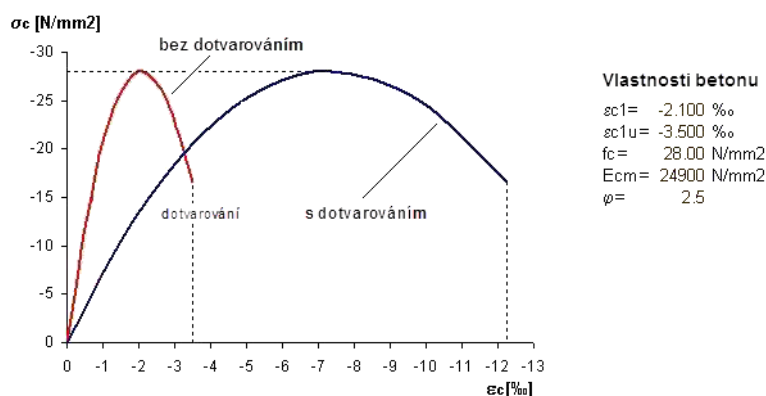
Tuto rovnici přeskupíme pro přetvoření v okamžiku t . Získáme následující vztah, který je platný pro konstantní napětí (srov. rovnice 2.92):

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{t=0} \cdot (\varphi_t + 1)$$

Rovnice 2.97

Při napětích větších než $0,4 \cdot f_{ck}$ přetvoření nadměrně stoupají, a lineární vztah se tak ztrácí.

Při výpočtu v RF-CONCRETE NL se používá běžné a pro stavební praxi účelné řešení. Pracovní diagram betonu se přetvoří o součinitel $(1 + \varphi)$.



Obr. 2.146: Přetvoření pracovního diagramu při zohlednění vlivu dotvarování

Jak je patrné z obr. 2.146, jedná se při zohlednění dotvarování o působení konstantního napětí v čase. Protože redistribuce napětí nejsou zohledněny, dochází k nepatrnému nadhodnocení deformace. Pokles napětí bez změny přetvoření (relaxace) se v tomto modelu uvažuje jen za určitých podmínek. Pokud bychom vycházeli z lineární pružného chování, bylo by možné předpokládat jistou úměrnost, a horizontální přetvoření by rovněž odráželo relaxaci v poměru $(1 + \varphi)$. V případě nelineárního vztahu mezi napětím a přetvořením se ovšem tato korelace ztrácí.

Je tak zřejmé, že tento postup je třeba chápat jako aproximaci. Pokles napětí v důsledku relaxace ani nelineární dotvarování tak znázornit nelze, resp. lze jen přibližně.

2.8.4.2 Zohlednění smršťování

Jako smršťování se označuje časově závislá změna objemu bez působení vnějších zatížení nebo teploty. Rozdělení smršťování na jednotlivé formy (smršťování vysycháním, autogenní smršťování, plastické smršťování a smrštění vlivem karbonatace) ponecháme při tomto popisu stranou.

Veličinami, které mají na smršťování podstatný vliv, jsou relativní vlhkost okolního prostředí, náhradní tloušťka prvku, kamenivo, pevnost betonu, vodní součinitel cementu, teplota a také druh a délka ošetřování betonu. Smršťování se vyjadřuje hodnotou ε_{cs} v uvažovaném okamžiku t .

Podle EN 1992-1-1, čl. 3.1.4 lze celkové poměrné smršťování ε_{cs} vypočítat jako součet smršťování vysycháním ε_{cd} a autogenního smršťování ε_{ca} :

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad [4] \text{ Rovnice (3.8)}$$

Rovnice 2.98

Podíl **smršťování vysycháním** ε_{cd} se spočítá takto:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad [4] \text{ Rovnice (3.9)}$$

Rovnice 2.99

kdy

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \cdot \sqrt{h_0^3}} \quad [4] \text{ Rovnice (3.10)}$$

t Stáří betonu ve dnech v uvažovaném okamžiku

t_s Stáří betonu ve dnech na začátku smršťování

$h_0 = 2 \cdot A_c / u$ Náhradní rozměr prvku v [mm] (u ploch: $h_0 = h$)

A_c Plocha průřezu

u Obvod prvku vystavený okolnímu prostředí

k_h Součinitel podle [4], tabulky 3.3 závisící na náhradní tloušťce h_0

$\varepsilon_{cd,0}$ Základní hodnota podle [4], tabulky 3.2 nebo přílohy B, rov. (B.11):

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cmo}}\right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$\alpha_{ds1}, \alpha_{ds2}$ Součinitele pro zohlednění druhu cementu (viz tabulka 2.2)

f_{cm} Průměrná válcová pevnost betonu v tlaku v [MPa]

$f_{cmo} = 10 \text{ MPa}$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right]$$

RH Relativní vlhkost okolního prostředí [%]

$RH_0 = 100 \%$

Cement	Třída	Charakteristika	α_{ds1}	α_{ds2}
32,5 N	S	Pomalu tuhnoucí	3	0,13
32,5 R; 42,5 R	N	Normálně tuhnoucí	4	0,12
42,5 R; 52,5 N/R	R	Rychle tuhnoucí	6	0,11

Tabulka 2.2: Součinitele α_{ds1} a α_{ds2} v závislosti na druhu cementu

Autogenní smršťování ϵ_{ca} se spočítá následovně:

$$\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty) \quad [4] \text{ Rovnice (3.11)}$$

Rovnice 2.100

kdy

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2\sqrt{t}} \quad [4] \text{ Rovnice (3.12)}$$

$$\epsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad [4] \text{ Rovnice (3.13)}$$

t ve dnech

Smršťování v modulu RF-CONCRETE NL (se zohledněním výztuže)

Vstupní údaje pro výpočet poměrného smršťování se zadávají v dialogu 1.3 *Plochy*. Je zde třeba stanovit stáří betonu v uvažovaném okamžiku a při začátku smršťování, relativní vlhkost okolního prostředí a také druh cementu. Ze zadaných hodnot program spočítá hodnotu poměrného smršťování ϵ_{cs} .

Obr. 2.147: Dialog 1.3 *Plochy*, záložka *Smršťování*

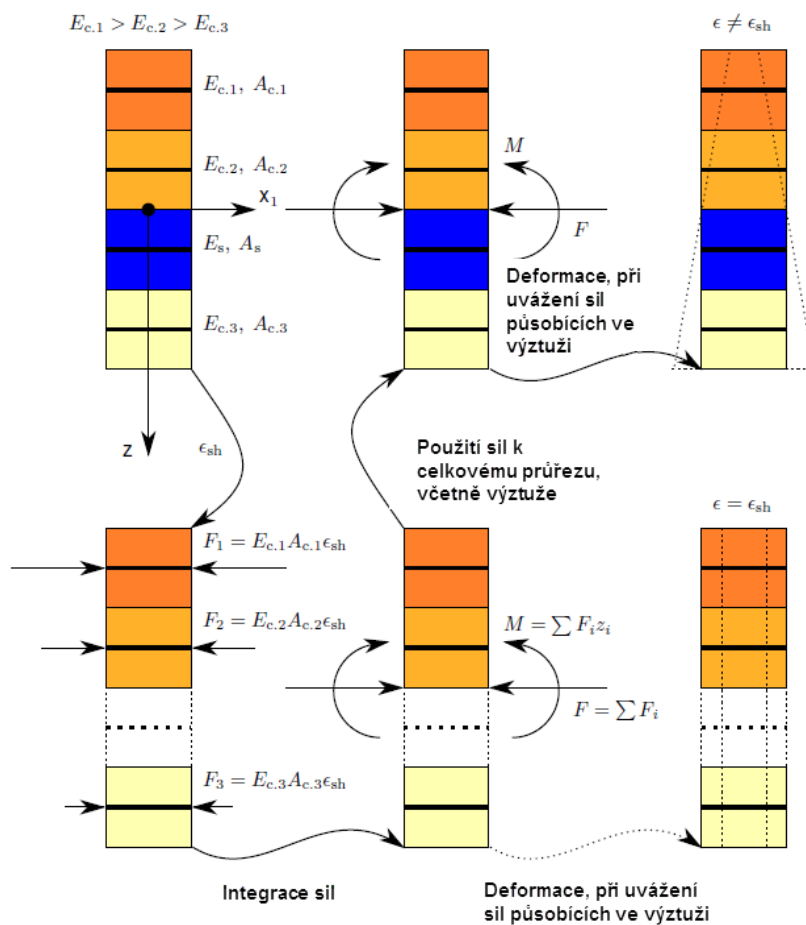
Poměrné smršťování $\epsilon_{cs}(t, t_s)$ lze zadat také ručně nezávisle na normě.

Poměrné smršťování se zohlední pouze na betonových vrstvách, u vrstev výztuže se neuvažuje. Liší se tak od klasického zatížení teplotou, které působí také na vrstvy výztuže. Model, který se používá v modulu RF-CONCRETE NL pro poměrné smršťování, tak zohledňuje omezení poměrného smršťování ϵ_{sh} výztuží nebo zakřivením průřezu u nesymetrické výztuže. Výsledná zatížení od smršťování se jako pomyslná zatížení automaticky vnesou na příslušné plochy a spočítají. V závislosti na statickém systému modelu konstrukce toto smršťování vyvozuje přídatná napětí (staticky neurčitá konstrukce) nebo přídatná přetvoření (staticky určitá konstrukce). RF-CONCRETE NL tak zohledňuje vliv statických okrajových podmínek pro smršťování různě.

Výsledná zatížení od smršťování se automaticky přiřadí tomu zatížení, které jsme zadali v dialogu 1.1 *Základní údaje* pro mezní stav použitelnosti, a vstupují tak do nelineárního výpočtu.

Smršťování závisí na správném rozdělení tuhosti v průřezu. Proto se doporučuje pro taženou oblast betonu zohlednit tahové zpevnění betonu (zbytková pevnost betonu v tahu podle QUASTA) a uvažovat malou hodnotu pro tlumení.

Následující 1D model znázorňuje, jak se smršťování zohledňuje v programu.

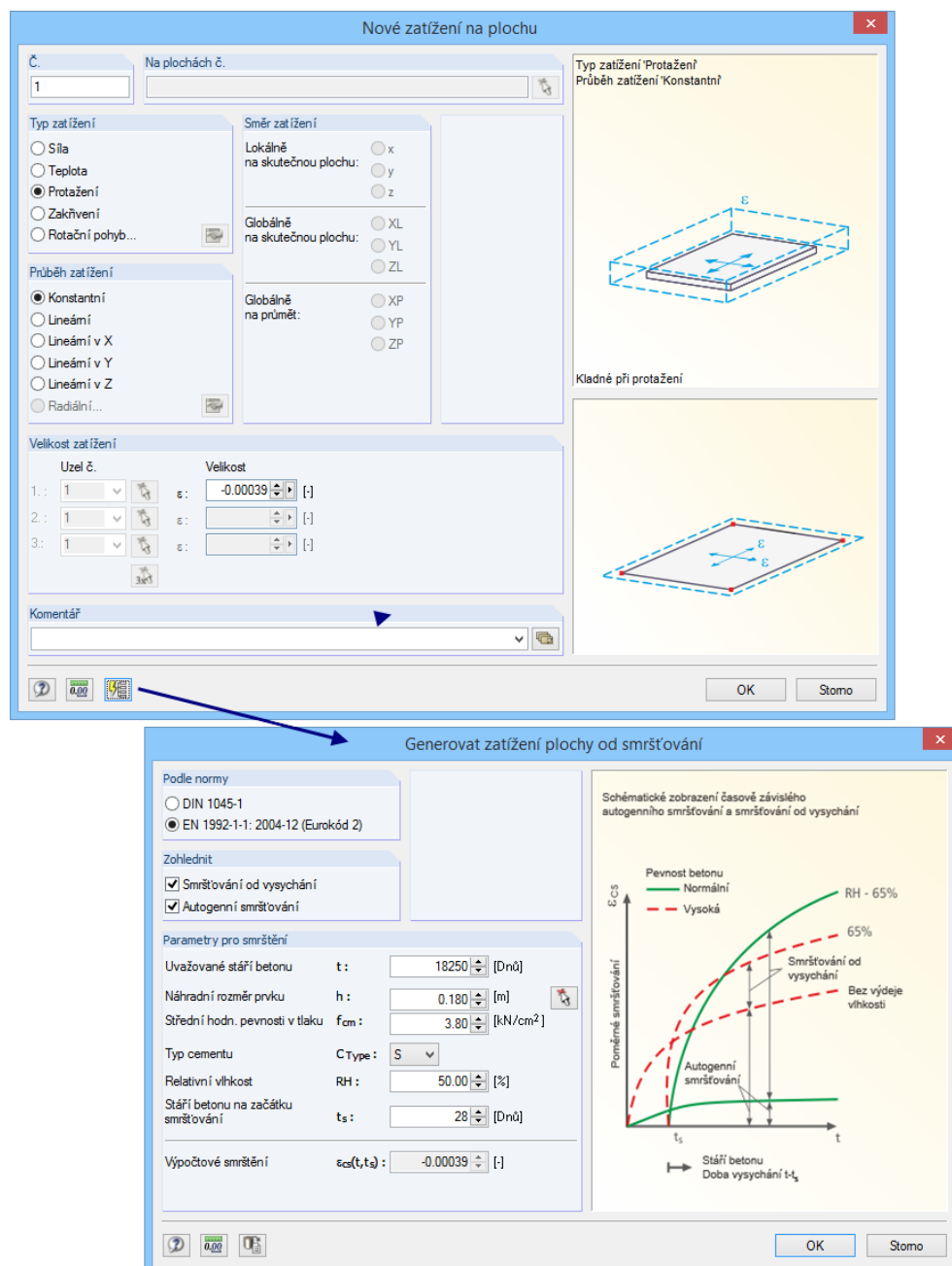


Obr. 2.148: 1D model pro zohlednění smršťování

Zjednodušeně se uvažují 4 vrstvy: tmavě oranžové vrstvy představují mírně poškozený beton, světle oranžové silně poškozený beton. Modrá vrstva odpovídá výztuži. Každá betonová vrstva je označena skutečným modulem pružnosti $E_{c,i}$, u každé průřezové plochy se uvádí $A_{c,i}$. Výztuž je charakterizována skutečným modulem pružnosti E_s a průřezovou plochou A_s . Každá vrstva je popsána souřadnicí z_i .

Zohlednění smršťování jako vnějšího zatížení

Poměrné smršťování lze v RFEMu uvažovat také jako vnější zatížení: z dialogu hlavního programu RFEM *Nové zatížení na plochu* můžeme vlevo znázorněným tlačítkem otevřít dialog *Generovat zatížení plochy od smršťování*.



Obr. 2.149: Dialog *Generovat zatížení plochy od smršťování*

V tomto dialogu můžeme zadat parametry pro výpočet smršťování. Po kliknutí na [OK] se spočítaná hodnota poměrného smršťování převede jako zatížení do výchozího dialogu *Nové zatížení na plochu*. Typ zatížení se automaticky nastaví na *Protážení*. Je přitom třeba brát v úvahu, že smršťování působí na celý průřez a případná omezení nebo zakřivení průřezu výztuží se nezohledňují.

3. Vstupní data

Po spuštění modulu RF-CONCRETE Surfaces se zobrazí nové okno, v jehož levé části vidíme navigátor pro přístup ke všem stávajícím dialogům. Nad navigátorem se nachází rozbalovací seznam všech případně již zadaných návrhových případů (viz kapitola 8.1, strana 191).

Údaje, které jsou zapotřebí pro posouzení, se zadávají v několika vstupních dialozích. Pokud modul RF-CONCRETE Surfaces spouštíme poprvé, pak se automaticky načtou následující parametry:

- Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků
- Materiály
- Plochy
- Vnitřní síly (na pozadí – pokud byly vypočítány)

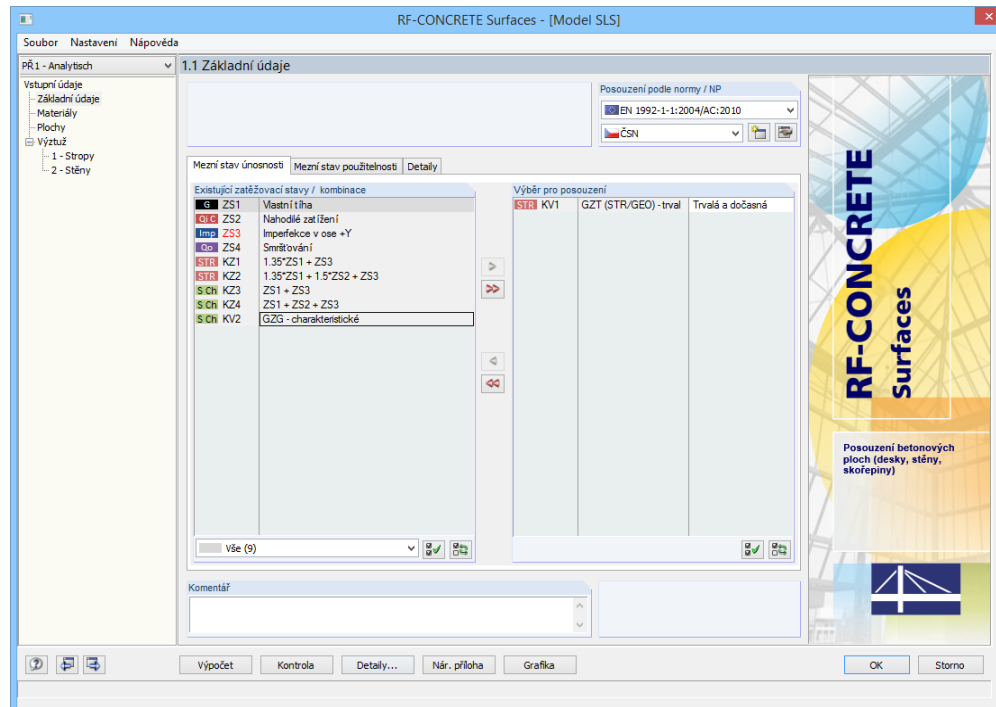
Dialogy lze otevřít buď kliknutím na jejich název v navigátoru programu nebo pomocí vlevo znázorněných tlačítek. Funkční klávesy [F2] a [F3] slouží také k listování v dialozích, a to buď dopředu nebo zpět.

Tlačítkem [OK] uložíme zadané údaje a modul RF-CONCRETE Surfaces zavřeme. Vrátime se do hlavního programu. Tlačítkem [Storno] modul ukončíme bez uložení dat.



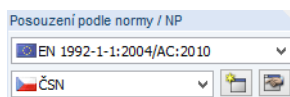
3.1 Základní údaje

V dialogu 1.1 *Základní údaje* je třeba stanovit normu a zatížení pro posouzení. Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků pro posouzení v mezním stavu únosnosti a použitelnosti se zadávají v samostatných záložkách.



Obr. 3.1: Dialog 1.1 *Základní údaje*

Posouzení podle normy / národní přílohy



Obr. 3.2: Norma a národní příloha pro posouzení železobetonových konstrukcí

Norma

Norma, kterou vybereme v této sekci, bude směrodatná pro posouzení jak mezního stavu únosnosti tak mezního stavu použitelnosti. V seznamu máme na výběr z následujících norem pro železobetonové konstrukce:

- EN 1992-1-1:2004/AC:2010 Evropská unie
- DIN 1045-1:2008-08 Německo
- DIN 1045:1988-07 Německo
- ACI 318-11 USA
- SIA 262:2003 Švýcarsko
- GB 50010-2010 Čína

Jednotlivé normy jsou k dostání samostatně.

Národní příloha

V případě posouzení podle Eurokódu (EN 1992-1-1:2004/AC:2010) je třeba stanovit národní přílohu, jejíž parametry budou pro posouzení platit.



Obr. 3.3: Národní přílohy pro normu EN 1992-1-1



Po kliknutí na tlačítko [Upravit parametry Národní přílohy...] se nám zobrazí předem nastavené hodnoty.

Parametry národní přílohy - ČSN EN 1992-1-1/NA:2006

Norma: Železobeton (EN 1992-1-1)

Původní příloha: ČSN

Označení:

2. Zásady navrhování			
2.4.2.4 Dílčí součinitele spolehlivosti materiálů			
Dílčí součinitel betonu v mezním stavu únosnosti (trvalý, dočasný)	γ_c		1.500
Dílčí součinitel ocele v mezním stavu únosnosti (trvalý, dočasný)	γ_s		1.150
Dílčí součinitel pro beton v mezním stavu únosnosti (mimořádné)	γ_c		1.200
Dílčí součinitel pro betonářskou ocel v mezním stavu únosnosti (mimořádné)	γ_s		1.000
Dílčí součinitel betonu v mezním stavu použitelnosti	γ_c		1.000
Dílčí součinitel ocele v mezním stavu použitelnosti	γ_s		1.000
3. Materiály			
3.1 Beton			
Maximální hodnota pevnosti třídy betonu	C_{max}		C90/105
Součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku	α_{cc}		1.000
Součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tahu	α_{ct}		1.000
3.2 Vytužená ocel			
Maximální hodnota meze kluzu	f_{yk}		600.00 N/mm ²
Součinitel pro stanovení návrhové hodnoty mezního protažení oceli	k_{ud1}		0.900
4. Trvanlivost a krycí vrstva výtuzže			
6. Mezní stavy únosnosti (MSU)			
6.2.2 Prvky nevyžadující návrh smykové výtuzže			
Součinitel k_0 pro stanovení návrhové hodnoty únosnosti ve smyku	k_0		0.180
Součinitel k_1 pro stanovení návrhové hodnoty únosnosti ve smyku	k_1		0.150
Součinitel k_2 pro stanovení návrhové hodnoty únosnosti ve smyku	k_2		0.035
6.2.3 Prvky vyžadující návrh smykové výtuzže			
Min. úhel tlakové diagonály	θ_{min}		21.801 °
Max. úhel tlakové diagonály	θ_{max}		45.000 °
Redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem			
Redukční součinitel k_1 pevnosti betonu při porušení smykem	k_1		0.600
Redukční součinitel k_2 únosnosti při porušení smykem	k_2		250.000
Součinitel pro zohlednění napětového stavu v tlačném pásu	α_{sw}		1.000
7. Mezní stav použitelnosti (MSP)			

Poznámka:

OK Storno

Obr. 3.4: Dialog *Parametry národní přílohy*

V tomto dialogu najdeme všechny součinitele důležité pro posouzení, které upravují národní přílohy. Jsou seřazeny podle čísel příslušných článků Eurokódu.



Pokud mají pro dílčí součinitele spolehlivosti a redukční součinitele, úhel tlakové diagonály atd. platit jiné předpisy, můžeme parametry upravit. Nejdříve pomocí tlačítka [Vytvořit novou národní přílohu (NP)...] zkopírujeme aktuálně vybranou národní přílohu. Dané kopii pak zadáme vlastní označení a můžeme v ní upravit požadované parametry.

Komentář

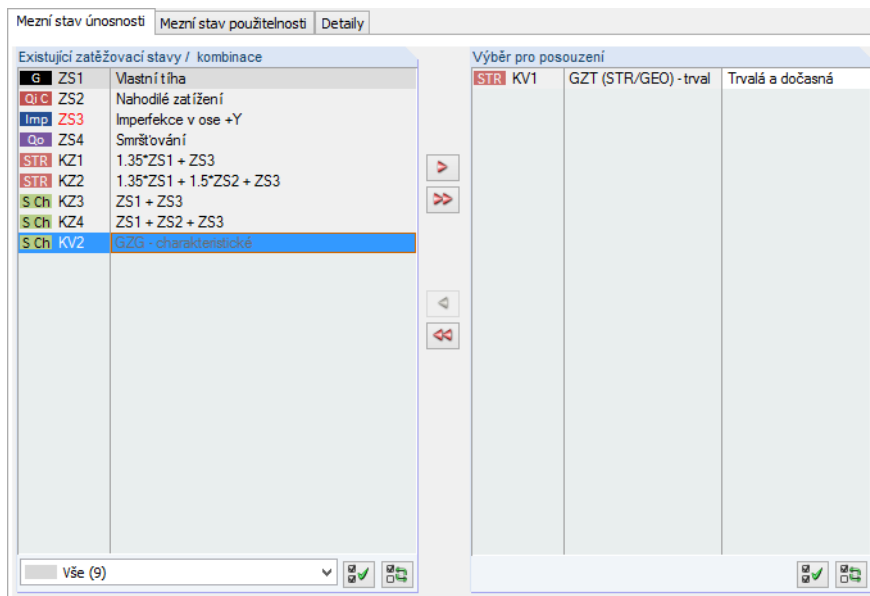
Komentář

Mezní stav únosnosti podle NP ČSN

Obr. 3.5: Komentář od uživatele

V tomto vstupním poli může uživatel uvést vlastní poznámku k aktuálnímu návrhovému případu.

3.1.1 Mezní stav únosnosti



Obr. 3.6: Dialog 1.1 Základní údaje, záložka Mezní stav únosnosti

Existující zatěžovací stavy / kombinace

V této sekci se vypíší všechny zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků, které byly v RFEMu vytvořeny.

Pomocí tlačítka [▶] můžeme vybrané položky zařadit do seznamu vpravo *Výběr pro posouzení*. Jednotlivé položky lze vybrat i tak, že na ně dvakrát klikneme. Tlačítkem [▶▶] přivedeme do tabulky vpravo celý seznam.

Mnohonásobný výběr zatěžovacích stavů lze provést, jak je ve Windows běžné, se stisknutou klávesou [Ctrl]. Můžeme tak převádět několik zatěžovacích stavů najednou.

Pokud jsou zatěžovací stavy označeny hvězdičkou (*), jako např. ZS 3 na obr. 3.6, nelze je posoudit: v takovém případě jim totiž nebyla přiřazena žádná zatížení nebo obsahují výlučně imperfekce. Při převodu daného zatěžovacího stavu se zobrazí příslušné upozornění.

Pod seznamem máme k dispozici různé filtrovací funkce. Slouží k třídění položek podle kategorie účinku nebo podle toho, zda se jedná o zatěžovací stav či určitý druh kombinace. Tlačítka v této sekci mají následující funkce:

	Slouží k výběru všech zatěžovacích stavů v seznamu.
	Obrátí výběr zatěžovacích stavů.

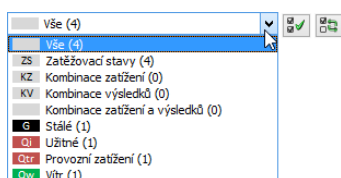
Tabulka 3.1: Tlačítka v sekci Existující zatěžovací stavy / kombinace

Výběr pro posouzení

Tabulka vpravo obsahuje zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků, které jsme vybrali k posouzení. Tlačítkem [◀] nebo dvojitým kliknutím můžeme vybrané položky ze seznamu opět odstranit. Tlačítkem [◀◀] smažeme celý seznam.

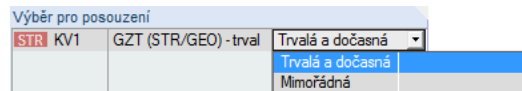
Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků můžeme přiřadit následujícím návrhovým situacím:

- Trvalá a dočasná
- Mimořádná



Daným přiřazením se řídí dílčí součinitele spolehlivosti γ_c a γ_s podle EN 1992-1-1, tabulky 2.1 (viz obr. 3.4, strana 128 a obr. 3.37, strana 157).

Návrhovou situaci můžeme změnit tak, že vybereme ze seznamu jinou položku po kliknutí na tlačítko [▼] na konci vstupního políčka.



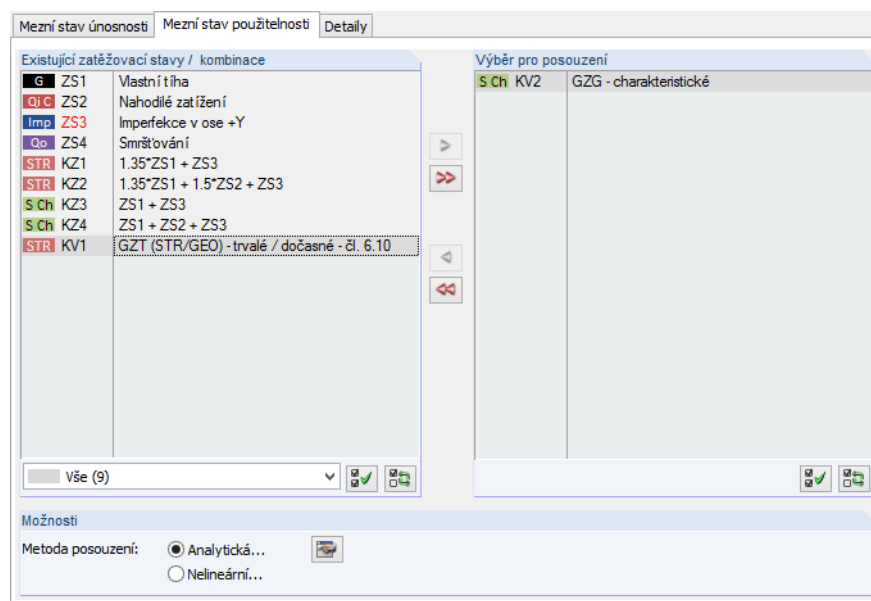
Obr. 3.7: Přiřazení návrhové situace

I v tomto případě lze se stisknutou klávesou [Ctrl] vybrat několik zatěžovacích stavů a kombinací najednou a změnit u všech současně návrhovou situaci.

Výpočet obálky souhrnné kombinace výsledků Max/Min probíhá rychleji než posouzení všech vybraných zatěžovacích stavů a kombinací zatížení. Při posouzení kombinace výsledků lze ovšem jen stěží rozpoznat vliv jednotlivých zatížení (viz také kapitola 4.1, strana 160).

3.1.2 Mezní stav použitelnosti

Posouzení v mezním stavu použitelnosti se váže na výsledky posouzení mezního stavu únosnosti. Provést čistě jen posouzení na mezní stav použitelnosti tudíž nelze.



Obr. 3.8: Dialog 1.1 Základní údaje, záložka Mezní stav použitelnosti

Existující zatěžovací stavy / kombinace

V této sekci se vypíší všechny zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků, které byly v RFEMu vytvořeny.

Zpravidla jsou pro posouzení v mezním stavu použitelnosti (MSP) rozhodující jiná zatížení a jiné dílčí součinitele spolehlivosti než pro posouzení únosnosti. Příslušné kombinace můžeme vytvořit v RFEMu.

Výběr pro posouzení

Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a kombinace výsledků můžeme zařadit na seznam *Výběr pro posouzení* vpravo nebo je ze seznamu opět odstranit tak, jak popisujeme v kapitole 3.1.1.



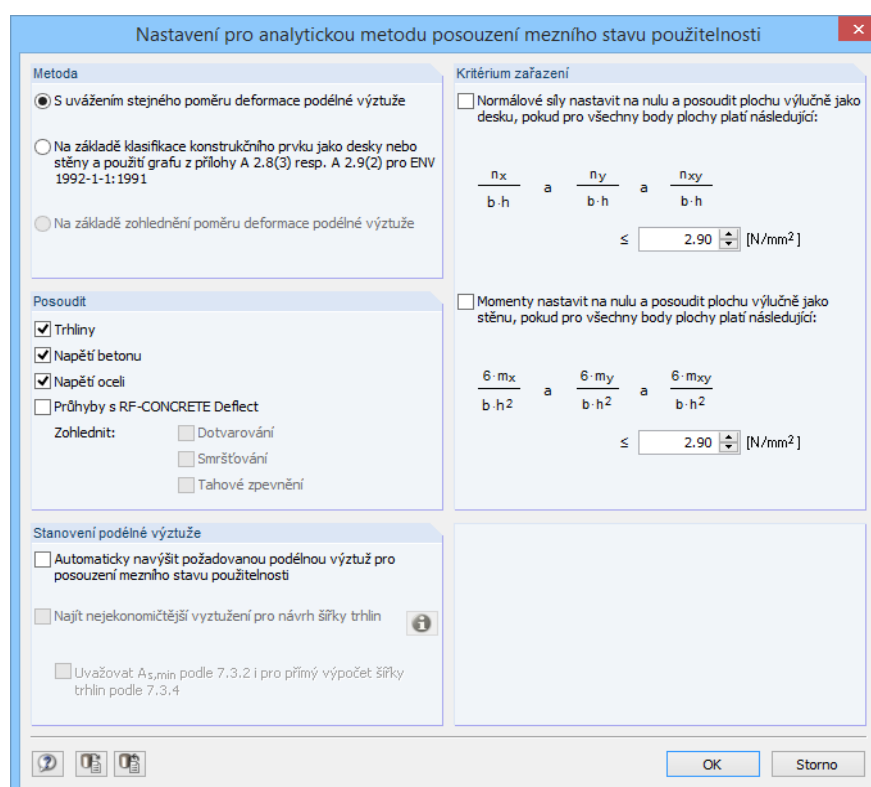
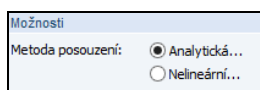
Metoda posouzení

Přepínačem ve spodní části dialogu můžeme určit, zda se při posouzení mezního stavu použitelnosti uplatní analytická nebo nelineární metoda.

3.1.2.1 Analytická metoda posouzení

Pro posouzení v mezním stavu použitelnosti je předem nastavena *analytická* metoda. Použijí se přitom vždy rovnice z příslušných norem pro železobetonové konstrukce. Analytickou metodu posouzení podrobně popisujeme v teoretické části tohoto manuálu v kapitole 2.6 na straně 69.

Tlačítko [Upravit nastavení...] slouží k otevření dialogu, v němž můžeme přezkontrolovat parametry pro posouzení a v případě potřeby je upravit.



Obr. 3.9: Dialog *Nastavení pro analytickou metodu posouzení mezního stavu použitelnosti*

Metoda

V sekci *Metoda* stanovíme poměr deformace výztužných směrů pro posouzení mezního stavu použitelnosti.

Pokud budeme předpokládat *stejný poměr deformace podélné výztuže*, bude poměr deformace vložené výztuže roven 1. To znamená, že všechny výztužné pruty v jednotlivých směrech výztuže budou vykazovat stejné protažení. Jedná se o rychlé a přesné řešení, při němž hraje rozhodující roli volba sklonu tlakových diagonál. V případě této metody se jedná o čistě geometrické rozdělení (viz kapitola 2.6, strana 69), které je platné v případě, že navržená výztuž zhruba odpovídá nutné výztuži.

Volba *Klasifikace konstrukčního prvku jako desky nebo stěny* nabízí zjednodušené řešení, které lze použít v případě nenatočené, ortogonální výztužné sítě. U každého dimenzovaného bodu se ověří, zda tahová napětí od normálových sil, resp. ohybových momentů nepřekračují určité napětí. Příslušnou mezní hodnotu je třeba uvést v sekci *Kritérium zařazení*. Na tomto základě bude daná plocha klasifikována jako deska (normálové síly budou nulové) nebo stěna (momenty budou nulové). Při zanedbání drobných složek vnitřních sil lze použít graf z přílohy A 2.8, resp. 2.9 normy

ENV 1992-1-1. Návrhové vnitřní síly přitom odpovídají hodnotám v tabulce 4.16 programu RFEM (viz manuál RFEM, kapitola 8.16).

Pokud není kritérium zařazení u některého dimenzovaného bodu plochy splněno, pak se při výpočtu zobrazí chybové hlášení.

Volbu *Zohlednění poměru deformace podélné výztuže* lze použít jen v případě modelů typu 2D (viz obr. 2.1, strana 9). Tato metoda odráží skutečné poměry přetvoření v závislosti na zvolené výztuži a umožňuje je zohlednit při posouzení mezního stavu použitelnosti.

Sekce Posoudit

V této sekci lze určit, zda se mají při posouzení analyzovat napětí a/nebo trhliny. Je třeba aktivovat alespoň jednu možnost.

Při analýze *napětí* se posuzují napětí betonu v tlaku σ_c a napětí ve výztuži σ_s . Při analýze *trhlin* lze ověřit minimální výztuže $a_{s,min}$, maximální průměr $lim\ d_s$, maximální vzdálenost trhlin $max\ s_l$ a také šířku trhlin w_k . Potřebné zadání k jednotlivým posouzením lze nastavit v dialogu 1.3 *Plochy* (viz kapitola 3.3, strana 141).

Dále můžeme nechat spočítat *průhyby* v modulu RF-CONCRETE Deflect; při výpočtu lze přitom zohlednit dotvarování, smršťování i tahové zpevnění betonu (viz kapitola 2.7, strana 91). Předpokladem je licence k přídatnému modulu **RF-CONCRETE Deflect**.

Stanovení podélné výztuže

Zaškrtnutí políčko *Automaticky navýšit požadovanou podélnou výztuž* umožňuje stanovit, zda se má pro splnění posouzení v mezním stavu použitelnosti dimenzovat podélná výztuž. Pokud dané políčko nezaškrtneme, vychází se pouze z údajů zadaných v dialogu 1.4, v záložce *Podélná výztuž* (viz kapitola 3.4.3, strana 153): použije se buď základní výztuž, nutná výztuž z posouzení mezního stavu únosnosti nebo základní výztuž s navrženou přídatnou výztuží.

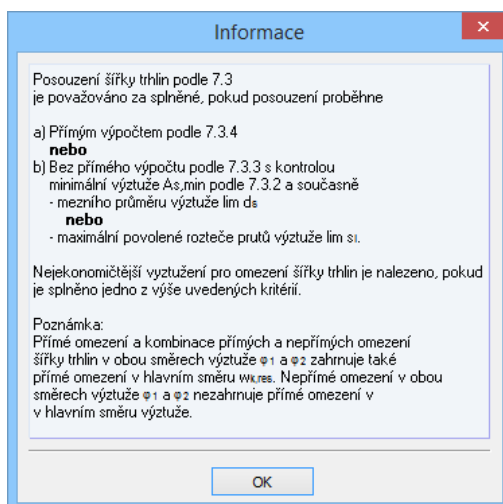
Při dimenzování výztuže pro posouzení mezního stavu použitelnosti se výztuž iteračně navyšuje. Jako počáteční hodnota se při iteraci použije pro přenos zatížení, které jsme zadali pro posouzení mezního stavu použitelnosti, nutná výztuž z posouzení v mezním stavu únosnosti. Rozvržení výztuže skončí bezvýsledně, pokud vzdálenost prutů s_l použité výztuže dosáhne průměru prutu d_{sl} . V tomto případě se pro daný bod zobrazí v tabulce výsledků upozornění o nedimenzovatelnosti.



Při posouzení podle EN 1992-1-1 se uživateli nabízí možnost najít *nejekonomičtější vyztužení pro návrh šířky trhlin*. Tlačítkem [Informace] lze zobrazit vysvětlivky k dané volbě (viz následující obrázek). V dialogu *Informace* se popisuje, kdy je posouzení šířky trhlin považováno za splněné. V EN 1992-1-1, čl. 7.2 se dále uvádí, za jakých podmínek je třeba omezit napětí.



To znamená, že nikoli všechna využití z tabulky 3.1 musí být menší než 1, aby bylo posouzení mezního stavu použitelnosti splněno.

Obr. 3.10: Dialog *Informace* k výpočtu nejekonomičtější výztuže

Výztuž se dimenzuje s ohledem na napětí v betonu a ve výztuži, na mezní průměr a maximální vzdálenost prutů samostatně v každém výztužném směru. Pokud je ovšem pro splnění návrhu šířky trhlin rozhodující výsledná šířka trhlin $w_{k,res}$, množství výztuže se při dimenzování ve stejné míře zvýší v každém směru.

Kritéria posouzení, která nemusí být z ekonomických důvodů splněna, jsou ve výstupních dialogích posouzení na mezní stav únosnosti opatřena poznámkou 236): „Posouzení výztužné vrstvy nemusí být splněno z ekonomických důvodů.“ Posouzení šířky trhlin rozhodující pro nejekonomičtější vyztužení je označeno poznámkou 235): „Posouzení omezuje nárůst výztuže z ekonomických důvodů.“ Daná hláška platí pouze v případě posouzení pro $lim d_s$, $lim s_1$ a w_k , nikoli ovšem pro $a_{s,min}$.

Jestliže jsme označili zaškrtačkové políčko *Najít nejekonomičtější vyztužení pro návrh šířky trhlin*, nelze v dialogu 1.4 *Výztuž*, v záložce *Podélná výztuž* zadat uživatelskou přídatnou výztuž pro posouzení mezního stavu použitelnosti.

Kritérium zařazení

Tuto sekci máme k dispozici pouze u modelů typu 3D. Stanoví se v ní, zda lze zanedbat malé *normálové síly a/nebo momenty*, a plochy tak posuzovat čistě jako ideální desky (označení horního políčka), resp. stěny (označení spodního políčka). Jako mezní hodnota v obou políčkách je nastavena průměrná hodnota pevnosti betonu C30/37 v dostředném tahu f_{ctm} 2,9 MPa. Vychází se z předpokladu, že pevnost betonu v tahu vyrovnává vznik trhlin v důsledku malých tahových napětí, a proto je lze zanedbat.

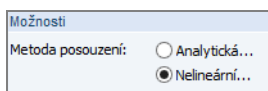
Pokud v sekci *Metoda* v levé části dialogu vybereme zjednodušenou klasifikaci plochy jako desky nebo stěny, je třeba aktivovat alespoň jedno z těchto dvou zařazovacích kritérií.

3.1.2.2 Nelineární metoda posouzení

Pokud chceme provést posouzení *nelineární* metodou, je třeba mít licenci k přídatnému modulu **RF-CONCRETE NL**. Teoretické pozadí této metody posouzení podrobně popisujeme v kapitole 2.8 na straně 106. Provádí se přitom fyzikálně a geometricky nelineární výpočet.

Nelineární analýza vychází z interakce mezi modelem konstrukce a namáháním, která vyžaduje jednoznačné rozdělení vnitřních sil. Proto lze posuzovat pouze zatěžovací stavy a kombinace zatížení, nikoli kombinace výsledků (KV). V případě kombinace výsledků máme na každý uzel sítě konečných prvků dvě hodnoty – maximum a minimum.

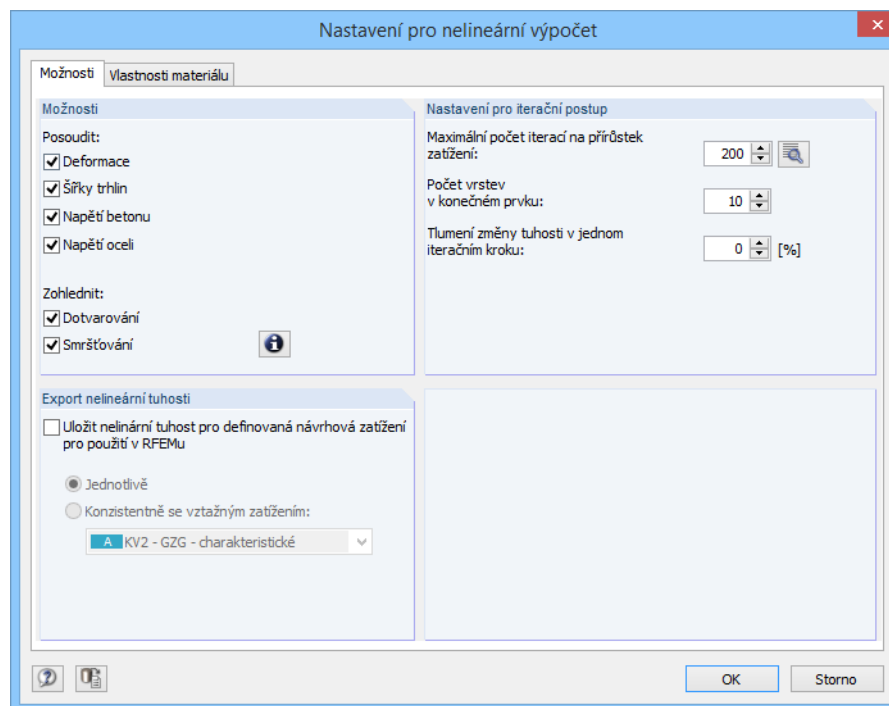
Zvolíme-li nelineární metodu analýzy, vnitřní síly se zpravidla počítají podle teorie druhého řádu.





Tlačítko [Upravit nastavení...] slouží k otevření dialogu, v němž můžeme překontrolovat parametry pro posouzení a v případě potřeby je upravit. Dialog je rozdělen do dvou záložek *Možnosti* a *Vlastnosti materiálu*.

Možnosti



Obr. 3.11: Dialog *Nastavení pro nelineární výpočet*, záložka *Možnosti*

Sekce *Možnosti*

V této sekci se stanoví, jaká ověření se mají provést v mezním stavu použitelnosti: posouzení deformací, šířky trhlin či napětí. Je třeba aktivovat alespoň jednu z těchto tří možností.

Dále můžeme zadat, zda se má při nelineárním výpočtu zohlednit vliv dotvarování a smršťování.

Přesné zadání k jednotlivým posouzením a také k dotvarování a smršťování se stanoví v dialogu 1.3 *Plochy* (viz kapitola 3.3.2, strana 144).

Export nelineární tuhosti

Volba *Uložit nelineární tuhost pro definovaná návrhová zatížení pro použití v RFEMu* umožňuje uvažovat nelineárně spočítané tuhosti také při výpočtu v RFEMu.

Tuhosti lze do RFEMu převést *jednotlivě* pro každý posuzovaný zatěžovací stav. V dialogu *RFEMU Upravit zatěžovací stavy a kombinace* pak lze každému z daných zatěžovacích stavů přiřadit příslušnou tuhost z RF-CONCRETE Surfaces. RFEM přitom přiřazuje zatěžovací stavy automaticky. Pokud vybereme volbu *Konzistentně se vztažným zatížením*, je třeba vybrat ze seznamu rozhodující zatěžovací stav. V RFEMu pak lze všem definovaným zatěžovacím stavům přiřadit tuhost plynoucí z daného zatížení.

Zohlednění nelineárních tuhostí v RFEMu popisujeme v kapitole 7.3.1.3 manuálu k hlavnímu programu RFEM.

Nastavení pro iterační postup

Údaje zadané v této sekci mají vliv na průběh nelineárního posouzení. V tomto ohledu odkazujeme především na kapitolu 2.8.2.4 na straně 110.

Pokud se změní přesnost iterace, je třeba dát pozor na to, aby byl *maximální počet iterací* větší než místo v průběhu výpočtu, od něhož se navíc zohledňuje kritérium deformace. Pomocí tlačítka [De-

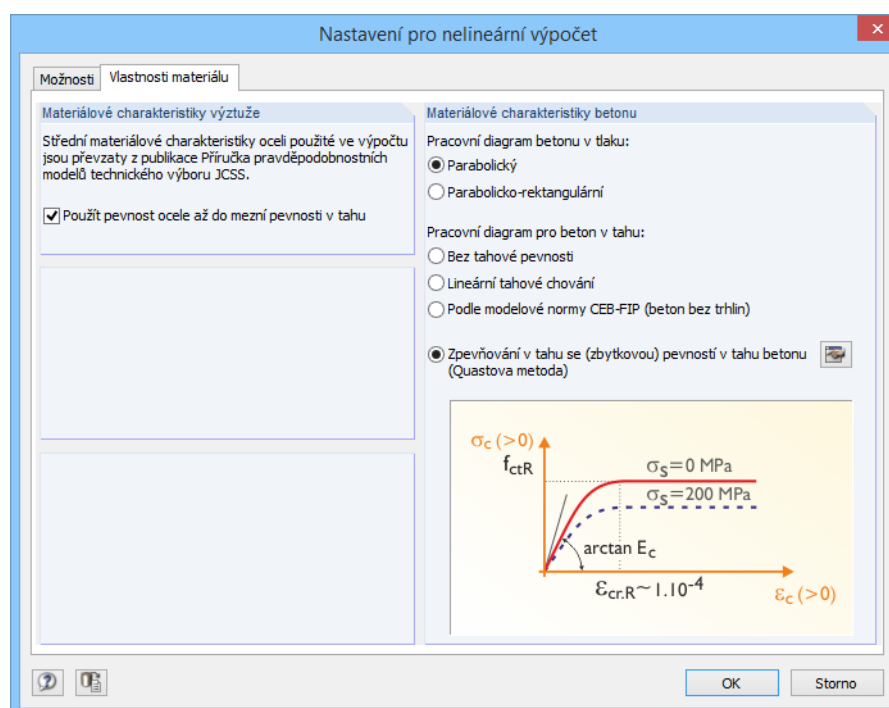


taily...] lze otevřít dialog *Parametry výpočtu* v hlavním programu RFEM, v němž můžeme upravit toleranci kritérií konvergence u nelineárního výpočtu.

Při nelineárním výpočtu se plocha rozdělí do takzvaných *vrstev* (viz kapitola 2.8.2.1, strana 106). Doporučený počet vrstev je 10.

Průběh konvergence lze navíc ovlivnit *tlumením změny*: údaj nastavený v příslušném políčku určuje, do jaké míry se změní tuhost v následujících výpočetních krocích. Pokud tak například zadáme tlumení 50%, může změna tuhosti mezi 2. a 3. krokem odpovídat nejvýše 50% změny tuhosti mezi 1. a 2. krokem.

Vlastnosti materiálu



Obr. 3.12: Dialog *Nastavení pro nelineární výpočet*, záložka *Vlastnosti materiálu*

Materiálové charakteristiky výztuže

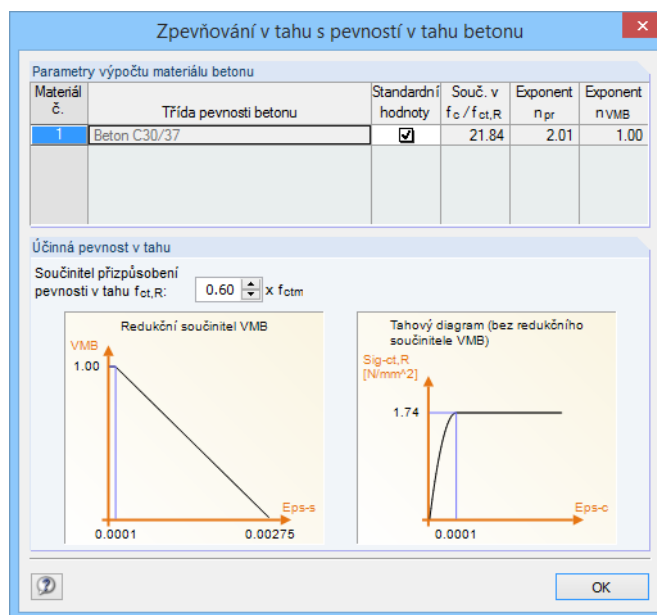
V této sekci určíme, zda se má v plastické oblasti pracovního diagramu výztuže počítat se stoupající nebo s vodorovnou větví (viz kapitola 2.8.3.4, strana 118).

Materiálové charakteristiky betonu

V této sekci stanovíme, zda pracovní diagram betonu v tlačené oblasti bude mít parabolický nebo parabolicko-rektangulární průběh. Dále se zde určí průběh pracovního diagramu v tažené oblasti betonu. Předem nastaven je parabolický průběh pro tlak a tahové zpevnění pro napětí betonu v tahu.



Pokud pro pracovní diagram nastavíme *zpevňování v tahu* (Tension Stiffening), lze zadat údaje k pevnosti betonu v tahu mezi trhlinami v samostatném dialogu, který otevřeme pomocí tlačítka [Upravit...].

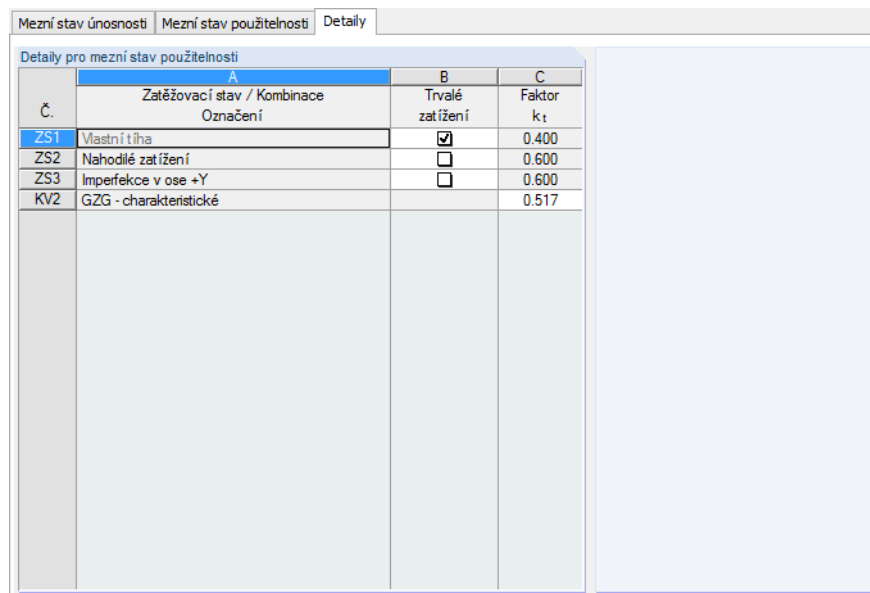


Obr. 3.13: Dialog Zpevňování v tahu s pevností v tahu betonu

Pokud parametry upravíme, změny se okamžitě zaznamenají v diagramech v dolní části dialogu. Teoretické základy k tahovému zpevnění podrobně vysvětlujeme v kapitole 2.8.3.3 na straně 114.

3.1.3 Details

Tato záložka se zobrazí, pokud jsme vybrali zatěžovací stavy pro posouzení na mezní stav únosnosti a zvolili jsme normu EN 1992-1-1 nebo ACI 318-11. Při posouzení mezního stavu použitelnosti podle normy DIN 1045-1 je tato záložka zbytečná, protože v rovnici (136), čl. 11.2.4 (2) je hodnota faktoru k_t obecně stanovena na 0,4.



Obr. 3.14: Dialog 1.1 Základní údaje, záložka Details

Během ověřování šířky trhlin se spočítají rozdíly průměrných hodnot poměrného přetvoření betonu a výztuže (viz kapitola 2.6.4.12, strana 88). Podle rovnice (7.9) normy EN 1992-1-1, čl. 7.3.4 (2) je tu třeba zadat součinitel závisící na době trvání zatížení k_t .

Zatěžovací stav / kombinace - označení

Ve sloupci A se zobrazí seznam všech zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků, které jsme vybrali k posouzení v záložce *Mezní stav použitelnosti*. V případě kombinací zatížení a kombinací výsledků se tu uvádí i všechny zatěžovací stavy, které obsahují.

Trvalé zatížení

V tomto sloupci lze zadat, které zatěžovací stavy se mají uvažovat jako dlouhodobá zatížení. Pokud některý zatěžovací stav označíme za trvalé zatížení, nastaví se hodnota součinitele k_t v následujícím sloupci automaticky na 0,4.

Faktor k_t

Součinitelem k_t se zohledňuje doba trvání zatížení. Faktor k_t má pro dlouhodobé zatížení hodnotu 0,4, zatímco pro krátkodobé zatížení hodnotu 0,6.

V případě kombinací zatížení a kombinací výsledků odpovídá faktor k_t průměru jednotlivých hodnot k_t zatěžovacích stavů obsažených v kombinaci zatížení, resp. kombinaci výsledků.

$$k_t = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i(LF) \cdot k_{t,i}(LF)}{\sum_{i=1}^n \gamma_i(LF)}$$

Rovnice 3.1

3.2 Materiály

Tato tabulka je rozdělena do dvou částí. V horní sekci se uvádí seznam relevantních betonových a ocelových materiálů. Předem nastaveny jsou všechny materiály z kategorie Beton, které byly při návrhu v RFEMu použity pro plochy. Ve spodní sekci *Materiálové charakteristiky* se zobrazí vlastnosti aktuálního materiálu, tzn. materiálu, jehož řádek jsme vybrali v horní sekci.

1.2 Materiály

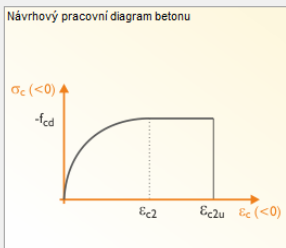
Materiál č.	A	B	C
	Označení materiálu	Výztuž	Komentář
1	Beton C30/37	B 500 S (A)	
3	Beton C40/50	B 500 S (A)	

Materiálové charakteristiky

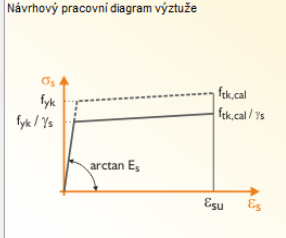
Třída pevnosti betonu: Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost v tlaku	f_{ck}	30.00	N/mm ²
5%-ní kvantil char. osové pevnosti v tahu	$f_{ctk,0.05}$	2.00	N/mm ²
<input type="checkbox"/> Charakteristické pro nelineární výpočet			
Střední sečný modul pružnosti	E_{cm}	33000.00	N/mm ²
Střední válcová pevnost v tlaku	f_{cm}	38.00	N/mm ²
Střední normálová pevnost v tahu	f_{ctm}	2.90	N/mm ²
Mezní přetvoření pro prostý tlak	ϵ_{c1}	-2.200	‰
Mezní přetvoření při porušení	ϵ_{c1u}	-3.500	‰
Smykový modul	G	13750.00	N/mm ²
Poissonův součinitel	ν	0.200	
<input type="checkbox"/> Charakteristické protažení pro parabolicko-rektangulární pracovní diagram			
Mezní přetvoření pro prostý tlak	ϵ_{c2}	-2.000	‰
Mezní přetvoření při porušení	ϵ_{c2u}	-3.500	‰
Exponent paraboly	n	2.000	
Objemová tíha	γ	25.00	kN/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> Výztužná ocel: B 500 S (A)			
Modul pružnosti	E_s	200000.00	N/mm ²
Střední hodnota meze kluzu	f_{ym}	550.00	N/mm ²
Charakteristická hodnota meze kluzu	f_{yk}	600.00	N/mm ²
Střední hodnota pevnosti v tahu	f_{tm}	551.25	N/mm ²
Charakteristická hodnota pevnosti v tahu	f_{tk}	625.00	N/mm ²
Protažení výztuže od maximálního zatížení	ϵ_{sk}	25.000	‰

Návrhový pracovní diagram betonu



Návrhový pracovní diagram výztuže



Obr. 3.15: Dialog 1.2 Materiály

Zobrazí se pouze materiály, které jsme použili při posouzení. Nepřípustné materiály se uvádí červeným písmem, změněné materiály modrým.

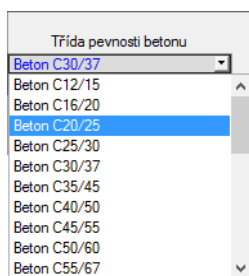
V kapitole 4.3 manuálu k hlavnímu programu RFEM popisujeme materiálové parametry, které se uplatňují při výpočtu vnitřních sil. Důležité materiálové charakteristiky se ukládají do globální databáze materiálů a jsou automaticky předem nastaveny.

Jednotky a desetinná místa materiálových hodnot a napětí lze měnit příkazem z hlavní nabídky **Nastavení** → **Jednotky a desetinná místa...** (viz kapitola 8.2, strana 193).

Označení materiálu

Třída pevnosti betonu

Předem nastaveny jsou betonové materiály použité v hlavním programu RFEM; materiály z ostatních kategorií se tu nezobrazí. Třidu pevnosti lze kdykoli změnit: klikneme na materiál ve sloupci A, čímž aktivujeme dané políčko. Následně klikneme na tlačítko [▼] nebo stiskneme klávesu [F7]. Otevřeme tak seznam tříd pevnosti betonu.



Obr. 3.16: Seznam tříd pevnosti betonu

Tento seznam obsahuje pouze třídy pevnosti, které odpovídají příslušné koncepci posouzení podle vybrané normy.

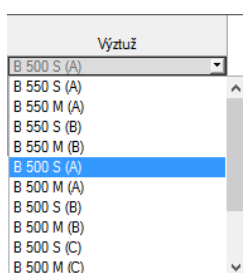
Jakmile vybereme požadovanou třídu, *materiálové charakteristiky* se aktualizují.

Vlastnosti materiálů se v modulu RF-CONCRETE Surfaces zásadně neupravují.

Výztuž

V tomto sloupci se předem nastaví jakost oceli, která odpovídá koncepci posouzení podle vybrané normy.

Stejně jako v případě třídy pevnosti betonu můžeme vybrat ze seznamu jinou betonářskou ocel: klikneme na materiál ve sloupci B, a tím dané pole aktivujeme. Následně klikneme na tlačítko [▼] nebo stiskneme klávesu [F7]. Otevřeme tak seznam betonářských ocelí.



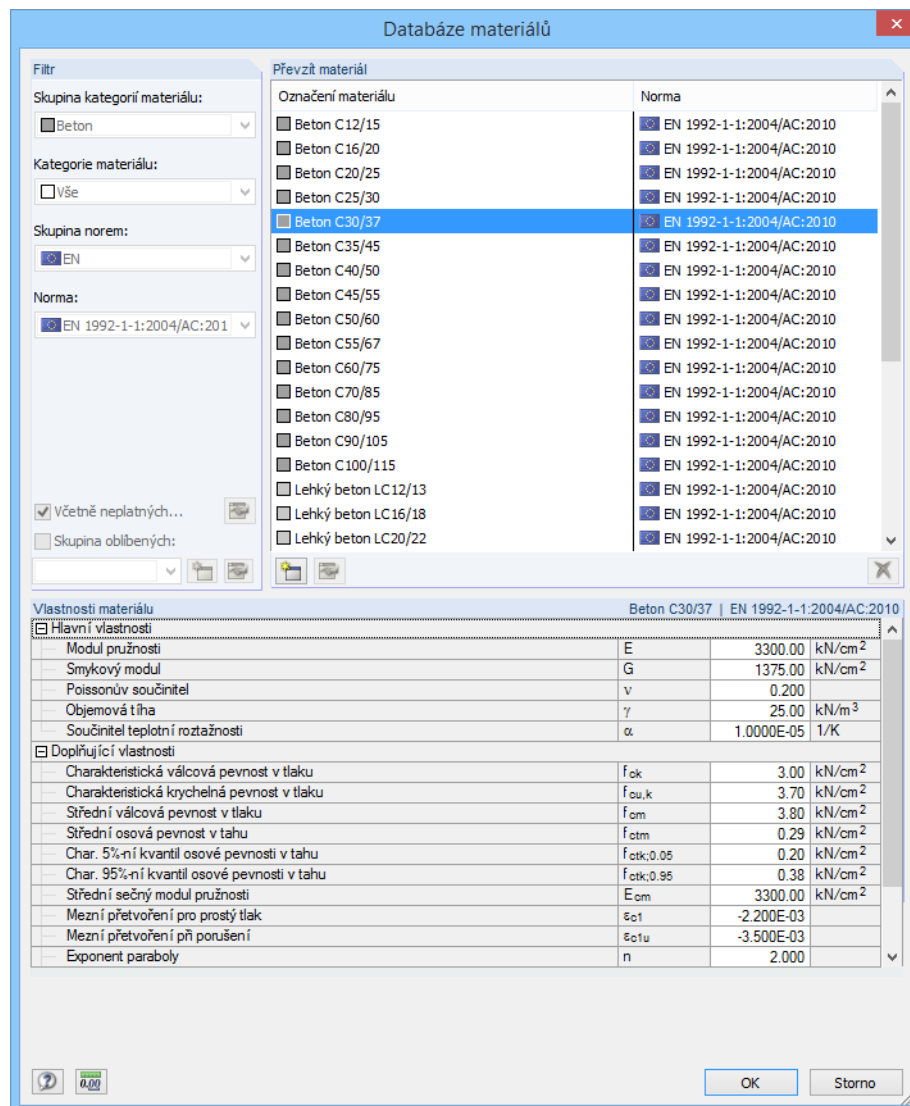
Obr. 3.17: Seznam betonářských ocelí

Seznam obsahuje pouze relevantní jakosti oceli podle dané normy.

Jakmile vybereme požadovanou betonářskou ocel, *materiálové charakteristiky* se aktualizují.

Databáze materiálů

V databázi je uloženo značné množství materiálů. Databázi lze otevřít pomocí vlevo znázorněného tlačítka, které máme k dispozici jak pro výběr třídy pevnosti betonu pod sloupcem A tak pro výběr betonářské oceli pod sloupcem B.



Obr. 3.18: Dialog Databáze materiálů

V sekci *Filtr* jsou předem nastaveny materiály podle zvolené normy; jiné kategorie ani normy tu nelze vybrat. Požadovanou třídu pevnosti betonu, resp. jakost oceli můžeme vybrat ze seznamu *Převzít materiál* a příslušné vlastnosti materiálu pak lze zkontrolovat ve spodní části dialogu.

Po kliknutí na tlačítko [OK] nebo po stisknutí klávesy [↵] se vybraný materiál převezme do dialogu 1.2 modulu RF-CONCRETE Surfaces.

V kapitole 4.3 v manuálu k hlavnímu programu RFEM podrobně popisujeme, jak lze přidávat nové materiály do databáze nebo materiály nově třídit či filtrovat.




OK

3.3 Plochy

Tento dialog obsahuje údaje k plochám, které přicházejí v úvahu pro posouzení.

Obsah dialogu závisí na nastavení v dialogu 1.1 *Základní údaje*: pokud se má provést jen posouzení na mezní stav únosnosti, najdeme tu pouze údaje o plochách a jejich tloušťkách. Jestliže jsme vybrali zatěžovací stavy i pro posouzení v mezním stavu použitelnosti (viz obr. 3.8, strana 130), můžeme tu zadat specifické údaje. Směrodatná je přitom zvolená metoda posouzení.

Tlačítka mají následující funkce:

Tlačítko	Funkce
	Zobrazí pouze plochy, kterým v dialogu 1.4 <i>Výztuž</i> přiřadíme sadu výztuže (viz kapitola 3.4).
	Umožňuje přepnout do pracovního okna RFEMu, kde lze změnit zobrazení.
	Slouží k výběru plochy v pracovním okně RFEMu.

Tabulka 3.2: Tlačítka v dialogu 1.3 *Plochy*

3.3.1 Analytická metoda posouzení

Analytickou metodu posouzení na mezní stav použitelnosti podrobně popisujeme v kapitole 2.6 na straně 69.

Pokud používáme modul RF-CONCRETE Deflect, obsahuje tento dialog další záložky a sloupce. Jejich popis najdeme v kapitole 3.3.2 *Nelineární metoda posouzení*.

Možnosti
Metoda posouzení: Analytická...
 Nelineární...

1.3. Plochy

Plocha č.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Materiál č.	Tloušťka Typ	d [mm]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	$f_{ct,eff}$ [N/mm ²]	$w_{k,-z}$ (horní) [mm]	$w_{k,+z}$ (dolní) [mm]	Zatížení od vynucené Použij k_c [·]	Upozor-nění		Komentář
1	1	Konstantní	300.0	400.00	2.90	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	1) 6)	Stropní deska
2	1	Konstantní	300.0	400.00	2.90	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	1) 6)	
3	1	Konstantní	300.0	400.00	2.90	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	1) 6)	
4	1	Konstantní	300.0	400.00	2.90	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	1) 6)	Zadní stěna
5	3	Konstantní	300.0	400.00	3.50	0.300	0.300	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4	1) 6)	Skořepina

Nastavení pro posouzení mezního stavu použitelnosti - plocha č. 1-5

Posouzení napětí Omezení šířky trhlin

Posouzení omezení šířky trhlin

Mezní hodnota přípustné šířky trhlin $w_{k,max}$

Mezní hodnoty podle 7.3.1(5)

Zadaná uživatelem

$w_{k,-z}$ (horní): [mm]

$w_{k,+z}$ (dolní): [mm]

Posouzení bez přímého výpočtu šířky trhlin podle 7.3.3

Výpočet mezního průměru výztuže $l_{m,s}$

Výpočet max. vzdálenosti výztuže $l_{m,s}$

Posouzení s přímým výpočtem šířky trhlin podle 7.3.4

Minimální výztuž pro účinky vynucených přetvoření

Min. výztuž $A_{s,min}$ pro vynucené přetvoření

Tvorba trhlin v průběhu prvních 28 dnů. (Účinná pevnost betonu v tahu $f_{ct,eff} = k_{zt} \cdot f_{ctm}$)

Redukční součinitel

k_{zt} :

Nastavit vstup pro plochu č.:
1-5

Obr. 3.19: Dialog 1.3 *Plochy* s nastavením pro analytickou metodu posouzení, záložka *Omezení šířky trhlin*

Materiál č.

U jednotlivých ploch se tu zobrazí čísla materiálů z předchozího dialogu 1.2 *Materiály*.

Tloušťka

Typ

Posuzovat lze plochy konstantní a lineárně proměnné tloušťky a také ortotropní plochy.

d

Údaje o tloušťce ploch, které se v tomto sloupci zobrazí, se převezmou z hlavního programu RFEM. Tyto hodnoty lze pro posouzení upravit.



Je třeba si ovšem uvědomit, že při posouzení se vychází z vnitřních sil, které se v RFEMu spočítaly na základě tuhostních vlastností tlouštěk ploch. U staticky neurčité konstrukce se tak musí podle změn v modulu RF-CONCRETE Surfaces upravit i tloušťky ploch v RFEMu, aby se při posouzení správně zohlednilo rozdělení vnitřních sil.



Počet následujících sloupců se odvíjí od nastavení v záložkách v dolní části dialogu, které zase závisí na zadání v dialogu *Nastavení pro analytickou metodu posouzení mezního stavu použitelnosti* (viz obr. 3.9, strana 131). V daném dialogu lze stanovit, zda se mají ověřovat napětí a/nebo trhliny.



Hodnoty nemůžeme doplňovat přímo do sloupců, řídí se totiž údaji v záložkách v dolní části dialogu. Zadání přitom obvykle platí pro všechny plochy. Existuje ovšem také možnost přiřadit aktuální zadání pouze určitým plochám: zrušíme označení políčka *Vše* a následně uvedeme čísla požadovaných ploch nebo je pomocí tlačítka [^] vybereme v grafickém okně RFEMu. Tlačítkem [☑] pak daným plochám aktuální nastavení přiřadíme. Platí ovšem pouze v právě otevřené záložce, např. v záložce *Posouzení napětí*.

Následující dva parametry se zadávají v záložce *Posouzení napětí* (viz obr. 3.20).

$\sigma_{c,min}$

V tomto sloupci se zobrazí příslušná hodnota minimálního napětí v betonu pro omezení tlakových napětí v betonu (viz kapitola 2.6.4.7, strana 76). Podle EN 1992-1-1 platí pro

- kvazistálou kombinaci zatížení, pokud jsou účinky dotvarování na mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti nebo na trvanlivost významné:

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck} \quad 7.2 (3)$$

- charakteristickou kombinaci zatížení v oblastech vystavených stupňům vlivu prostředí XD1 až XD3, XF1 až XF4, XS1 až XS3:

$$\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck} \quad 7.2 (2)$$

$\sigma_{s,max}$

Tato hodnota udává maximální napětí ve výztuži pro omezení tahových napětí ve výztuži (viz kapitola 2.6.4.8, strana 79). Podle EN 1992-1-1 platí pro

- charakteristickou kombinaci zatížení:

$$\sigma_s \leq 0,80 \cdot f_{yk} \quad 7.2 (5)$$

- čistě nepřímá zatížení:

$$\sigma_s \leq 1,00 \cdot f_{yk} \quad 7.2 (5)$$

Ostatní parametry se zadávají v záložce *Omezení šířky trhlin* (viz obr. 3.19).

$f_{ct,eff}$

V tomto sloupci se uvede příslušná hodnota pevnosti betonu v tahu. Tato hodnota je nezbytná ke kontrole průměru prutu (viz kapitola 2.6.4.10, strana 83).

$W_{k,-z}$ (horní) / $W_{k,+z}$ (dolní)

Jedná se o přípustnou šířku trhlin na horní a dolní straně ploch (viz kapitola 2.6.4.12, strana 86).

Zatížení od vynuceného přetvoření

Pokud na prvek působí zatížení od vynuceného přetvoření, je třeba je zohlednit při výpočtu minimální výztuže pro omezení šířky trhlin (viz kapitola 2.6.4.9, strana 80).



V záložce *Omezení šířky trhlin* lze po kliknutí na tlačítko [Upravit...] nastavit údaje pro minimální výztuž k přenesení účinků vynucených přetvoření (viz obr. 2.97, strana 81).

Použij

Ve sloupci I, resp. zaškrtnutím příslušného políčka v záložce *Omezení šířky trhlin* se stanoví, zda na prvek působí zatížení od vynuceného přetvoření.

Typ

V záložce *Omezení šířky trhlin* se určí, zda se jedná o vnitřní nebo vnější vynucené namáhání. Tento údaj má vliv na hodnotu součinitele k , jímž se zohledňují nelineárně rozdělená napětí betonu v tahu (viz rovnice 2.67, strana 80).

k_c

Tímto součinitelem se uvažuje rozdělení napětí v tažené oblasti (viz rovnice 2.67, strana 80).

Upozornění

Program v tomto sloupci zobrazí čísla odkazující na poznámky ve stavovém řádku.

Komentář

V políčkách v tomto sloupci může uživatel uvést vlastní poznámky.

3.3.2 Nelineární metoda posouzení

Pokud chceme použít *nelineární* metodu posouzení, potřebujeme vlastnit licenci k přídatnému modulu **RF-CONCRETE NL**. Nelineární metodu posouzení na mezní stav použitelnosti podrobně popisujeme v kapitole 2.8 na straně 106.

Možnosti
Metoda posouzení: Analytická...
 Nelineární...

1.3. Plochy

Plocha č.	Materiál č.	Typ	Tloušťka d [mm]	Souč. dotvar. φ [-]	Smršťování ϵ_{cs} [-]	$u_{z,max}$ [mm]	$W_{k,-z}$ (homí) [mm]	$W_{k,+z}$ (dotní) [mm]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm ²]	Upozornění	Komentář
1	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	14.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	Stropní deska
2	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	24.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	
3	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	16.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	
4	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	16.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	Zadní stěna
5	3	Konstantní	300.0	1.81426	-0.00033	16.000	0.300	0.300	-18.00	400.00	1)	Skořepina

Nastavení pro posouzení mezního stavu použitelnosti - plocha č. 1-3

Dotvarování | Smršťování | Posouzení na deformace | Posouzení šířky trhlin | Posouzení napětí

Omezení napětí betonu v tlaku

Typ omezení:

0.60 * f_{ck} podle EN 1992-1-1, 7.2(2)

0.45 * f_{ck} podle EN 1992-1-1, 7.2(2)

α * f_{ck}

α : 0.45

$\sigma_{c,max} = -13.50$ N/mm²

Omezení napětí ocele

Typ omezení:

0.80 * f_{yk} podle EN 1992-1-1, 7.2(5)

1.00 * f_{yk} podle EN 1992-1-1, 7.2(5)

α * f_{yk}

α : 0.80

$\sigma_{s,max} = 400.00$ N/mm²

Nastavit vstup pro plochu č.: 1-3 Vše

Obr. 3.20: Dialog 1.3 Plochy s nastavením pro nelineární metodu posouzení, záložka Posouzení napětí

Následující sloupce popisujeme v předchozí kapitole 3.3.1 *Analytická metoda posouzení*:

- Materiál č.
- Tloušťka
- $W_{k,-z}$ / $W_{k,+z}$
- $\sigma_{c,min}$
- $\sigma_{s,max}$



Ortotropní plochy nelze posoudit na mezní stav použitelnosti nelineární metodou.

Hodnoty ve sloupcích D až J se řídí údaji v záložkách v dolní části dialogu. Zadání přitom obvykle platí pro všechny plochy. Existuje ovšem také možnost přiřadit aktuální nastavení pouze určitým plochám: zrušíme označení políčka *Vše* a následně uvedeme čísla požadovaných ploch nebo je pomocí tlačítka [^] vybereme v grafickém okně RFEMu. Tlačítkem [✓] pak daným plochám aktuální nastavení přiřadíme. Platí ovšem pouze v právě otevřené záložce, např. v záložce *Posouzení napětí*.

Součinitel dotvarování φ

Parametry dotvarování je třeba zadat v záložce *Dotvarování* (viz obr. 2.144, strana 119). Ze zadaných okrajových podmínek program spočítá součinitel dotvarování φ . Za náhradní rozměr prvku h_0 se při výpočtu dosadí tloušťka plochy d .

Výpočet součinitele dotvarování popisujeme v kapitole 2.8.4.1 na straně 119.

Smršťování ϵ_{cs}

V tomto sloupci se uvede příslušné poměrné smršťování. Parametry důležité pro smršťování se zadávají v záložce *Smršťování* (viz obr. 2.147, strana 123). Ze zadaných okrajových podmínek program spočítá poměrné smršťování ϵ_{cs} . Za náhradní rozměr prvku h_0 se při výpočtu dosadí tloušťka plochy d .



Výpočet poměrného smršťování popisujeme v kapitole 2.8.4.2 na straně 122. Pokud se u některé plochy nemá uvažovat poměrné smršťování, je třeba v záložce *Smršťování* nastavit nulu pro uživatelsky zadané smršťování a přiřadit ji poté příslušné ploše.



U prostých desek, které se zadají jako model typu $2D - XY (u_z/\varphi_x/\varphi_y)$, nelze smršťování zohlednit, protože v tomto případě jsou dány výlučně stupně volnosti v ohybu.

$u_{z,max}$

Tato hodnota udává maximální přípustnou deformaci, kterou je třeba dodržet pro ověření v mezním stavu použitelnosti. Kritéria posouzení se stanoví v záložce *Posouzení na deformace*.

1.3. Plochy

Plocha č.	Materiál č.	Typ	Tloušťka d [mm]	Souč. dotvar. ϕ [-]	Smršťování ϵ_{cs} [-]	$u_{z,max}$ [mm]	$W_{k,-z}$ (horní) [mm]	$W_{k,+z}$ (dolní) [mm]	$\sigma_{c,max}$ [N/mm ²]	$G_{s,max}$ [N/mm ²]	Upozornění	Komentář
1	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	14.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	Stropní deska
2	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	24.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	
3	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	16.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	
4	1	Konstantní	300.0	2.27806	-0.00034	16.000	0.300	0.300	-13.50	400.00	1)	Zadní stěna
5	3	Konstantní	300.0	1.81426	-0.00033	16.000	0.300	0.300	-18.00	400.00	1)	Skořepina

Nastavení pro posouzení mezního stavu použitelnosti - plocha č. 1-3

Dotvarování | Smršťování | Posouzení na deformace | Posouzení šířky trhlin | Posouzení napětí

Kritéria posouzení

Mezní hodnota:

Minimální hraniční linie:
 $u_{z,max} : L_{min} /$

Maximální hraniční linie:
 $u_{z,max} : L_{max} /$

Definováno relativně
 $u_{z,max} : L_{def} /$ $L_{def} :$ [m]

Definováno absolutně
 $u_{z,max} :$ [mm]

Vztáhnout k:
 Nedeformovanému systému
 Posunutě paralelně desce v místě minimální deformace uzlu na hraniční linii plochy
 Posunutě uživatelsky zadané referenční rovině

Nastavit vstup pro plochu č.:
 Vše

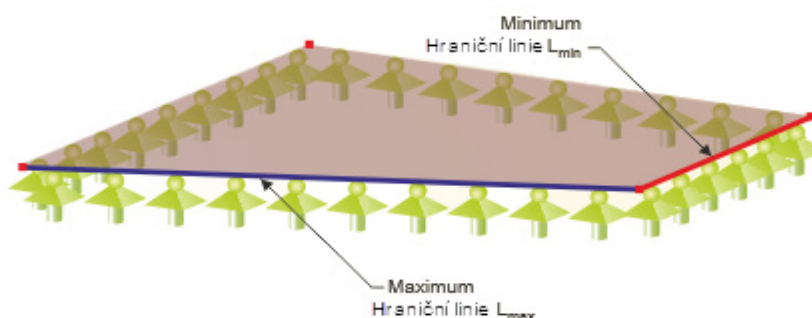
Obr. 3.21: Dialog 1.3 Plochy, záložka *Posouzení na deformace*

Mezní hodnota

V běžných pozemních stavbách je např. podle EN 1992-1-1, čl. 7.4 použitelnost zajištěna, pokud průhyb při kvazistálé kombinaci zatížení nepřekračuje následující mezní hodnoty:

- V obecném případě: $u_{z,max} = \frac{l_{eff}}{250}$
- U prvků, u nichž nadměrná deformace může vést k porušení: $u_{z,max} = \frac{l_{eff}}{500}$

Pomocí výběrových políček *Minimální hraniční linie*, *Maximální hraniční linie* a *Definováno relativně* lze stanovit délku, která se má použít pro l_{eff} . V případě zadání jedné z *hraničních linií* se bude uvažovat nejmenší, resp. největší okrajová linie příslušné plochy.



Obr. 3.22: Maximální a minimální hraniční linie pro výpočet $u_{z,\text{max}}$



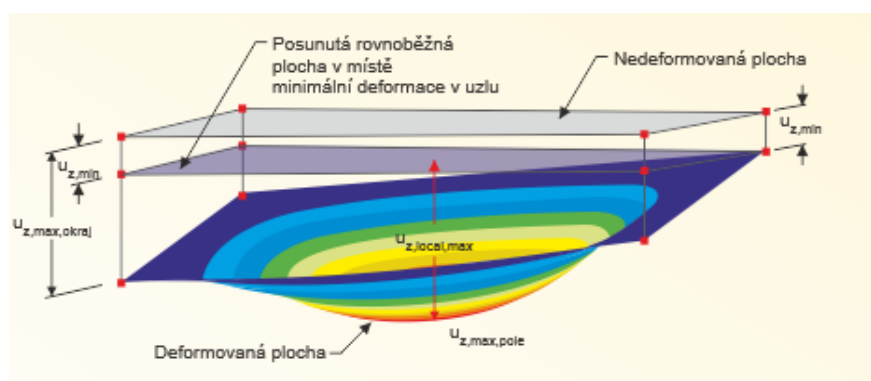
V případě *relativního* zadání může sám uživatel uvést délku ručně nebo ji vybrat graficky pomocí funkce [\wedge] jako vzdálenost mezi dvěma libovolnými body v modelu konstrukce v RFEMu. U všech těchto tří voleb je třeba zadat dělitel, kterým se vydělí definované délky.

Pokud vybereme možnost *Definováno absolutně*, můžeme maximální přípustnou deformaci $u_{z,\text{max}}$ zadat přímo.

Vztáhnout k

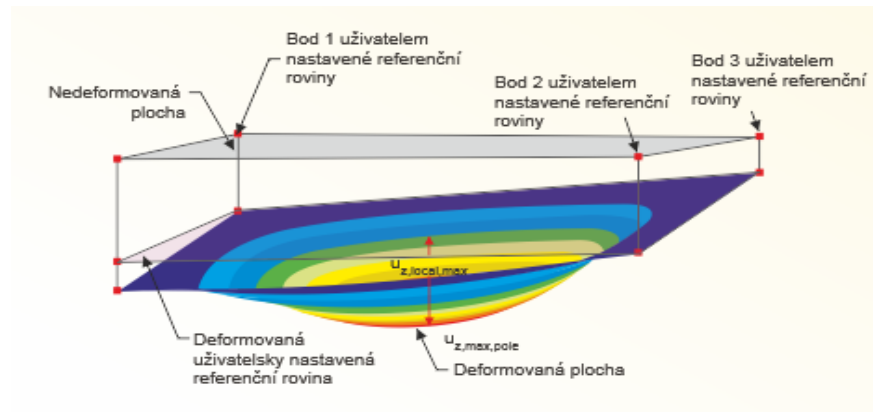
Při posouzení na deformace se uvažuje průhyb plochy, tzn. vertikální deformace ve vztahu k přímé spojovací linii podpor. V záložce *Posouzení na deformace* (obr. 3.21) se nabízí tři možnosti, jak vypočítat uvažovanou lokální deformaci $u_{z,\text{local}}$.

- *Nedeformovaný systém:* Deformace se stanoví ve vztahu k výchozí konstrukci.
- *Posunutá paralelní deska:* V případě poddajného uložení plochy doporučujeme posuzovat deformaci z tohoto hlediska. Deformace $u_{z,\text{local}}$ se zjišťuje ve vztahu k pomyslné referenční ploše posunuté rovnoběžně s nedeformovanou konstrukcí. Vektor posunu této referenční plochy má stejnou délku jako nejmenší deformace uzlu na ploše.



Obr. 3.23: Posunutá paralelní deska (vektor posunu: nejmenší deformace uzlu $u_{z,\text{min}}$)

- *Posunutá referenční rovina:* Pokud je deformace jednotlivých podpor plochy značně rozdílná, lze definovat nakloněnou referenční rovinu, k níž bude vztažena uvažovaná lokální deformace $u_{z,local}$. Tato rovina je dána třemi body v nedeformované konstrukci. Program pak vypočítá deformaci těchto tří bodů a vede těmito třemi posunutými body rovinu. Na tomto základě pak spočítá lokální deformaci $u_{z,local}$.



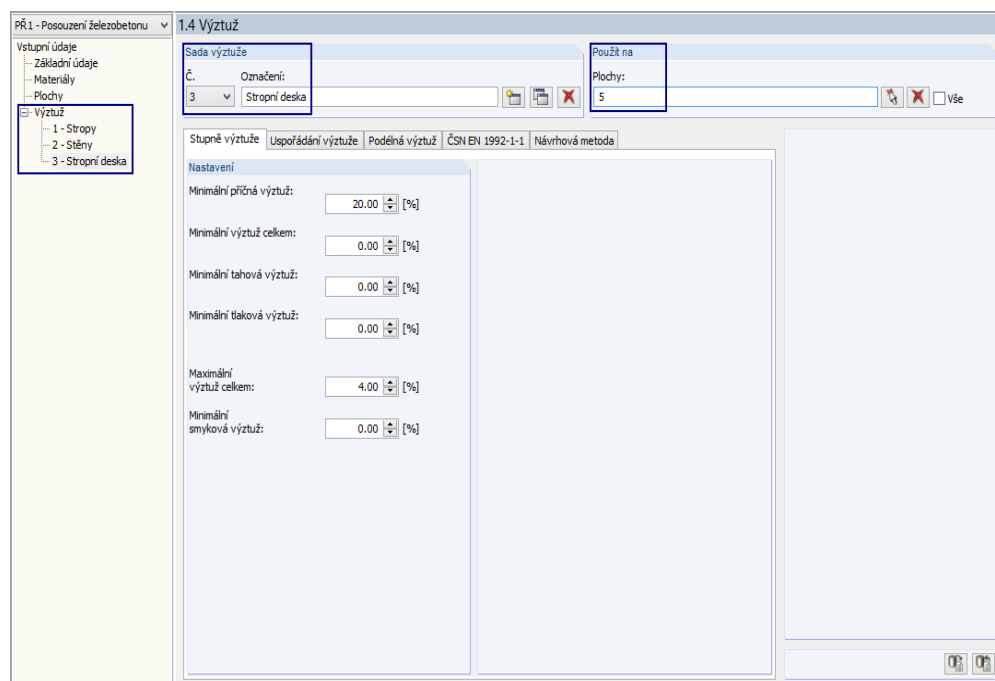
Obr. 3.24: Posunutá uživatelsky zadaná referenční rovina

3.4 Výztuž

Tento dialog se skládá z 5 záložek, které obsahují veškeré údaje o výztuži. Vzhledem k tomu, že zadané údaje se pro jednotlivé plochy mohou lišit, lze v každém návrhovém případě v modulu RF-CONCRETE Surfaces vytvořit několik takzvaných „sad výztuže“. U každé sady výztuže jsou definovány parametry, které platí pro výztuž určitých ploch.

Sada výztuže

Novou sadu výztuže vytvoříme pomocí tlačítka [Vytvořit novou sadu výztuže] v sekci *Sada výztuže*. Její číslo se vyplní automaticky. Pokud uživatel zadá vlastní *označení* sady, bude se ve všech sadách vytvořených v daném návrhovém případě snáze orientovat.



Obr. 3.25: Dialog 1.4 Výztuž se třemi sadami výztuže

Sady výztuže lze vybírat v seznamu Č. nebo v navigátoru v levé části dialogu.

Tlačítkem [Smazat aktuální sadu výztuže] se bez dalšího varování smaže z návrhového případu právě vybraná sada výztuže. Plochy, které byly v dané sadě obsaženy, tak nebudou posouzeny. Pokud je chceme posoudit, musí se přiřadit k nové nebo k některé již existující sadě výztuže.

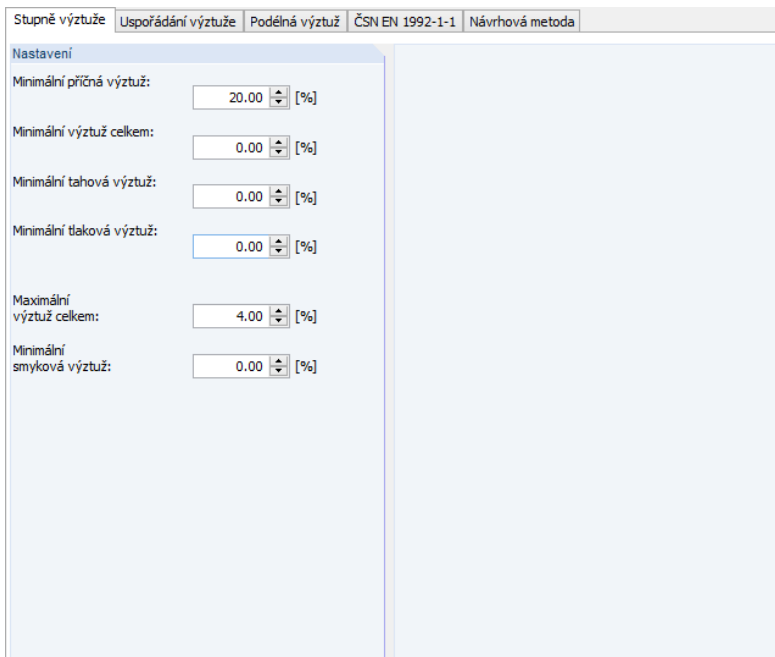
Použit na plochy

V této sekci rozhodneme, pro které plochy budou parametry aktuální sady výztuže platit. Automaticky jsou přednastaveny všechny plochy. Pokud tento údaj ponecháme, nelze vytvářet žádné další sady výztuže, protože žádnou jednotlivou plochu nelze posuzovat podle různých pravidel (s výjimkou posouzení v různých „návrhových případech“, viz kapitola 8.1, strana 191). Pokud tedy chceme používat další sady výztuže, musíme zrušit označení políčka *Vše*.

Ve vstupním poli uvedeme čísla ploch, pro které bude platit nastavení v záložce níže, nebo tyto plochy vybereme pomocí funkce [^] v grafickém okně RFEMu. Do tohoto vstupního pole můžeme vyplnit pouze čísla ploch, které dosud nebyly přiřazeny žádné jiné sadě výztuže.



3.4.1 Stupně výztuže

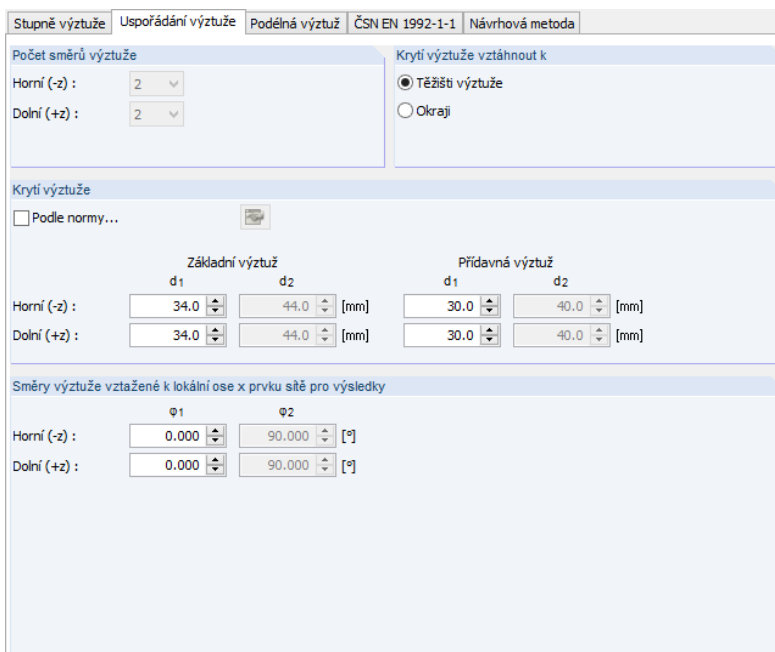


Obr. 3.26: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Stupně výztuže

V této záložce se stanoví minimální a maximální výztuž v procentech. *Minimální příčná výztuž* se určuje ve vztahu k největší navržené podélné výztuži. Veškeré další údaje se zadávají s ohledem na průřezovou plochu 1 m širokého pruhu.

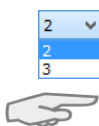
Příklady k minimální a maximální výztuži lze najít v kapitolách 2.3.7, 2.4.5 a 2.5.8 tohoto manuálu.

3.4.2 Uspořádání výztuže



Obr. 3.27: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Uspořádání výztuže

V této záložce se zadávají geometrické údaje výztuže.



Počet směrů výztuže

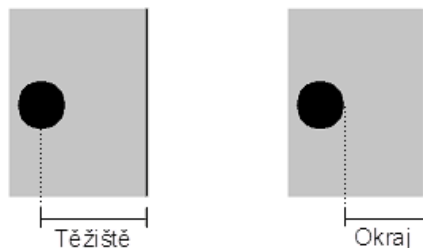
Výztužnou síť lze navrhnout tak, že pro každou stranu plochy zadáme 2 nebo 3 směry výztuže.

Pro posouzení v mezním stavu použitelnosti se připouští pouze 2 směry výztuže.

Definici „horní“ a „dolní“ strany plochy najdeme níže v popisu sekce *Krytí výztuže*.

Krytí výztuže vztáhnout k

Krytí výztuže, definované v následující sekci, lze zadat ve vztahu k *těžišti výztuže* nebo ke vzdálenosti od *okraje*.



Obr. 3.28: Zadání betonového krytí

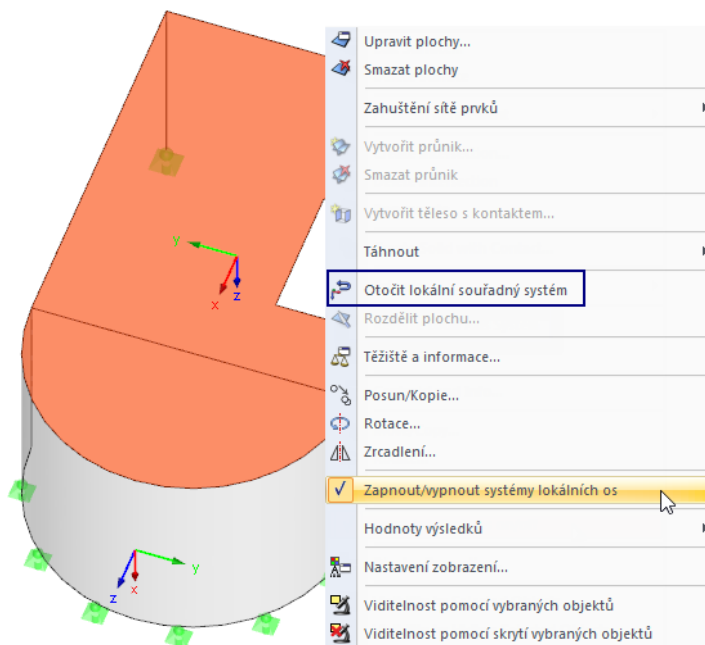
Pokud zvolíme druhou možnost a pokud se provádí čistě posouzení mezního stavu únosnosti, je třeba zadat *průměr prutu D*.

Krytí výztuže

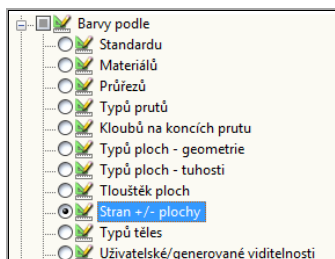
V těchto vstupních polích se zadává betonové krytí *základní výztuže* a případně *přídavné výztuže* na obou stranách plochy, a to opět vzhledem k těžišti d jednotlivých vrstev nebo ke vzdálenosti od okraje c_{nom} výztuží ve směru φ_1 . Směry výztuže se stanoví v sekci níže.

„Horní“ a „dolní“ strana plochy se definuje následovně: dolní strana plochy se nachází ve směru kladné lokální osy z dané plochy, a horní strana tudíž ve směru záporné lokální osy z.

Souřadné systémy ploch xyz se zobrazí v grafickém okně RFEMu, jakmile se kurzor myši pohybuje nad některou plochou. Osy můžeme zobrazit také z místní nabídky plochy (vyvoláme ji tak, že na plochu klikneme pravým tlačítkem myši).



Obr. 3.29: Místní nabídka plochy v RFEMu

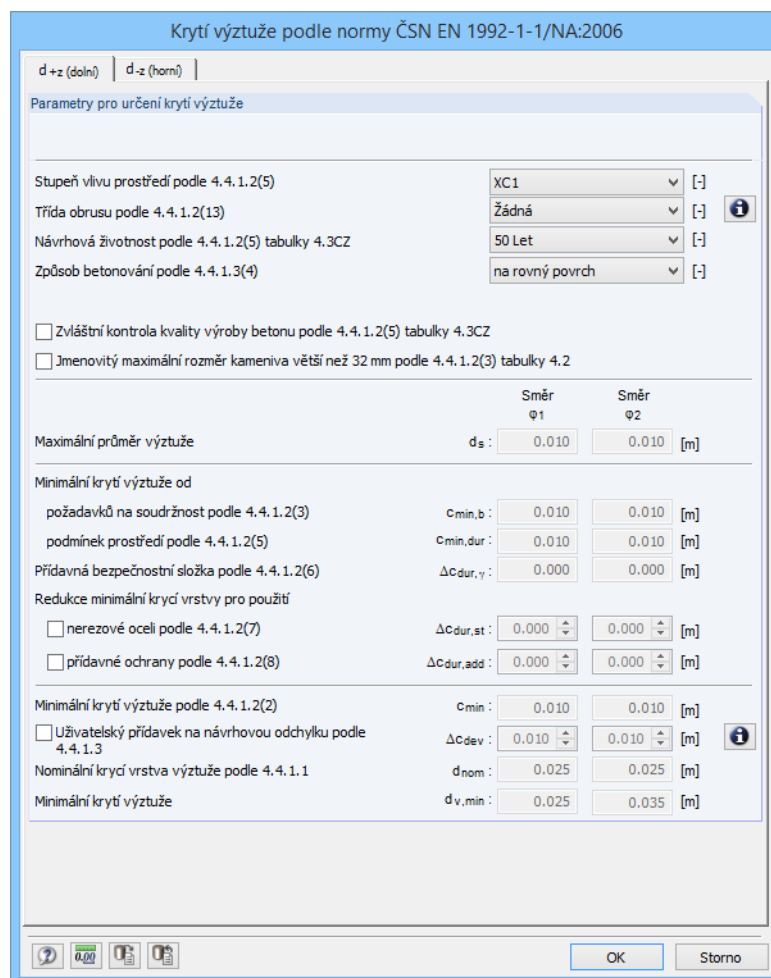


Položka *Barvy podle* → *stran +/- plochy* v navigátoru *Zobrazit* umožňuje strany ploch znázornit odlišnou barvou (viz obrázek vlevo).

Změnit orientaci lokální osy z lže u dané plochy tak, že na plochu klikneme pravým tlačítkem myši v pracovním okně RFEMu a následně vybereme v místní nabídce plochy funkci *Otočit lokální souřadný systém* (viz obr. 3.29). Tímto způsobem lze například sjednotit orientaci stěn a jednoznačně stanovit horní a dolní stranu výztuže u ploch ve svislé poloze.

V případě modelů typu *Stěna 2D - XZ* ($u_x/u_z/\varphi_y$) nebo *Deska 2D - XY* ($u_x/u_y/\varphi_z$) se jedná o modely namáhané v rovině prvku výlučně tlakem nebo tahem. Pro horní a dolní stranu plochy pak nelze použít odlišné výztužné sítě. V tomto případě lze zadat pouze jednotné betonové krytí na obou stranách plochy.

Pokud označíme políčko *Podle normy...*, zpřístupní se nám tlačítko [Upravit...]. Otevřeme jím následující dialog.



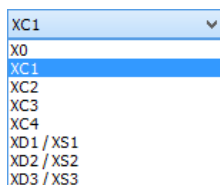
Obr. 3.30: Dialog *Krytí výztuže podle normy*

V horní sekci lze stanovit parametry podle normy (stupeň vlivu prostředí, třída ohrusu atd.). Modul RF-CONCRETE Surfaces na jejich základě spočítá nutná betonová krytí.

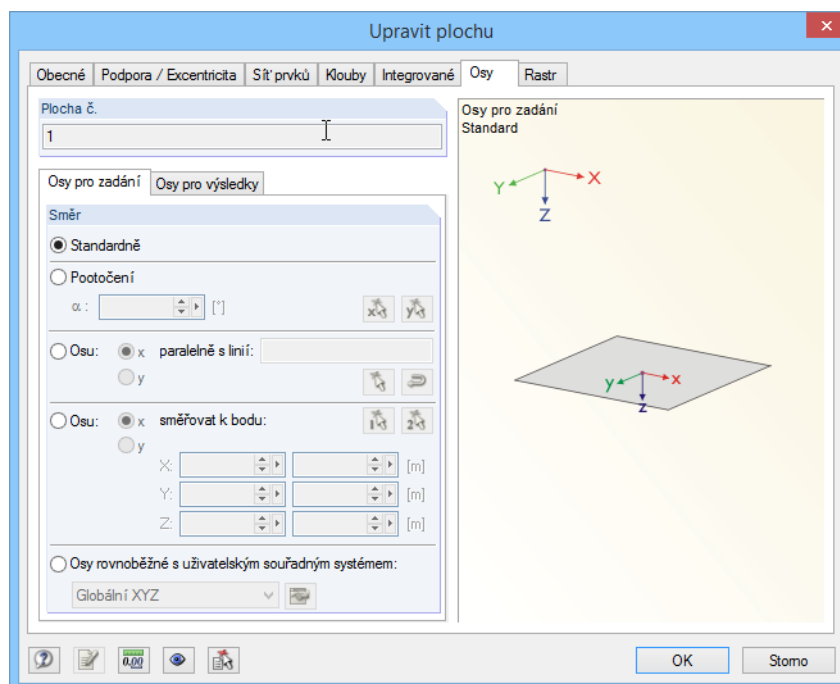
Ve dvou záložkách můžeme parametry zadat samostatně pro každou stranu plochy.

Směry výztuže vztahované k lokální ose x prvku sítě pro výsledky

Směry výztuže φ se vztahují k lokální ose x prvků sítě KP. V dialogu *Upravit plochu* v RFEMu můžeme zkontrolovat osový systém ploch pro výsledky a v případě potřeby ho upravit.



Výběr stupně vlivu prostředí



Obr. 3.31: Dialog *Upravit plochu* v RFEMu, záložky *Osy* a *Osy pro výsledky*

V případě zakřivených ploch doporučujeme osy konečných prvků zkontrolovat v grafickém okně: v navigátoru *Zobrazit* v RFEMu označíme volbu *Síť prvků* → *Na plochách* → *Osově systémy sítě prvků x,y,z* → *Indexy* (viz obr. 8.40 v kapitole 8.14 manuálu k programu RFEM).

Směr výztuže udává úhel φ . Zadané úhly musí být kladné. Udávají pootočení výztuže ve směru hodinových ručiček vzhledem k příslušné ose x.

Pokud jsme v RFEMu vytvořili model typu *Stěna 2D - XZ* ($u_x/u_z/\varphi_y$) nebo *Deska 2D - XY* ($u_x/u_y/\varphi_z$), pak nelze pro horní a dolní stranu plochy použít odlišné výztužné sítě. V tomto případě lze zadat pouze jednotné výztužné směry na obou stranách plochy.

3.4.3 Podélná výztuž

Obr. 3.32: Dialog 1.4 Výztuž, záložka Podélná výztuž pro posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti

Obsah této záložky závisí na tom, jaká posouzení se mají provést (viz nastavení v dialogu 1.1 *Základní údaje*): pokud se analyzuje pouze mezní stav únosnosti, není třeba zadávat o výztuži žádné zvláštní údaje. Je ovšem nutné stanovit, jaká podélná výztuž se má uvažovat při posouzení na posouvající síly. Pro posouzení v mezním stavu použitelnosti je však třeba zadat průřezy výztuže.

Pokyny k zadání výztuže pro posouzení v mezním stavu použitelnosti najdeme v kapitole 2.6.3 na straně 71.

Navržená základní výztuž

Pro každou stranu plochy a každý směr výztuže lze zadat základní výztuž, která se použije u všech ploch dané sady výztuže. Ve vstupních polích této sekce se uvede *průřez výztuže* a údaj o *průměru prutu*, který je důležitý pro posouzení mezního stavu použitelnosti.

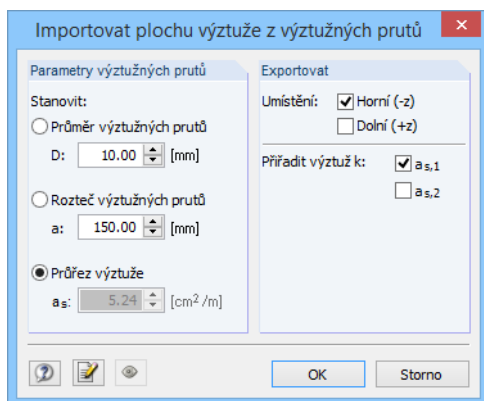
Pokud zadáme základní výztuž větší, než je nutná výztuž, pak již není zapotřebí žádná přidavná výztuž. Není ovšem ekonomické vybavit plochy velkou konstantní základní výztuží.

Ke snazšímu zadání průřezů výztuže modul RF-CONCRETE Surfaces nabízí databáze jak pro výztužné pruty tak pro výztužné sítě. Tyto dvě databáze lze otevřít pomocí vlevo znázorněných tlačítek; jejich funkci popisujeme níže.





Výztužné pruty



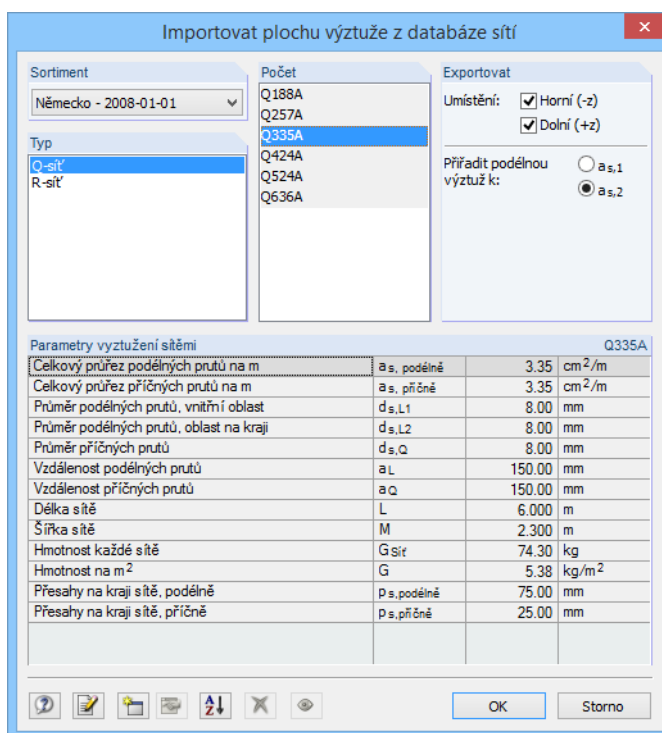
Obr. 3.33: Dialog Importovat plochu výztuže z výztužných prutů

Všechny tři volby v sekci *Parametry výztužných prutů* jsou interaktivní. Zpravidla se z průměru a rozteče výztužných prutů spočítá plocha výztuže.

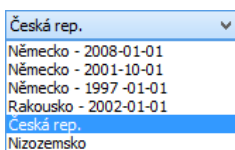
V sekci *Exportovat* lze nastavit, do kterých polí výchozího dialogu v záložce *Podélná výztuž* se převezmou spočítané plochy výztuže. Pro umístění a směr výztuže lze zadat buď jednu konkrétní možnost nebo můžeme zaškrtnout i všechna políčka najednou.



Výztužné sítě



Obr. 3.34: Dialog Importovat plochu výztuže z databáze sítí



Nejdříve je třeba zvolit *sortiment* ve vlevo znázorněném seznamu. Po stanovení *typu* sítě lze vybrat v sekci vpravo příslušné *číslo*. V sekci níže můžeme zkontrolovat *parametry vyztužení sítěmi*.

V sekci *Exportovat* lze nastavit, do kterých polí výchozího dialogu v záložce *Podélná výztuž* se převezmou spočítané plochy výztuže. Pro umístění a směr výztuže lze zadat buď jednu konkrétní možnost nebo můžeme zaškrtnout i všechna políčka najednou.

Použit nutnou výztuž

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti by bylo ideální postupovat následovně:

1. Určit nutnou výztuž výlučně na základě zatížení v záložce *Mezní stav únosnosti*
2. Vytvořit výkres výztuže s výztužnými sítěmi a výztužnými pruty s barevně rozlišeným průběhem výsledků
3. Plochy případně rozdělit na základě výkresu výztuže na menší plochy, které mají v každém výztužném směru výztuž stejného průřezu
4. Definovat návrhový průřez výztuže, vzdálenost prutů a průměr prutů pro každou danou plochu v modulu RF-CONCRETE Surfaces
5. Spustit nový výpočet na základě zatížení v záložce *Mezní stav použitelnosti*



Tento postup je náročný a jistým způsobem odporuje konvenci programu, kdy se kliknutím na tlačítko [Výpočet] provede jak výpočet výztuže tak posouzení mezního stavu použitelnosti.

Volba *Použit nutnou výztuž pro posouzení použitelnosti* tak představuje možnost získat rychle pro jednotlivé plochy návrhovou výztuž. Výztuž, z které se přitom vychází, je nutná výztuž z posouzení v mezním stavu únosnosti. V tomto případě je nutné zadat pouze průměr prutu.

Přídavná výztuž pro posouzení mezního stavu použitelnosti

Oblasti, v nichž je staticky nutná výztuž větší než základní výztuž, vyžadují přídavnou výztuž. Ze seznamu v této sekci můžeme vybrat, jaká přídavná výztuž se má použít pro posouzení v mezním stavu použitelnosti.

Pokud zvolíme možnost *Nutná přídavná výztuž*, použije se skutečný průběh $A_{s,pož}$ jako přídavná - výztuž při posouzení mezního stavu použitelnosti.

Další alternativa, *navržená přídavná výztuž*, se spočítá jako rozdíl mezi maximální staticky nutnou výztuží všech ploch dané sady výztuže a mezi zadanou základní výztuží:

$$a_{s,přídavná} = \max a_{s,nutná} - a_{s,základní}$$

Rovnice 3.2

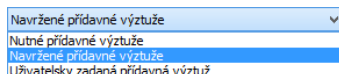


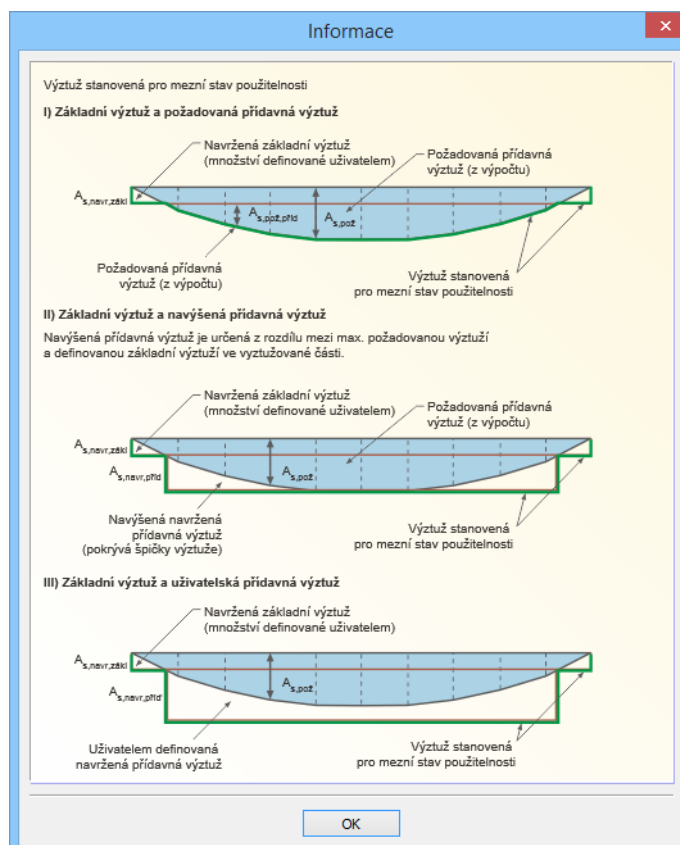
Tlačítkem [Informace o přídavné výztuži...] otevřeme dialog, v kterém se nám nabízí znázornění zvolené přídavné výztuže (viz obr. 3.35).

Pro navržení přídavné výztuže je třeba zadat pouze průměr prutu.



Průřez výztuže může stanovit také *uživatel*. V tomto případě máme stejně jako v předchozí sekci *Navržená základní výztuž* k dispozici databáze výztužných prutů a sítí.

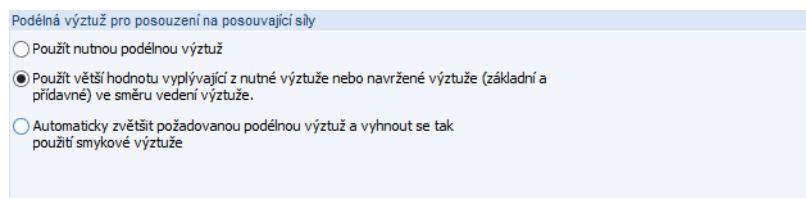




Obr. 3.35: Použití přídatné výztuže

Podélná výztuž pro posouzení na posouvající síly

Uživatel může v této sekci vybrat, jaká podélná výztuž se má použít pro posouzení na posouvající síly bez smykové výztuže.



Obr. 3.36: Podélná výztuž pro posouzení na posouvající síly

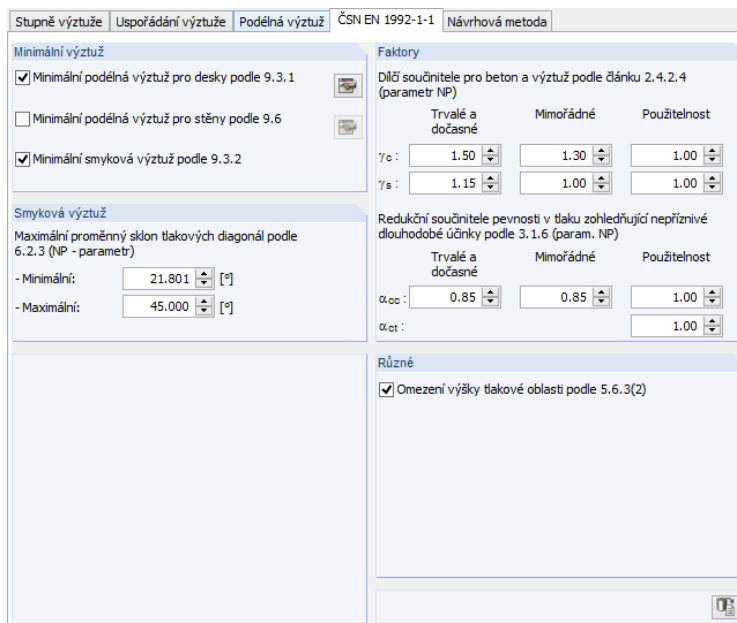
- *Použít nutnou podélnou výztuž*
Posouzení smykové únosnosti se provede pomocí transformované navržené tahové výztuže ve směru hlavní smykové síly (viz kapitola 2.4.4.1, strana 37).
- *Použít větší hodnotu vyplývající z nutné výztuže nebo navržené výztuže*
Pro posouzení smykové únosnosti se použije buď staticky nutná nebo uživatelem zadaná podélná výztuž (viz kapitola 2.4.4.1, strana 40).
- *Automaticky zvětšit nutnou podélnou výztuž, aby nedošlo k potřebě smykové výztuže*
Pokud není nutná podélná výztuž dostatečná pro smykovou únosnost, zvětší se podélná výztuž ve směru hlavní smykové síly, dokud nebude posouzení na posouvající síly bez smykové výztuže splněno (viz kapitola 2.4.4.1, strana 38).

3.4.4 Norma

Parametry v této záložce závisí na normě, kterou jsme vybrali v dialogu 1.1 *Základní údaje*. Zadávat se v ní specifické údaje k výztuži dané normou. Níže popíšeme záložku pro normu **EN 1992-1-1**.



V dolní části záložky máme k dispozici dvě tlačítka. Tlačítkem [Standard] lze obnovit výchozí hodnoty aktuálně vybrané normy, tlačítkem [Nastavit jako standard] uložíme zadané údaje jako nové defaultní nastavení.



Obr. 3.37: Dialog 1.4 Výztuž, záložka ČSN EN 1992-1-1

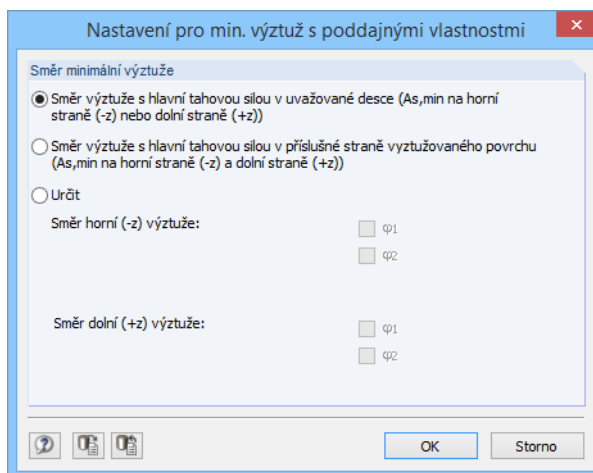
Minimální výztuž

V této sekci stanovíme, které články z normy týkající se minimálních výztuží budou při posouzení směrodatné (viz kapitola 2.3.7, strana 24).



U desk a stěn lze pomocí tlačítka [Nastavení pro minimální výztuž s poddajnými vlastnostmi] otevřít další dialog, v němž můžeme zadat směry minimální výztuže, resp. hlavní tlakové výztuže.

Desky

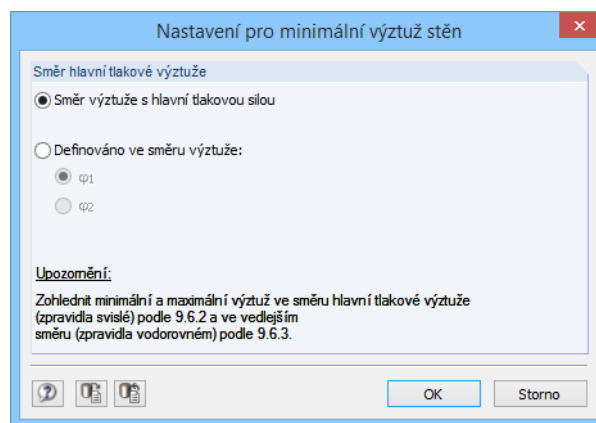


Obr. 3.38: Dialog Nastavení pro minimální výztuž s poddajnými vlastnostmi

Podle EN 1992-1-1, čl. 9.3.1 je pro zajištění duktility konstrukčního prvku třeba vložit ve směru hlavního napětí v desce minimální výztuž. Výpočet výztuže, který se provádí po jednotlivých prvcích, neumožňuje určit směr hlavního napětí automaticky, proto lze směr, v kterém se má uvažovat minimální výztuž, stanovit pomocí následujícího přepínače:

- *Směr výztuže s hlavní tahovou silou v uvažované desce*
Minimální výztuž se zohlední pouze ve směru výztuže, který vykazuje největší tahovou sílu ze všech směrů výztuže na horní (-z) i dolní straně (+z): minimální výztuž se vloží pouze v jednom směru na jedné straně desky.
- *Směr výztuže s hlavní tahovou silou v příslušné ploše výztuže*
Na každé straně výztuže se hledá směr výztuže s největší tahovou silou. Minimální výztuž se pak spočítá na každé straně pro dané směry.
- *Určit*
Směr výztuže, v němž se má použít minimální výztuž, můžeme stanovit ručně.

Stěny



Obr. 3.39: Dialog Nastavení pro minimální výztuž stěn

Směr hlavní tlakové výztuže pro výpočet minimální podélné výztuže u stěn lze zadat ve směru *hlavní tlakové síly* nebo ho může *definovat* uživatel.

Smyková výztuž

V daných dvou vstupních políčkách se zadává přípustné rozmezí *sklonu tlakových diagonál* θ (viz kapitola 2.4.4.2, strana 40). Předem jsou nastaveny úhly podle EN 1992-1-1, čl. 6.2.3. V případě potřeby je lze upravit, hodnoty musí ovšem ležet v mezích, které stanoví norma.

Faktory

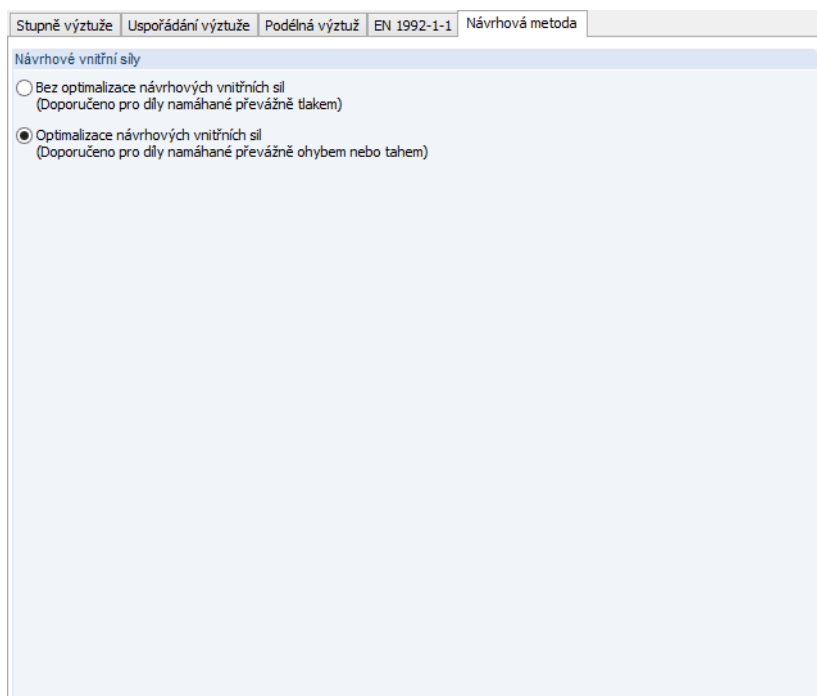
V horních políčkách v této sekci se stanoví *dílčí součinitele spolehlivosti* pro beton γ_c a pro výztuž γ_s . Předem nastaveny jsou hodnoty podle ČSN EN -1992-1-1, tabulky 2.1 N pro různé návrhové situace.

Redukčními součiniteli α_{cc} , resp. α_{ct} se zohledňují dlouhodobé účinky na pevnost betonu v tlaku, resp. v tahu. Hodnoty těchto součinitelů upravuje v normě EN 1992-1-1 článek 3.1.6 (1), resp. 3.1.6 (2).

Různé

Zaškrtnuté políčko v této sekci slouží k *omezení výšky tlakové oblasti* podle ČSN EN-1992-1-1, čl. 5.6.3 (2). V takovém případě by neměl poměr x_d/d přesáhnout hodnotu 0,45 pro beton do třídy pevnosti C50/60, popř. 0,35 pro beton pevnostní třídy C55/67 a vyšší.

3.4.5 Návrhová metoda



Obr. 3.40: Dialog 1.4 Výztuž, záložka *Návrhová metoda*

Při výpočtu nutné výztuže se hlavní vnitřní síly transformují do návrhových sil (ve směru výztuže) a do síly vznikající v betonové tlakové diagonále. Velikost těchto návrhových sil závisí na uvažovaném úhlu tlakové diagonály, která výztužnou síť zpevňuje.

V případě stavu namáhání „tah-tah“ a „tah-tlak“ (viz obr. 2.19, strana 21) se může při určitém sklonu tlakové diagonály stát, že návrhová síla bude v některém směru výztuže záporná, tzn. vznikají tlakové síly pro tahovou výztuž. Při optimalizaci návrhových sil se směr betonové tlakové diagonály bude upravovat, dokud záporná návrhová síla bude nulová.

Při *optimalizaci* vnitřních sil se tak zjišťuje, jaký úhel sklonu betonové tlakové diagonály přináší nejpriznivější výsledek. Návrhové momenty se spočítají iteračně na základě upravovaného úhlu sklonu diagonály s cílem najít energeticky nejúspornější řešení s nejmenší potřebnou výztuží. Postup při optimalizaci popisujeme názorně na příkladu v kapitole 2.4.1 na straně 27.



Optimalizace může u tlakem namáhaných betonových prvků, jako jsou stěny, vést k porušení betonové tlakové diagonály, a tudíž nedimenzovatelnosti. Pro stav namáhání „tlak-tlak“ tak není optimalizace vhodná.

4. Výpočet

Výpočet

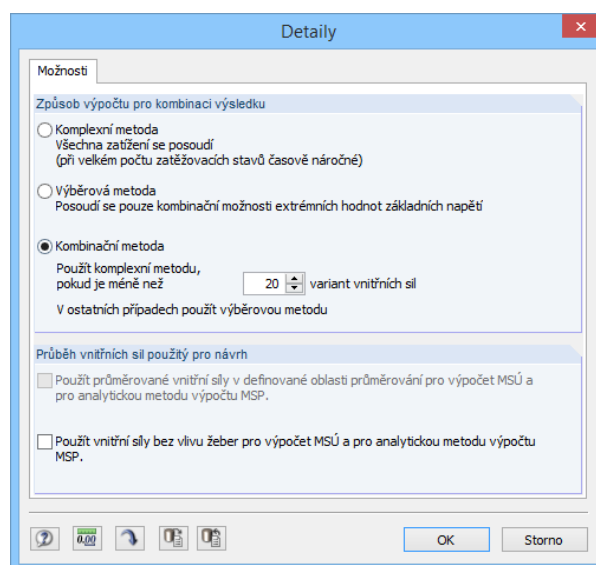
Při výpočtu železobetonových konstrukcí v modulu RF-CONCRETE Surfaces se vychází z vnitřních sil spočítaných v programu RFEM. Pokud ještě v RFEMu nejsou výsledky k dispozici, spustí se automaticky nejdříve výpočet vnitřních sil.

4.1 Detaily

Detaily...

Po kliknutí na tlačítko [Detaily...], které máme k dispozici ve vstupních dialogích, můžeme zvolit způsob výpočtu kombinací výsledků, resp. většího počtu zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení a dále také průběh vnitřních sil v oblastech průměrování a v oblastech žeber.

Otevře se nám následující dialog:



Obr. 4.1: Dialog *Detaily*

Způsob výpočtu pro kombinaci výsledků

V této sekci nastavíme, které návrhové vnitřní síly se budou uvažovat při výpočtu kombinací výsledků. Nastavení pak také platí v případě, že se má v návrhovém případě vyšetřit větší počet zatěžovacích stavů nebo kombinací zatížení. Předem nastavena je *kombinační metoda*: před posouzením se zjistí, zda je výpočetně méně náročná *komplexní metoda* nebo *výběrová metoda*.

Komplexní metoda

Každý zatěžovací stav a každá kombinace zatížení, kterou jsme vybrali v dialogu 1.1 *Základní údaje*, se posoudí jednotlivě. Z výsledků se sestaví obálka hodnot pro výztuž. V případě kombinací výsledků se provádí 16 výpočtů extrémních hodnot základních vnitřních sil max/min m_x , max/min n_x , max/min m_y , max/min n_y , max/min m_{xy} , max/min n_{xy} , max/min v_x a max/min v_y z RFEMu.

Komplexní metoda je velmi přesná, protože každá kombinace se vypočítá samostatně a následně se stanoví obálka pro výztuž. Nevýhodou ovšem je, že počet analyzovaných kombinací při jejich zpracovávání řádek po řádku exponenciálně roste s počtem zatěžovacích stavů. Pokud tak například vybereme 50 kombinací zatížení, provede se také 50 návrhů výztuže. Posouzení ovšem zahrnuje veškeré možnosti.

Výběrová metoda

Ze zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků, které jsme vybrali v dialogu 1.1 *Základní údaje*, se vytvoří obálka vnitřních sil. Vyšetří se 16 kombinačních možností extrémních

hodnot. Rozdíl oproti analýze extrémních hodnot kombinací výsledků v RFEMu je přitom následující: vyšetří se také extrémní stavy základních napětí vyvozené nejen maximálními základními vnitřními silami, ale také jejich společným působením (např. $m_x + m_{xy}$). Obálka z 16 možných kombinací extrémních hodnot je pak základem pro výpočet výztuže. Pro stanovení výztuže tak proběhne 16 výpočetních cyklů. Při vyšším počtu zatěžovacích stavů, kombinací zatížení či kombinací výsledků zůstává časová náročnost výpočtu v přijatelných mezích.

Vzhledem k tomu, že obálka vnitřních sil se sestavuje z 16 extrémních hodnot, může se za určitých okolností stát, že nebudou odhaleny nejméně příznivé kombinace, které by vyplynuly při zpracování zatěžovacích stavů řádek po řádku komplexní metodou. Kritické jsou přitom kombinace, které obsahují zatěžovací stavy s ortogonálním směrem působení. V takovém případě doporučujeme provést kontrolní výpočet komplexní metodou.

Kombinační metoda

Před výpočtem se zjistí, jaký je počet posouzení, která bude třeba provést v každém mezním stavu na základě zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků vybraných v dialogu 1.1 *Základní údaje*. Jak jsme uvedli při popisu *komplexní metody*, provádí se pro každý zatěžovací stav, resp. každou kombinaci zatížení samostatné posouzení. V případě kombinace výsledků je zapotřebí provést 16 výpočtů možných kombinací extrémních hodnot základních vnitřních sil. Pokud tak např. vybereme 1 kombinaci výsledků a 5 kombinací zatížení, dostaneme se k celkovému počtu $16 + 5 = 21$ výpočetních cyklů. Tento počet přesahuje předem nastavených 20 variant vnitřních sil, a proto se při posouzení uplatní *výběrová metoda*.

V příslušném vstupním políčku můžeme stanovit horní hranici, kterou počet variant nesmí překročit, má-li se analýza provést přesnou komplexní metodou.

Kombinační metoda tak představuje kompromis mezi přesností výsledků a rychlostí výpočtu.

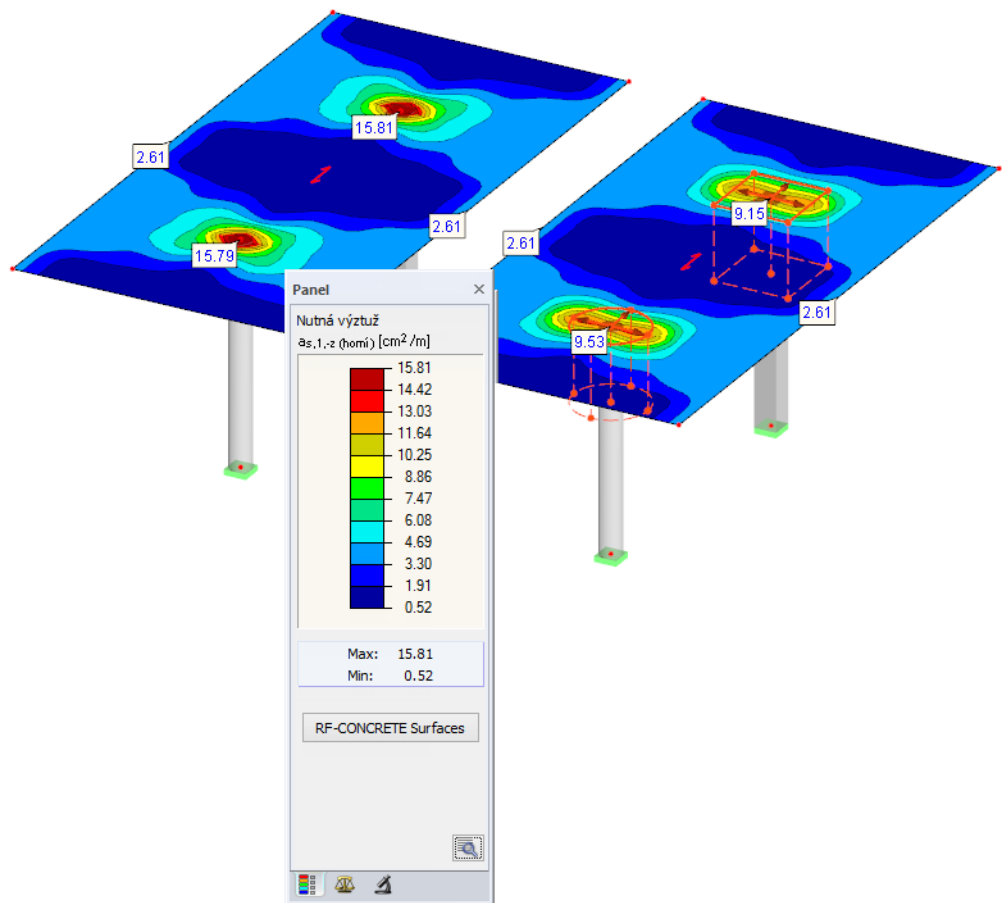
Průběh vnitřních sil použitý pro návrh

Použití průměrované vnitřní síly

Zpravidla se při posouzení vychází z vnitřních sil, které se průměrují pro jednotlivé plochy: RF-CONCRETE Surfaces transformuje momenty a normálové síly do směrů podélné výztuže a pak provede posouzení (viz kapitola 2.5.1, strana 46).

Jestliže zaškrtneme políčko v této sekci, použijí se při posouzení vnitřní síly z oblastí průměrování stanovených v RFEMu. Průměrované výsledky umožňují zmírnit singularitu a zohlednit v modelu lokální redistribuční účinky (viz obr. 4.2).

Oblasti průměrování popisujeme v kapitole 9.7.3 manuálu k hlavnímu programu RFEM.



Obr. 4.2: Horní výztuž v případě nevyhlazených vnitřních sil (vlevo) a v případě oblastí průměrování nad sloupy (vpravo)

Použití vnitřní síly bez vlivu žebra

V RFEMu můžeme deskový nosník modelovat jako plochu s excentricky připojeným prutem typu „žebro“. Vnitřní síly v deskovém nosníku sestávající z podílu plochy a prutu se řeší tak, že se vnitřní síly plochy integrují do vnitřních sil žebra.

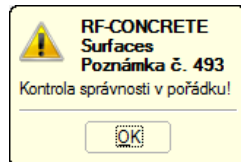
Zaškrtnutí políčko v této sekci má vliv na to, zda se budou při posouzení plochy uvažovat vnitřní síly plochy přiřazené k silám v žebře. Předem je nastaveno posouzení s příspěvkem žebra.

4.2 Kontrola

Kontrola

Před výpočtem doporučujeme zkontrolovat správnost zadaných údajů. Kontrolu lze spustit z každého vstupního dialogu v modulu RF-CONCRETE Surfaces pomocí tlačítka [Kontrola].

Při kontrole se ověří, zda jsou data, která posouzení vyžaduje, úplná a zda jsou logicky definovány vztahy mezi nimi. Pokud kontrola neodhalí žádné chyby, zobrazí se následující hlášení:



Obr. 4.3: Kontrola správnosti

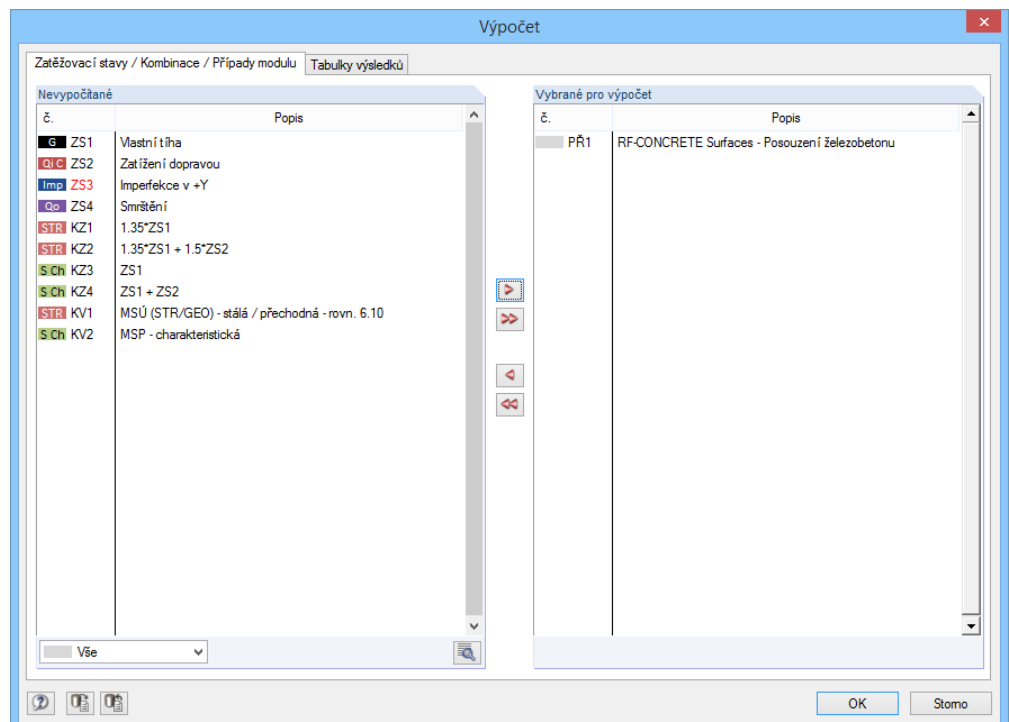
4.3 Spuštění výpočtu

Výpočet

Z každého vstupního dialogu modulu RF-CONCRETE Surfaces lze spustit [Výpočet] pomocí stejnojmenného tlačítka.

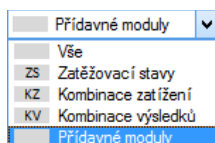
Modul RF-CONCRETE Surfaces nejdříve vyhledá výsledky příslušných zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a výsledků. Pokud je nenajde, spustí se nejdříve v RFEMu výpočet rozhodujících vnitřních sil.

Posouzení lze spustit také z uživatelského prostředí RFEMu. Návrhové případy z přídatných modulů se totiž zobrazí v dialogu *Výpočet* (který otevřeme z hlavní nabídky *Výpočet* → *Vybrat pro výpočet*) v seznamu zatěžovacích stavů a kombinací zatížení.


 Obr. 4.4: Dialog *Výpočet*

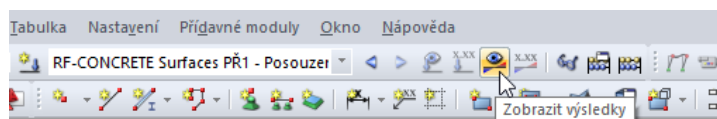
Pokud v seznamu *Nevypočítané* chybí návrhové případy z modulu RF-CONCRETE Surfaces, je třeba nastavit pod seznamem volbu *Vše* nebo *Přídavné moduly*.

Tlačítkem [▶] převedeme vybrané návrhové případy do seznamu vpravo. Výpočet pak spustíme pomocí tlačítka [OK].





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

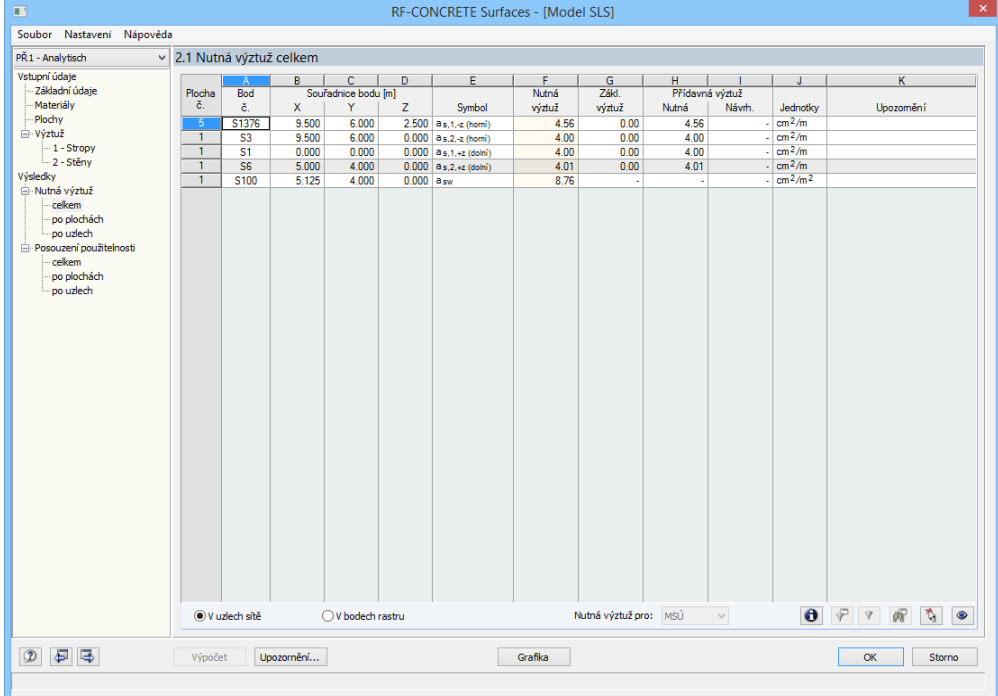


Obr. 4.5: Přímý výpočet návrhového případu z modulu RF-CONCRETE Surfaces v hlavním programu RFEM

Otevře se dialog, v němž lze sledovat průběh posouzení.

5. Výsledky

Okamžitě po skončení výpočtu se zobrazí dialog 2.1 *Nutná výztuž celkem*.



Plocha S.	Bod e.	X	Y	Z	Symbol	Nutná výztuž	Zákl. výztuž	Přídavná výztuž Nutná	Návrh.	Jednotky	Upozornění
5	S1376	9 500	6 000	2 500	As.1-c (norm)	4.56	0.00	4.56	-	cm ² /m	
1	S3	9 500	6 000	0.000	As.2-c (norm)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S1	0.000	0.000	0.000	As.1-c (dolní)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S6	5.000	4.000	0.000	As.2-c (dolní)	4.01	0.00	4.01	-	cm ² /m	
1	S100	5.125	4.000	0.000	Asw	8.76	-	-	-	cm ² /m ²	

Obr. 5.1: Výstupní dialog

Ve výstupních dialogích 2.1 až 2.3 se zobrazí posouzení mezního stavu únosnosti seřazená podle různých kritérií.

Dialogy 3.1 až 3.3 nám podávají informace o posouzeních v mezním stavu použitelnosti.

Všechny dialogy lze otevřít tak, že klikneme přímo na jejich název v navigátoru. Uživatel může mezi nimi přepínat také pomocí vlevo znázorněných tlačítek nebo pomocí funkčních kláves [F2] a [F3].

Pod tabulkou se nachází přepínač, pomocí něhož určíme, zda se mají výsledná data zobrazit v *uzlech sítě* prvků nebo v *bodech rastru*. Výsledky v uzlech sítě prvků spočítá přímo výpočetní jádro, výsledky v bodech rastru se získají interpolací výsledků v uzlech sítě prvků.

Tlačítkem [OK] výsledky uložíme. Modul RF-CONCRETE Surfaces se zavře a my se vrátíme do hlavního programu.

V kapitole 5 *Výsledky* postupně popíšeme jednotlivé výstupní dialogy tak, jak jdou za sebou. Vyhodnocení a kontrole výsledků je věnována následující kapitola 6 *Vyhodnocení výsledků* na straně 177.



V uzlech sítě
 V bodech rastru

OK

5.1 Nutná výztuž celkem

V tomto dialogu se zobrazí maximální průřezy výztuže všech posuzovaných ploch, které program spočítal na základě vnitřních sil ze zatěžovacích stavů, kombinací zatížení a kombinací výsledků vybraných pro posouzení mezního stavu únosnosti.

2.1 Nutná výztuž celkem

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Symbol	Nutná výztuž	Zákl. výztuž	Přídavná výztuž		Jednotky	Upozornění
		X	Y	Z				Nutná	Návrh.		
5	S1376	9.500	6.000	2.500	B _{s,1,-z} (horní)	4.56	0.00	4.56	-	cm ² /m	
1	S3	9.500	6.000	0.000	B _{s,2,-z} (horní)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S1	0.000	0.000	0.000	B _{s,1,-z} (dolní)	4.00	0.00	4.00	-	cm ² /m	
1	S6	5.000	4.000	0.000	B _{s,2,-z} (dolní)	4.01	0.00	4.01	-	cm ² /m	
1	S100	5.125	4.000	0.000	B _{sw}	8.76	-	-	-	cm ² /m ²	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Nutná výztuž pro: MSÚ

Obr. 5.2: Dialog 2.1 Nutná výztuž celkem

Plocha č.

V daném sloupci se zobrazí čísla ploch, na nichž se nacházejí rozhodující body.

Bod č.

V uvedených bodech sítě konečných prvků, resp. v bodech rastru byla zjištěna největší nutná výztuž pro každou stranu a směr. Druh výztuže je uveden ve sloupci E *Symbol*.

Body sítě konečných prvků *S* se generují automaticky. Body rastru *R* oproti tomu představují vlastnost plochy, kterou lze ovlivnit v hlavním programu RFEM. Pro každou plochu může uživatel vytvářet různé rastry k zobrazení výsledků. Příslušnou funkci popisujeme v kapitole 8.12 manuálu k programu RFEM.

Souřadnice bodu X/Y/Z

V těchto 3 sloupcích se uvádí souřadnice rozhodujících bodů sítě prvků nebo bodů rastru.

Symbol

Ve sloupci E se zobrazí druh výztuže. U všech 4 (resp. 6) podélných výztuží se vždy uvede směr (1, 2 a případně 3) a strana plochy (*horní* a *dolní*).

Směry výztuže se určují v záložce *Uspořádání výztuže* v dialogu 1.4 *Výztuž* (viz kapitola 3.4.2, strana 149).

Horní výztuž se nachází na straně plochy ve směru záporné lokální osy z dané plochy (-z), a dolní výztuž tudíž ve směru kladné osy z (+z). Na obr. 3.29 na straně 150 jsou znázorněny osové systémy ploch.

Smyková výztuž je označena jako a_{sw} .



Horní a dolní strana

Nutná výztuž

V tomto sloupci se zobrazí průřezy výztuže, které jsou nutné pro posouzení v mezním stavu únosnosti.

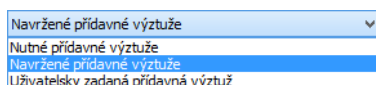
Základní výztuž

V tomto sloupci se zobrazí základní výztuž, kterou uživatel definoval v záložce *Podélná výztuž* v dialogu *Výztuž* (viz kapitola 3.4.3, strana 153).

Přídavná výztuž

Pokud se provádí čistě posouzení mezního stavu únosnosti, pak se ve sloupci *Nutná* uvede rozdíl mezi nutnou výztuží (sloupec F) a navrženou základní výztuží (sloupec H).

Pokud se provádějí také posouzení v mezním stavu použitelnosti, načtou se v tomto sloupci na základě údajů zadaných v záložce *Podélná výztuž* v dialogu 1.4 *Výztuž* (viz kapitola 3.4.3, strana 153) průřezy výztuže, které jsou potřeba ke splnění posouzení mezního stavu použitelnosti. Ve sloupci *Návrhová* se zobrazí výztuž, kterou jsme zadali jako přídavnou výztuž pro posouzení mezního stavu použitelnosti v záložce *Podélná výztuž* v dialogu *Výztuž*.

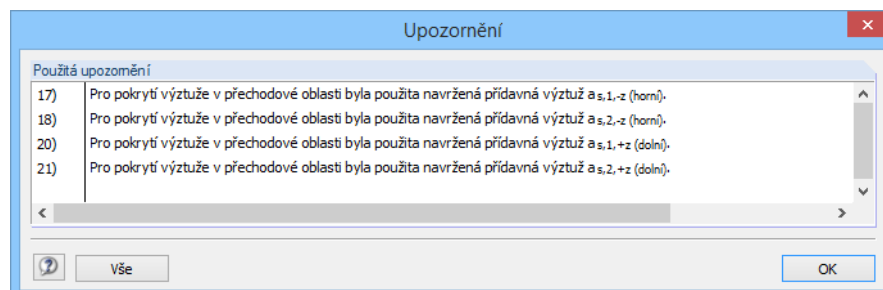


Upozornění

Poznámka v posledním sloupci upozorňuje na nedimenzovatelnost nebo na jiné zvláštní skutečnosti, které nastaly v průběhu posouzení. Čísla, která v tomto sloupci vidíme, odkazují na stavový řádek, kde jsou poznámky blíže rozvedeny.

Upozornění...

Veškerá [Upozornění...] aktuálního návrhového případu si lze souhrnně prohlédnout, pokud klikneme na vlevo znázorněné tlačítko. Zobrazí se informační dialog s přehledem poznámek.



Obr. 5.3: Dialog *Upozornění*



Funkci tlačítek v dolní části dialogu popisujeme v kapitole 6 *Vyhodnocení výsledků* na straně 177.

5.2 Nutná výztuž po plochách

2.2 Nutná výztuž po plochách

Plocha č.	A Bod č.	B C D Souřadnice bodu [m]			E Symbol	F Nutná výztuž	G Zákl. výztuž	H Přidavná výztuž		J Jednotky	K Upozornění
		X	Y	Z				Nutná	Návrh.		
1	S20	6.000	6.000	0.000	ϕ _{s,1-z} (horní)	5.24	3.35	1.89	2.18	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (horní)	6.67	3.35	3.32	3.32	cm ² /m	
	S169	5.110	4.000	0.000	ϕ _{s,1-z} (dolní)	9.79	3.35	6.44	6.44	cm ² /m	
	S6	5.000	4.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (dolní)	16.67	3.35	13.32	13.32	cm ² /m	
2	S188	6.890	4.000	0.000	ϕ _{sw}	21.14	-	-	-	cm ² /m ²	
	S678	9.926	5.785	0.000	ϕ _{s,1-z} (horní)	5.53	3.35	2.18	2.18	cm ² /m	
	S678	9.926	5.785	0.000	ϕ _{s,2-z} (horní)	6.28	3.35	2.93	3.32	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{s,1-z} (dolní)	0.79	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
	S74	9.500	4.500	0.000	ϕ _{s,2-z} (dolní)	2.59	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
3	S2	0.000	6.000	0.000	ϕ _{s,1-z} (horní)	2.49	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S748	0.000	3.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (horní)	3.77	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S717	0.000	0.000	0.500	ϕ _{s,1-z} (dolní)	2.66	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S13	0.000	2.000	2.500	ϕ _{s,2-z} (dolní)	2.49	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S1	0.000	0.000	0.000	ϕ _{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
4	S17	9.500	0.000	4.000	ϕ _{s,1-z} (horní)	2.49	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S110	6.206	0.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (horní)	5.54	5.24	0.30	-	cm ² /m	
	S821	9.500	0.000	0.500	ϕ _{s,1-z} (dolní)	3.99	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S1	0.000	0.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (dolní)	2.49	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S1	0.000	0.000	0.000	ϕ _{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
5	S1054	9.500	6.000	2.500	ϕ _{s,1-z} (horní)	7.25	5.24	2.01	-	cm ² /m	
	S821	9.500	0.000	0.500	ϕ _{s,2-z} (horní)	3.42	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{s,1-z} (dolní)	14.45	5.24	9.21	-	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{s,2-z} (dolní)	4.01	5.24	0.00	-	cm ² /m	
	S3	9.500	6.000	0.000	ϕ _{sw}	8.76	-	-	-	cm ² /m ²	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
Nutná výztuž pro: MSÚ

Obr. 5.4: Dialog 2.2 Nutná výztuž po plochách

V tomto dialogu se zobrazí maximální průřezy výztuže, které jsou nutné pro jednotlivé posuzované plochy. Informace k jednotlivým sloupcům najdeme v předchozí kapitole 5.1.

5.3 Nutná výztuž po uzlech

2.3 Nutná výztuž po uzlech

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Symbol	Nutná výztuž	Zákl. výztuž	Přídavná výztuž		Jednotky	Upozornění
		X	Y	Z				Nutná	Návrh.		
1	S1	0.000	0.000	0.000	$\sigma_{s,1,-z}$ (horní)	0.00	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,-z}$ (horní)	0.00	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,1,+z}$ (dolní)	0.52	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,+z}$ (dolní)	2.59	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					σ_{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
					$\sigma_{1,-z}$ (horní)	-9.486	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{2,-z}$ (horní)	-9.744	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{1,+z}$ (dolní)	4.035	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{2,+z}$ (dolní)	4.446	-	-	-	kN/m	
					V_{Ed}	43.721	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,c}$	96.114	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,max}$	619.878	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,s}$	0.000	-	-	-	kN/m	
					θ	21.801	-	-	-	°	
1	S2	0.000	6.000	0.000	$\sigma_{s,1,-z}$ (horní)	2.59	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,-z}$ (horní)	0.68	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,1,+z}$ (dolní)	2.59	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,+z}$ (dolní)	1.12	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					σ_{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
					$\sigma_{1,-z}$ (horní)	28.770	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{2,-z}$ (horní)	30.986	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{1,+z}$ (dolní)	67.294	-	-	-	kN/m	
					$\sigma_{2,+z}$ (dolní)	50.860	-	-	-	kN/m	
					V_{Ed}	60.140	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,c}$	84.469	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,max}$	619.881	-	-	-	kN/m	
					$V_{Rd,s}$	0.000	-	-	-	kN/m	
					θ	21.801	-	-	-	°	
1	S3	9.500	6.000	0.000	$\sigma_{s,1,-z}$ (horní)	3.51	3.35	0.16	2.18	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,-z}$ (horní)	6.67	3.35	3.32	3.32	cm ² /m	
					$\sigma_{s,1,+z}$ (dolní)	3.92	3.35	0.57	6.44	cm ² /m	
					$\sigma_{s,2,+z}$ (dolní)	0.78	3.35	0.00	0.00	cm ² /m	
					σ_{sw}	0.00	-	-	-	cm ² /m ²	
					$\sigma_{1,-z}$ (horní)	159.398	-	-	-	kN/m	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Nutná výztuž pro: MSÚ

Obr. 5.5: Dialog 2.3 Nutná výztuž po uzlech

V uzlech sítě
 V bodech rastru

V tomto dialogu se načtou maximální průřezy výztuže ve všech bodech sítě prvků, resp. v bodech rastru každé plochy. Popis jednotlivých sloupců najdeme v kapitole 5.1.

Kromě podélných a smykových výztuží se tu zobrazí hodnoty zatížení a únosností, které mají význam pro posouzení. Pro normu EN 1992-1-1 to jsou:

Symbol	Význam
$\sigma_{1,-z}$ (horní)	Normálová, resp. membránová síla pro posouzení výztuže v prvním směru výztuže na horní straně plochy
$\sigma_{2,-z}$ (horní)	Normálová, resp. membránová síla pro posouzení výztuže ve druhém směru výztuže na horní straně plochy
$\sigma_{1,+z}$ (dolní)	Jako $\sigma_{1,-z}$ (horní), ovšem pro dolní stranu plochy
$\sigma_{2,+z}$ (dolní)	Jako $\sigma_{2,-z}$ (horní), ovšem pro dolní stranu plochy
$m_{1,-z}$ (horní) $m_{2,-z}$ (horní)	Pouze u modelu typu 2D - XY ($u_z/\varphi_x/\varphi_y$): moment pro posouzení výztuže v prvním, resp. ve druhém směru výztuže na horní straně plochy
$m_{1,-z}$ (dolní) $m_{2,-z}$ (dolní)	Jako $m_{1,-z}$ (horní) / $m_{2,-z}$ (horní), ovšem pro dolní stranu plochy
V_{Ed}	Návrhová hodnota působící posouvající síly
$V_{Rd,c}$	Únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže
$V_{Rd,max}$	Maximální posouvající síla, kterou prvek může přenést, omezená rozdělením tlakových diagonál
$V_{Rd,s}$	Posouvající síla, kterou může převzít smyková výztuž na mezi kluzu
Théta	Úhel sklonu tlakové diagonály betonu θ

Tabulka 5.1: Veličiny ve výstupní tabulce 2.3 pro normu EN 1992-1-1



Vyhledávací funkce, kterou spustíme pomocí vlevo znázorněného tlačítka, umožňuje snáze a rychleji vyhledat určitý bod sítě konečných prvků nebo rastrový bod (viz obr. 6.7, strana 183).

5.4 Posouzení použitelnosti celkem

V horní části tohoto dialogu se nachází tabulka s přehledem rozhodujících posouzení mezního stavu použitelnosti. V dolní části se zobrazí mezivýsledky bodu sítě prvků, resp. rastrového bodu právě vybraného v horní části dialogu, včetně všech důležitých parametrů. Jednotlivé položky rozbalíme kliknutím na [-] a opět zabalíme pomocí [+].

3.1 Posouzení použitelnosti Celkem

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]	Zatížení	Symbol	Návrh. hodnot	Mezní hodnot	Jednotka	Poměr	Poznámka
5	S3	9,500 6,000 0,000	KZ4	σ_c	-18,37	-13,50	N/mm ²	1,37	222
5	S1038	9,500 6,000 2,000	ZS1	σ_a	380,62	400,00	N/mm ²	0,96	
1	S3	9,500 6,000 0,000	ZS1	$\bar{\sigma}_s, \min$	3,35	4,35	cm ² /m	1,30	208
5	S1038	9,500 6,000 2,000	ZS1	lim \bar{d}_s	10,0	4,6	mm	2,16	213
5	S1038	9,500 6,000 2,000	ZS1	lim s_i	0,125	0,050	m	2,53	217
5	S1038	9,500 6,000 2,000	ZS1	w _k	0,449	0,300	mm	1,50	219

V uzlech sítě V bodech rastru Max: 2.53 > 1

Mezivýsledky - plocha č. 5 - Bod sítě č. 3

- [-] Stanovení napětí betonu v tlaku
 - [-] Dolní povrch (+z)
 - V betonu se objevují trhliny. Podélná výtuz je aktivována.
 - Napětí betonu v tlaku ve směru tlakové diagonály na pro $\sigma_c, \text{tlak. diag.}$ -0,08 N/mm²
 - Rozhodující síla tlakové diagonály betonu $\tau_{\text{tlak.-z}}$ -2,95 kNm/m
 - Pruževná plocha betonu A_c 700,00 cm²
 - [-] Horní povrch (-z)
 - Na této straně desky nedochází k tvorbě trhlín.
- [-] Stanovení napětí betonu v tlaku v jednotlivých směrech výtuzě
 - [-] Dolní povrch (+z)
 - Napětí betonu v tlaku v 1. směru $\sigma_{c,+z,\phi 1}$ 0,00 N/mm²
 - Napětí betonu v tlaku v 2. směru $\sigma_{c,+z,\phi 2}$ 0,00 N/mm²
 - [-] Horní povrch (-z)
 - Napětí betonu v tlaku v 1. směru $\sigma_{c,-z,\phi 1}$ -18,37 N/mm²
 - Napětí betonu v tlaku v 2. směru $\sigma_{c,-z,\phi 2}$ 0,00 N/mm²
 - Maximální napětí betonu v tlaku $\max \sigma_c$ -18,37 N/mm²
- [-] Přípustné napětí betonu v tlaku
 - Součinitel pro omezení napětí α 0,450
 - Charakteristická pevnost betonu f_{ck} 30,00 N/mm²
 - Přípustné napětí betonu v tlaku $p_{\text{řip}} \sigma_c$ -13,50 N/mm²
- [-] Posouzení
 - Maximální napětí betonu v tlaku $\max \sigma_c$ -18,37 N/mm²

Obr. 5.6: Dialog 3.1 Posouzení použitelnosti celkem

Na obr. 5.6 můžeme vidět daný výstupní dialog v případě posouzení mezního stavu použitelnosti analytickou metodou. V kapitole 5.7 na straně 174 najdeme popis výstupních tabulek, které se uživateli zobrazí po skončení nelineárního výpočtu mezního stavu použitelnosti.

Metoda posouzení se stanoví v dialogu 1.1 *Základní údaje*, v záložce *Mezní stav použitelnosti* (viz obr. 3.8, strana 130).

Plocha č.

V daném sloupci se zobrazí čísla ploch, na nichž se nacházejí rozhodující body.

Bod č.

V uvedených bodech sítě konečných prvků, resp. bodech rastru byla zjištěna v případě požadovaných posouzení největší využití. Druh posouzení se uvede ve sloupci F *Symbol*.

Body sítě konečných prvků S se generují automaticky. Rastrové body R můžeme nastavit v RFEMu (viz kapitola 8.12 manuálu k hlavnímu programu RFEM).

Souřadnice bodu X/Y/Z

V těchto 3 sloupcích se uvádí souřadnice rozhodujících bodů sítě prvků nebo bodů rastru.

Zatěžovací stav

Ve sloupci E se zobrazí zatěžovací stavy, resp. kombinace zatížení nebo kombinace výsledků, jejichž vnitřní síly vyvozují maximální využití v příslušném posouzení mezního stavu použitelnosti.

Symbol

Ve sloupci F je uveden druh posouzení mezního stavu použitelnosti. V případě analytické metody posouzení se zobrazí až 6 typů posouzení. Tyto typy jsou podrobně popsány na příkladu v kapitole 2.6.4 na straně 76.

Jednotlivé typy posouzení uvádíme v následující tabulce:

Typ	Posouzení MSP
σ_c	Omezení tlakového napětí v betonu (→ kapitola 2.6.4.7, strana 76) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.20, strana 144)
σ_s	Omezení napětí ve výztuži (→ kapitola 2.6.4.8, strana 79) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.19, strana 141)
$a_{s,min}$	Minimální výztuž pro omezení šířky trhlin (→ kapitola 2.6.4.9, strana 80) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 2.97, strana 81)
lim d_s	Omezení průměru prutu (→ kapitola 2.6.4.10, strana 83) podle zadání v dialogu 1.4 <i>Výztuž</i> (viz obr. 3.32, strana 153)
lim s_i	Omezení vzdálenosti prutu (→ kapitola 2.6.4.11, strana 85) podle zadání v dialogu 1.4 <i>Výztuž</i> (viz obr. 3.32, strana 153)
w_k	Omezení šířky trhlin (→ kapitola 2.6.4.12, strana 86) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.19, strana 141)

Tabulka 5.2: Jednotlivá posouzení mezního stavu použitelnosti analytickou metodou

Návrhová hodnota

V tomto sloupci se načtou hodnoty, které jsou ze všech ploch rozhodující pro posouzení v mezním stavu použitelnosti.

Mezní hodnota

Mezní hodnoty se určují na základě normy a stavu namáhání. V kapitole 2.6.4 na straně 76 výpočet mezních hodnot popisujeme.

Poměr


Ve sloupci J se uvádí poměr návrhové hodnoty (sloupec G) a mezní hodnoty (sloupec H). Pokud je využití větší než 1, posouzení není splněno. Políčka v tomto sloupci jsou částečně podbarvena. Délka barevného pruhu přitom odpovídá míře využití průřezu.

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti nemusí být splněny všechny typy posouzení (viz vysvětlivky na obr. 3.10, strana 133).

Poznámka

Poznámka v posledním sloupci upozorňuje na nedimenzovatelnost nebo na jiné zvláštní skutečnosti, které nastaly v průběhu posouzení. Čísla, která v tomto sloupci vidíme, odkazují na stavový řádek, kde jsou poznámky blíže rozvedeny.

Veškerá [Upozornění...] aktuálního návrhového případu si lze souhrnně prohlédnout, pokud klikneme na vlevo znázorněné tlačítko. Zobrazí se informační dialog s přehledem poznámek (viz obr. 5.3, strana 167).

Max: ≤ 1 



Upozornění...



Funkci tlačítek v tomto dialogu popisujeme v kapitole 6 *Vyhodnocení výsledků* na straně 177.

5.5 Posouzení použitelnosti po plochách

3.2 Nelineární výpočet po plochách

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Posouzení				Poznámka
		X	Y	Z			Návrh. hodnot	Mezní hodnot	Jednotka	Poměr	
1	S154	5.000	3.226	0.000	KZ4	U _{z,lokální}	34.888	35.000	mm	1.00	
	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	w _k	0.225	0.300	mm	0.75	
	S6	5.000	4.000	0.000	KZ4	σ _s	-10.23	-13.50	N/mm ²	0.76	
	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	σ _s	310.85	400.00	N/mm ²	0.78	
2	S81	9.500	3.000	0.000	KZ4	U _{z,lokální}	10.900	60.000	mm	0.19	
	S677	9.876	5.378	0.000	KZ4	w _k	0.122	0.300	mm	0.41	
	S677	9.876	5.378	0.000	KZ4	σ _s	-5.54	-13.50	N/mm ²	0.42	
	S705	10.884	4.020	0.000	KZ4	σ _s	85.80	400.00	N/mm ²	0.22	
3	S808	0.000	3.987	1.005	KZ4	U _{z,lokální}	-1.523	40.000	mm	0.04	
	S725	0.000	0.500	4.000	ZS2	w _k	0.197	0.300	mm	0.66	

V uzlech sítě V bodech rastru Max: 1.00 ≤ 1

Mezivýsledky - plocha č. 1 - Bod sítě č. 154

Defomace

<input type="checkbox"/> Globální defomace			
Celková defomace	u	35.279	mm
Ve směru osy X	u _x	-0.444	mm
Ve směru osy Y	u _y	0.719	mm
Ve směru osy Z	u _z	35.269	mm
<input type="checkbox"/> Lokální defomace			
Defomace vztažená na posunutou rovnoběžnou plochu v místě minimální defomace v uzlu			
Ve směru z	U _{z,lokální}	34.888	mm

Základní vnitřní síly - nelineární

Momenty

Ve směru osy X	m _x	4.29	kNm/m
Ve směru osy Y	m _y	64.70	kNm/m
Krouticí moment	m _{xy}	-2.51	kNm/m

Posouvající síly

Ve směru osy X	v _x	5.330	kN/m
Ve směru osy Y	v _y	28.499	kN/m

Membránové síly

Ve směru osy X	n _x	24.693	kN/m
Ve směru osy Y	n _y	153.260	kN/m
Podélné posouvající síly	n _{xy}	3.584	kN/m

Výpočet šířky třtin

Obr. 5.7: Dialog 3.2 *Posouzení použitelnosti po plochách*

V tomto dialogu se zobrazí maximální využití v případě jednotlivých posouzení mezního stavu použitelnosti, která jsou rozhodující pro každou posuzovanou plochu. Jednotlivé sloupce popisujeme v předchozí kapitole 5.4.

5.6 Posouzení použitelnosti po uzlech

3.3 Nelineární výpočet po uzlech

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Návrh. hodnot	Posouzení			Poznámka
		X	Y	Z				Mezní hodnot	Jednotka	Poměr	
1	S1	0.000	0.000	0.000	KZ4	Uz, lokální	0.112	35.000	mm	0.01	
					ZS2	w _k	0.000	0.300	mm	0.00	
					KZ4	σ _c	-0.56	-13.50	N/mm ²	0.05	
					ZS2	σ _s	-10.77	400.00	N/mm ²	0.03	
1	S2	0.000	6.000	0.000	KZ4	Uz, lokální	0.321	35.000	mm	0.01	
					KZ4	w _k	0.066	0.300	mm	0.23	
					KZ4	σ _c	-2.35	-13.50	N/mm ²	0.18	
					KZ4	σ _s	57.75	400.00	N/mm ²	0.15	
1	S3	9.500	6.000	0.000	ZS2	Uz, lokální	0.253	35.000	mm	0.01	
					KZ4	w _k	0.041	0.300	mm	0.14	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Max: 1.00 ≤ 1

Mezivýsledky - plocha č. 1 - Bod sítě č. 1

Deformace

<input type="checkbox"/> Globální deformace			
Celková deformace	u	0.956	mm
Ve směru osy X	u _x	0.583	mm
Ve směru osy Y	u _y	0.576	mm
Ve směru osy Z	u _z	0.493	mm
<input type="checkbox"/> Lokální deformace			
Deformace vztážená na posunutou rovnoběžnou plochu v místě minimální deformace v uzlu			
Ve směru z	Uz, lokální	0.112	mm

Základní vnitřní síly - nelineární

<input type="checkbox"/> Momenty			
Ve směru osy X	m _x	2.17	kNm/m
Ve směru osy Y	m _y	0.75	kNm/m
Krouticí moment	m _{xy}	20.74	kNm/m
<input type="checkbox"/> Posouvající síly			
Ve směru osy X	v _x	-28.648	kN/m
Ve směru osy Y	v _y	-36.139	kN/m
<input type="checkbox"/> Membránové síly			
Ve směru osy X	n _x	-106.350	kN/m
Ve směru osy Y	n _y	-84.279	kN/m
Podélné posouvající síly	n _{xy}	274.320	kN/m

Výpočet šířky trhlín

Obr. 5.8: Dialog 3.3 Posouzení použitelnosti po uzlech

V tomto výstupním dialogu se načtou maximální využití pro všechny body sítě konečných prvků, resp. body rastru každé plochy. Jednotlivé sloupce popisujeme v kapitole 5.4.

Vyhledávací funkce, kterou spustíme pomocí vlevo znázorněného tlačítka, umožňuje snáze a rychleji vyhledat určitý bod sítě konečných prvků nebo rastrový bod (viz obr. 6.7, strana 183).



5.7 Nelineární výpočet celkem

V horní části tohoto dialogu se nachází tabulka s přehledem rozhodujících posouzení mezního stavu použitelnosti. V dolní části se zobrazí mezivýsledky bodu sítě prvků, resp. rastrového bodu právě vybraného v horní části dialogu, včetně všech důležitých parametrů. Jednotlivé položky rozbalíme kliknutím na [+] a opět zabalíme pomocí [-].

3.1 Nelineární výpočet Celkem

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Návrh. hodnot	Posouzení			Poznámka
		X	Y	Z				Mezní hodnot	Jednotka	Poměr	
1	S154	5.000	3.226	0.000	KZ4	$u_{z, \text{lokální}}$	34.888	35.000	mm	1.00	
1	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	w_k	0.225	0.300	mm	0.75	
1	S6	5.000	4.000	0.000	KZ4	σ_c	-10.23	-13.50	N/mm ²	0.76	
1	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	σ_s	310.85	400.00	N/mm ²	0.78	

V uzlech sítě V bodech rastru Max: 1.00 ≤ 1

Mezivýsledky - plocha č. 1 - Bod sítě č. 154

- Deformace
 - Globální deformace

Celková deformace	u	35.279	mm
Ve směru osy X	u_x	-0.444	mm
Ve směru osy Y	u_y	0.719	mm
Ve směru osy Z	u_z	35.269	mm
 - Lokální deformace

Deformace vztažená na posunutou rovnoběžnou plochu v místě minimální deformace v uzlu			
Ve směru z	$u_{z, \text{lokální}}$	34.888	mm
- Základní vnitřní síly - nelineární
 - Momenty

Ve směru osy X	m_x	4.29	kNm/m
Ve směru osy Y	m_y	64.70	kNm/m
Krouticí moment	m_{xy}	-2.51	kNm/m
 - Posouvající síly

Ve směru osy X	v_x	5.330	kN/m
Ve směru osy Y	v_y	28.499	kN/m
 - Membránové síly

Ve směru osy X	n_x	24.693	kN/m
Ve směru osy Y	n_y	153.260	kN/m
Podélné posouvající síly	n_{xy}	3.584	kN/m
- Výpočet šířky trhlin

Obr. 5.9: Dialog 3.1 Nelineární výpočet celkem

Na obr. 5.9 můžeme vidět dialog s výsledky v případě nelineárního výpočtu mezního stavu použitelnosti. Metoda posouzení se stanoví v dialogu 1.1 *Základní údaje*, v záložce *Mezní stav použitelnosti* (viz obr. 3.8, strana 130).

Jednotlivé sloupce popisujeme v kapitole 5.4 na straně 170.

Symbolem označují následující typy posouzení:

Symbol	Posouzení MSP
$u_{z, \text{local}}$	Deformace ve stavu s trhlinami (→ kapitola 2.8.2.4, strana 110) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i>
w_k	Omezení šířky trhlin (→ kapitola 2.6.4.12, strana 86) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.19, strana 141)
σ_c	Omezení napětí betonu v tlaku (→ kapitola 2.6.4.7, strana 76) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.20, strana 144)
σ_s	Omezení napětí v betonářské výztuži (→ kapitola 2.6.4.8, strana 79) podle zadání v dialogu 1.3 <i>Plochy</i> (viz obr. 3.20, strana 144)

Tabulka 5.3: Posouzení mezního stavu použitelnosti nelineární metodou



Hodnoty deformací, šířek trhlin a napětí jsou výslednými hodnotami ve stavu II.

Šířky trhlin w_k , které najdeme spolu s ostatními mezivýsledky v dolní části dialogu, jsou vztaženy ke směřům výztuže. Hodnota $w_{k,l-z}$ (horní) tak například udává šířku trhliny pro první směr výztuže na horní straně plochy; trhlina je kolmá na první směr výztuže.

5.8 Nelineární výpočet po plochách

3.2 Nelineární výpočet po plochách

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Návrh. hodnot	Mezní hodnot	Jednotka	Poměr	Poznámka
		X	Y	Z							
1	S154	5.000	3.226	0.000	KZ4	Uz.lokální	34.888	35.000	mm	1.00	
	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	w_k	0.225	0.300	mm	0.75	
	S6	5.000	4.000	0.000	KZ4	σ_c	-10.23	-13.50	N/mm ²	0.76	
	S162	5.000	3.890	0.000	KZ4	σ_s	310.85	400.00	N/mm ²	0.78	
2	S81	9.500	3.000	0.000	KZ4	Uz.lokální	10.900	60.000	mm	0.19	
	S677	9.876	5.378	0.000	KZ4	w_k	0.122	0.300	mm	0.41	
	S677	9.876	5.378	0.000	KZ4	σ_c	5.54	-13.50	N/mm ²	0.42	
	S705	10.884	4.020	0.000	KZ4	σ_s	85.80	400.00	N/mm ²	0.22	
3	S808	0.000	3.987	1.005	KZ4	Uz.lokální	-1.523	40.000	mm	0.04	
	S725	0.000	0.500	4.000	ZS2	w_k	0.197	0.300	mm	0.66	

V uzlech sítě V bodech rastru Max: 1.00 ≤ 1

Mezivýsledky - plocha č. 1 - Bod sítě č. 154

Defomace

- Globální defomace

Celková defomace	u	35.279	mm
Ve směru osy X	u _x	-0.444	mm
Ve směru osy Y	u _y	0.719	mm
Ve směru osy Z	u _z	35.269	mm
- Lokální defomace

Defomace vztažená na posunutou rovnoběžnou plochu v místě minimální defomace v uzlu			
Ve směru z	Uz.lokální	34.888	mm

Základní vnitřní síly - nelineární

- Momenty

Ve směru osy X	m _x	4.29	kNm/m
Ve směru osy Y	m _y	64.70	kNm/m
Krouticí moment	m _{xy}	-2.51	kNm/m
- Posouvající síly

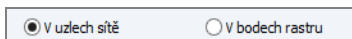
Ve směru osy X	v _x	5.330	kN/m
Ve směru osy Y	v _y	28.499	kN/m
- Membránové síly

Ve směru osy X	n _x	24.693	kN/m
Ve směru osy Y	n _y	153.260	kN/m
Podélné posouvající síly	n _{xy}	3.584	kN/m

Výpočet šířky trhlin

Obr. 5.10: Dialog 3.2 Nelineární výpočet po plochách

V tomto dialogu se zobrazí maximální využití každé posuzované plochy, zjištěná při jednotlivých posouzeních mezního stavu použitelnosti. Sloupce tabulky popisujeme v kapitole 5.4 a 5.7.



5.9 Nelineární výpočet po uzlech

3.3 Nelineární výpočet po uzlech

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Návrh. hodnot	Posouzení		Poměr	Poznámka
		X	Y	Z				Mezní hodnot	Jednotka		
1	S1	0.000	0.000	0.000	KZ4	Uz.lokální	0.112	35.000	mm	0.01	
					ZS2	w _k	0.000	0.300	mm	0.00	
					KZ4	σ _c	-0.56	-13.50	N/mm ²	0.05	
					ZS2	σ _s	-10.77	400.00	N/mm ²	0.03	
1	S2	0.000	6.000	0.000	KZ4	Uz.lokální	0.321	35.000	mm	0.01	
					KZ4	w _k	0.066	0.300	mm	0.23	
					KZ4	σ _c	-2.35	-13.50	N/mm ²	0.18	
					KZ4	σ _s	57.75	400.00	N/mm ²	0.15	
1	S3	9.500	6.000	0.000	ZS2	Uz.lokální	0.253	35.000	mm	0.01	
					KZ4	w _k	0.041	0.300	mm	0.14	

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Max: 1.00 ≤ 1

Mezivýsledky - plocha č. 1 - Bod sítě č. 1

Deformace

- Globální deformace
 - Celková deformace u 0.956 mm
 - Ve směru osy X u_x 0.583 mm
 - Ve směru osy Y u_y 0.576 mm
 - Ve směru osy Z u_z 0.493 mm
- Lokální deformace
 - Deformace vztážená na posunutou rovnoběžnou plochu v místě minimální deformace v uzlu
 - Ve směru z Uz.lokální 0.112 mm
- Základní vnitřní síly - nelineární
 - Momenty
 - Ve směru osy X m_x 2.17 kNm/m
 - Ve směru osy Y m_y 0.75 kNm/m
 - Krouticí moment m_{xy} 20.74 kNm/m
 - Posouvající síly
 - Ve směru osy X v_x -28.648 kN/m
 - Ve směru osy Y v_y -36.139 kN/m
 - Membránové síly
 - Ve směru osy X n_x -106.350 kN/m
 - Ve směru osy Y n_y -84.279 kN/m
 - Podélné posouvající síly n_{xy} 274.320 kN/m
- Výpočet šířky trhlín

Obr. 5.11: Dialog 3.3 Nelineární výpočet po uzlech

V tomto výstupním dialogu se načtou maximální využití pro všechny body sítě konečných prvků, resp. body rastru každé plochy. Jednotlivé sloupce popisujeme v kapitole 5.4 a 5.7.

Vyhledávací funkce, kterou spustíme pomocí vlevo znázorněného tlačítka, umožňuje snáze a rychleji vyhledat určitý bod sítě konečných prvků nebo rastrový bod (viz obr. 6.7, strana 183).

6. Vyhodnocení výsledků

Výsledky posouzení lze vyhodnotit různými způsoby. Velmi užitečná jsou přitom tlačítka, která se nacházejí ve výstupních dialogích pod tabulkami s výsledky.











3.2 Posouzení použitelnosti po plochách

Plocha č.	Bod č.	Souřadnice bodu [m]			Zatížení	Symbol	Posouzení			Poměr	Poznámka
		X	Y	Z			Návrh. hodnot	Mezní hodnot	Jednotka		
1	S195	7.000	3.890	0.000	KZ4	σ_c	-12.55	-13.50	N/mm ²	0.93	
	S169	5.110	4.000	0.000	KZ4	σ_s	336.46	400.00	N/mm ²	0.85	
	S3	9.500	6.000	0.000	ZS1	$\bar{\sigma}_{s,min}$	3.35	4.35	cm ² /m	1.30	208)
	S3	9.500	6.000	0.000	KZ4	lim d_s	9.0	5.7	mm	1.59	214)
	S598	4.285	4.296	0.000	KZ4	lim s_l	0.150	0.118	m	1.28	215)
2	S598	4.285	4.296	0.000	KZ4	w_k	0.276	0.300	mm	0.93	
	S3	9.500	6.000	0.000	KZ4	σ_c	-7.67	-13.50	N/mm ²	0.57	
	S678	9.926	5.785	0.000	KZ4	σ_s	329.80	400.00	N/mm ²	0.83	
	S9	11.500	3.000	0.000	ZS1	$\bar{\sigma}_{s,min}$	3.35	4.31	cm ² /m	1.29	207) 208) 210)
	S678	9.926	5.785	0.000	KZ4	lim d_s	9.0	6.2	mm	1.46	213) 214)

V uzlech sítě
 V bodech rastru
 Max: 2.53 > 1

Obr. 6.1: Tlačítka pro vyhodnocení výsledků

Tlačítka mají následující funkce:

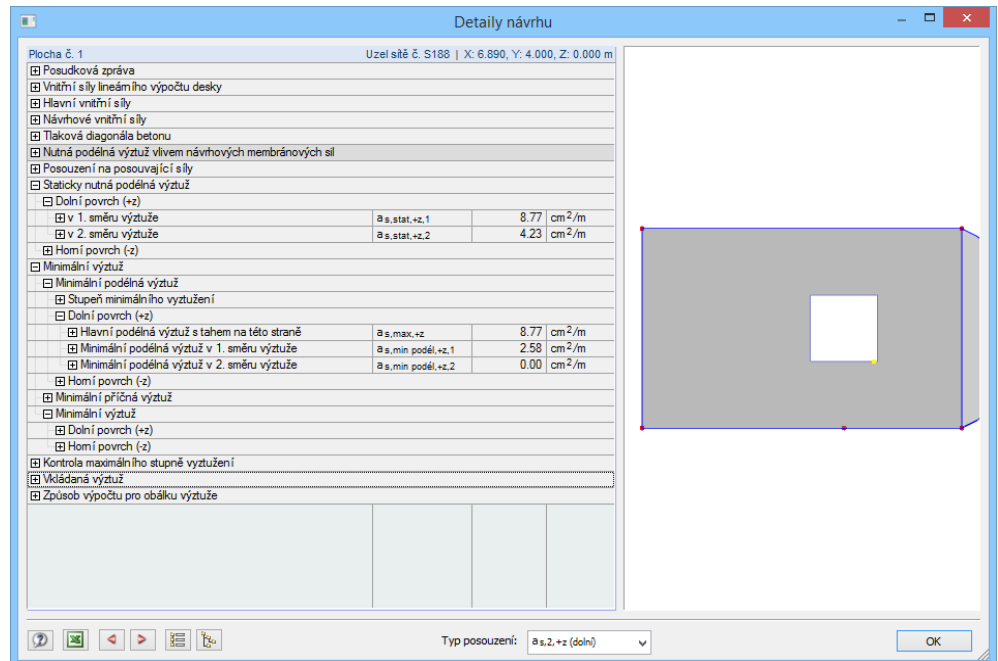
Tlačítko	Označení	Funkce
	Detaily návrhu	Otevře dialog <i>Detaily návrhu</i> → kapitola 6.1, strana 178
	Třídít výsledky podle aktuálních hodnot	Seřadí výsledky podle maximálních využití (sloupec J) nebo podle maximálních návrhových hodnot (sloupec G) → kapitola 6.3, strana 183
	Filtrovat body	Otevře dialog <i>Filtrovat body</i> , v němž lze vybrat body sítě prvků nebo rastrové body podle určitých kritérií → kapitola 6.3, strana 183
	Pouze posouditelné výsledky	Skryje řádky, u nichž posouzení nebylo možné provést
	Zobrazit řádky s poměrem > 1	Zobrazí pouze řádky s využitím > 1, tj. kdy posouzení nebylo splněno
	Najít bod	Otevře dialog k vyhledání určitého řádku s výsledky → kapitola 6.3, strana 183
	Vybrat plochu v grafice a přejít na tuto plochu v tabulce	Umožňuje vybrat plochu v grafickém okně; její výsledky se následně zobrazí v tabulce
	Zahrnout bod do protokolu mezi výsledků	Zařadí mezivýsledky právě vybraného uzlu sítě prvků nebo bodu rastru do výstupního protokolu
	Zobrazit barvy v tabulce	Zapne, resp. vypne barevné pruhy pro znázornění míry využití ve výstupní tabulce
	Skok do grafiky pro změnu zobrazení	Umožňuje přepnout do pracovního okna RFEMu, kde lze nastavit jiné zobrazení

Tab. 6.1: Tlačítka ve výstupních dialogích

6.1 Detaily návrhu



Tlačítko [Detaily návrhu], které máme k dispozici ve všech výstupních dialogích, umožňuje prohlédnout si detaily posouzení aktuálního uzlu sítě prvků nebo rastrového bodu, tzn. bodu, v jehož řádku v tabulce se právě nachází kurzor myši.



Obr. 6.2: Dialog *Detaily návrhu* v případě posouzení mezního stavu únosnosti



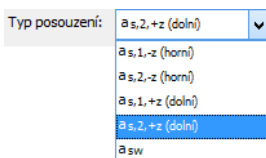
Údaje jsou seřazeny v přehledné stromové struktuře. Jednotlivé položky rozbalíme kliknutím na [+] a opět zabalíme pomocí [-]. Vlevo znázorněná tlačítka slouží k otevření, resp. zavření všech podpoložek výsledkového stromu.

V grafickém okně v pravé části dialogu je v celkovém modelu vyznačena poloha daného bodu.

V případě posouzení mezního stavu únosnosti se v dialogu zobrazí následující údaje (viz kapitola 2.5):

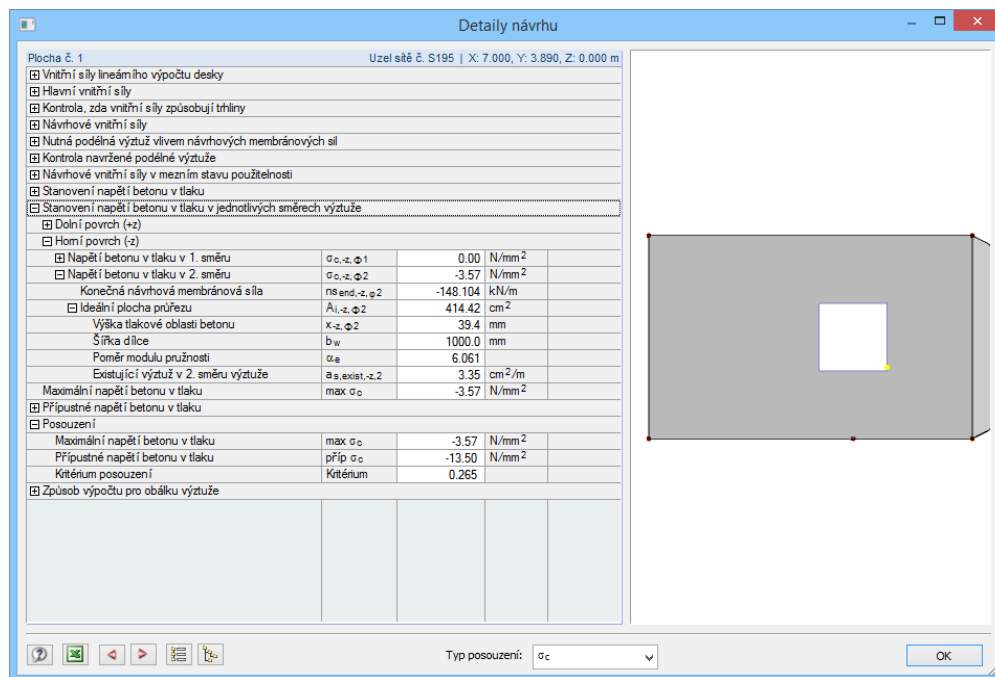
- Posudková zpráva
- Vnitřní síly lineárního výpočtu desky
- Hlavní vnitřní síly
- Návrhové vnitřní síly
- Tlaková diagonála betonu
- Nutná podélná výztuž
- Posouzení na posouvající síly
- Staticky nutná podélná výztuž
- Minimální výztuž
- Kontrola maximálního stupně vyztužení
- Vkládaná výztuž
- Způsob výpočtu pro obálku výztuže

Údaje, které daný dialog obsahuje, závisí na zvoleném *typu posouzení*. Nastavuje se v seznamu v dolní části dialogu.

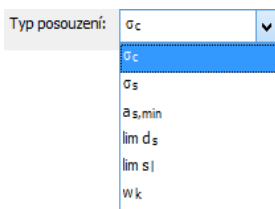




V případě posouzení mezního stavu použitelnosti se zobrazí důležité mezivýsledky přímo v dolní části dialogů 3.1 až 3.3 (viz obr. 5.6, strana 170). Po kliknutí na tlačítko [Detaily návrhu] můžeme zobrazit a překontrolovat podrobnější údaje o posouzení právě vybraného bodu rastru nebo uzlu sítě konečných prvků. Tuto možnost lze využít pouze u výsledků, k nimž se dospělo analytickou metodou posouzení.



Obr. 6.3: Dialog *Detaily návrhu* v případě posouzení mezního stavu použitelnosti



Ve stromové struktuře se zobrazí veškeré údaje relevantní pro každý *typ posouzení*. Typ posouzení se nastavuje v seznamu v dolní části dialogu.

Metoda posouzení	Typ posouzení
Analytická	σ_c
	σ_s
	$a_{s, \text{min}}$
	$\text{lim } d_s$
	$\text{lim } s_1$
	w_k
	viz Tabulka 5.2, strana 171

Tab. 6.2: *Typy posouzení* v případě ověřování mezního stavu použitelnosti



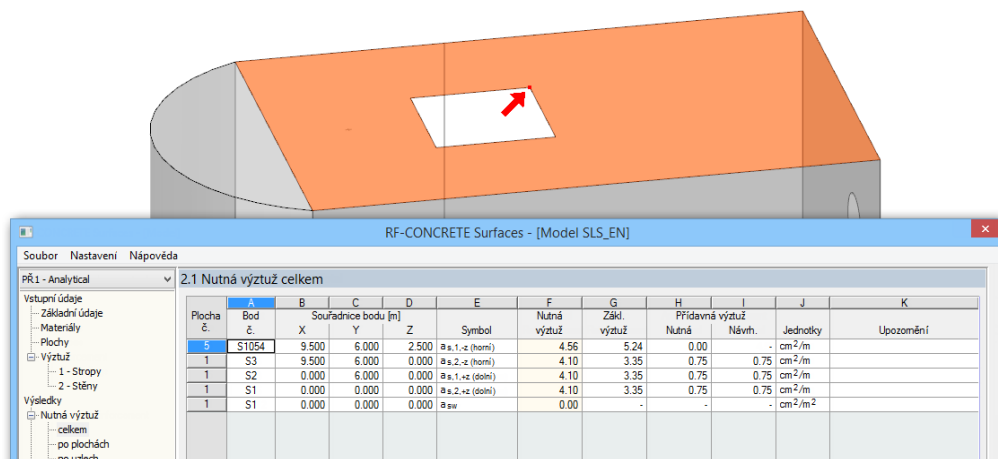
Tlačítkem [◀] nalistujeme údaje k předchozímu uzlu sítě prvků nebo rastrovému bodu, tlačítkem [▶] naopak zobrazíme detaily posouzení následujícího bodu.

6.2 Výsledky na modelu v RFEMu

K vyhodnocení výsledků posouzení lze využít také pracovní okno RFEMu.

Grafické okno RFEMu na pozadí a režim prohlížení

Pokud máme pracovní okno RFEMu otevřeno na pozadí, můžeme rychle v modelu ověřit polohu určitého bodu sítě prvků nebo rastrového bodu. Bod, který jsme vybrali ve výstupní tabulce v modulu RF-CONCRETE Surfaces, se v grafickém zobrazení na pozadí označí šipkou. Příslušná plocha je zvýrazněna odlišnou barvou.



Obr. 6.4: Vyznačení plochy a právě vybraného bodu sítě prvků v modelu v RFEMu

Pokud ani posunem okna modulu RF-CONCRETE Surfaces nezískáme lepší náhled, lze pomocí tlačítka [Skok do grafiky pro změnu zobrazení] přepnout do takzvaného režimu prohlížení: okno modulu RF-CONCRETE Surfaces se skryje a v pracovním okně RFEMu lze nyní upravit náhled. V tomto režimu máme k dispozici funkce z nabídky *Zobrazit*, např. zoom, posun nebo natočení náhledu. Šipka, která vyznačuje právě vybraný bod, přitom nezmizí.

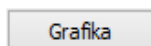
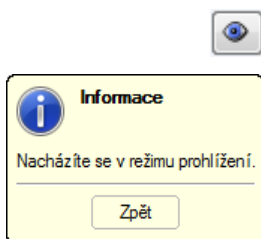
Tlačítkem [Zpět] se můžeme do modulu RF-CONCRETE Surfaces vrátit.

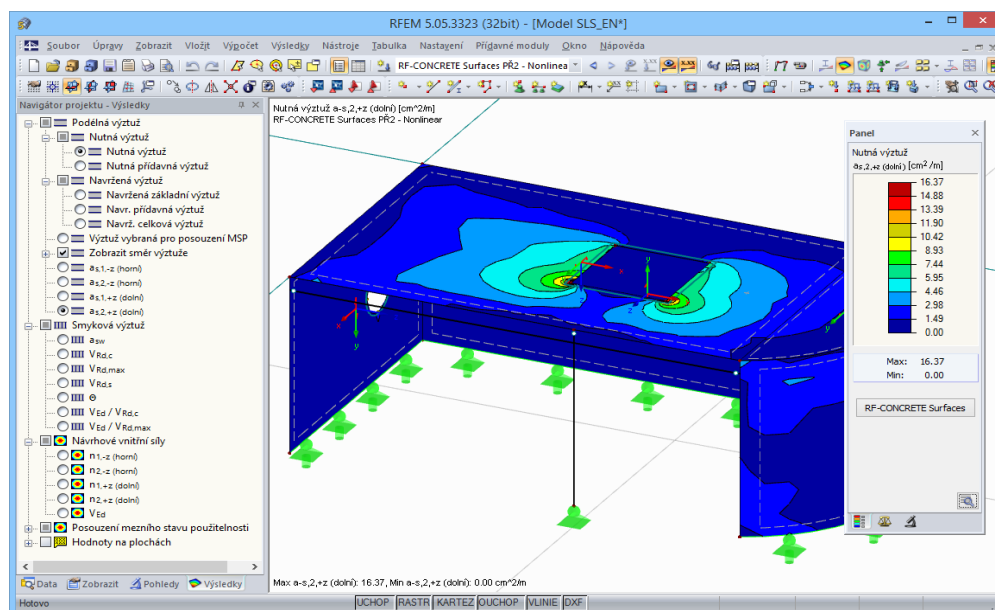
Pracovní okno RFEMu

Výztuže a stupně využití lze zobrazit také přímo v modelu konstrukce v RFEMu. Pomocí tlačítka [Grafika] se modul RF-CONCRETE Surfaces zavře a objeví se pracovní okno RFEMu. V něm se graficky znázorní veškeré výsledky posouzení i vnitřní síly určitého zatěžovacího stavu.

Navigátor Výsledky

Navigátor *Výsledky* je uzpůsoben modulu RF-CONCRETE Surfaces. Lze v něm k zobrazení vybrat výsledky podélných výztuží pro každý směr a vrstvu výztuže, výsledky smykové výztuže, návrhové vnitřní síly nebo využití a detailní výsledky posouzení mezního stavu použitelnosti.





Obr. 6.5: Pracovní okno RFEMu s navigátorem *Výsledky* uzpůsobeným modulu RF-CONCRETE Surfaces

Podobně jako vnitřní síly můžeme zobrazit pomocí tlačítka [Zobrazit výsledky] výsledné hodnoty posouzení.

Vzhledem k tomu, že tabulky RFEMu nemají pro vyhodnocení výsledků z modulu RF-CONCRETE Surfaces žádný význam, lze je skrýt pomocí vlevo zobrazeného tlačítka.

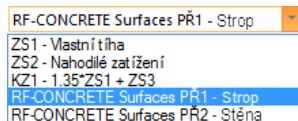
Návrhové případy lze nastavit v seznamu v panelu nástrojů RFEMu.

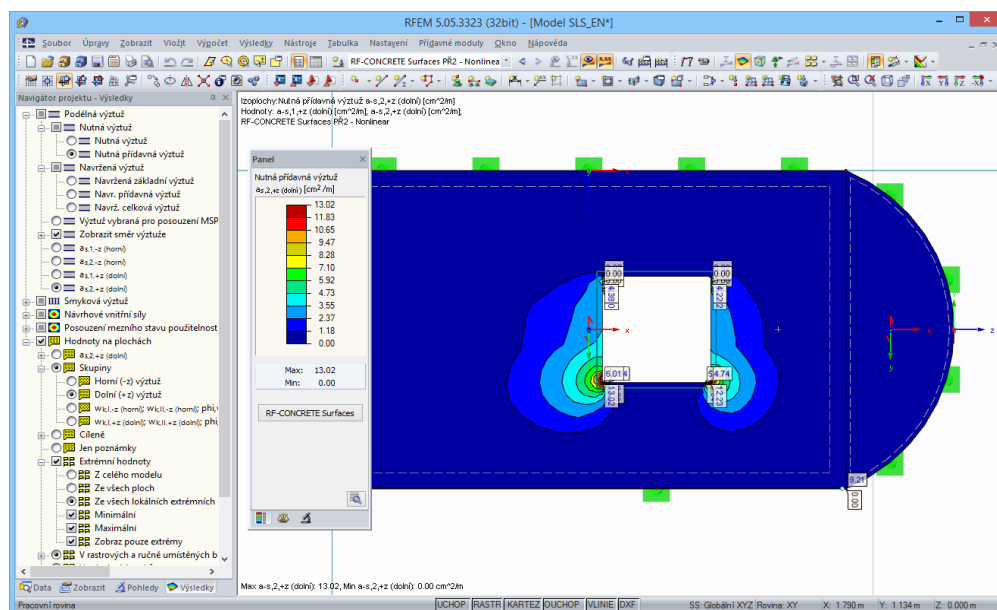
Panel

Pro vyhodnocení výsledků posouzení má uživatel k dispozici také řídicí panel se všemi jeho běžnými možnostmi nastavení. Funkce panelu popisujeme v manuálu k programu RFEM v kapitole 3.4.6. V jeho druhé záložce lze nastavit *faktory zobrazení* pro výztuže, vnitřní síly nebo využití. V třetí záložce panelu lze vybrat konkrétní plochy, jejichž výsledky si přejeme zobrazit (viz kapitola 9.9.3 manuálu k hlavnímu programu RFEM).

Hodnoty na plochách

Chceme-li zobrazit a vyhodnotit výsledné hodnoty výztuže a využití na plochách, nabízí se nám všechny standardní funkce hlavního programu RFEM. Jejich podrobný popis najdeme v kapitole 9.4 manuálu k programu RFEM. Na následujícím obrázku například vidíme skupinu *Dolní (+z) výztuž*, která se má použít jako přídatná výztuž k zadané základní výztuži. Hodnoty se přitom zobrazí v příslušném směru výztuže 1 a 2.





Obr. 6.6: Skupina Dolní (+z) výztuž pro nutnou přídavnou výztuž

Grafická zobrazení výsledků posouzení lze začlenit do výstupního protokolu (viz kapitola 7.2, strana 189).

Do modulu se můžeme vrátit kliknutím na tlačítko [RF-CONCRETE Surfaces] v řídicím panelu.

RF-CONCRETE Surfaces

6.3 Filtrování výsledků

Výstupní dialogy v modulu RF-CONCRETE Surfaces umožňují výběr dat podle různých kritérií. K dispozici máme dále funkce filtrování, pomocí nichž lze výsledky posouzení vyhodnotit graficky. Příslušné funkce popisujeme v kapitole 9.9 manuálu k hlavnímu programu RFEM.



Pro filtrování ploch k vyhodnocení můžeme použít také takzvané *viditelnosti* (viz manuál k RFEMu, kapitola 9.9.1).

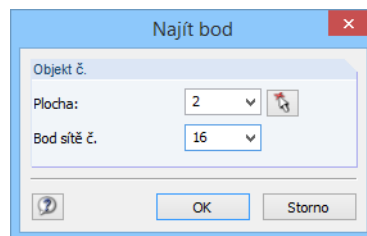


Dále se nám nabízí již vytvořené řezy v modelu v RFEMu nebo můžeme pro cílené vyhodnocení výsledků vytvořit řezy nové (viz manuál k RFEMu, kapitola 9.6.1). Lze přitom použít funkci vyhlazení, a vyhnout se tak singularitám.

Vyhledávání bodů



Výstupní dialogy 2.2 a 2.3 (výztuž) a 3.2 a 3.3 (mezní stav použitelnosti) nabízejí funkci pro vyhledávání bodů sítě prvků a bodů rastru. Pomocí vlevo znázorněného tlačítka (viz obr. 6.1, strana 177) otevřeme následující dialog:



Obr. 6.7: Dialog *Najít bod rastru*



Nejdříve ručně zadáme číslo plochy nebo ho stanovíme pomocí funkce [^] v grafickém okně. Následně můžeme uvést nebo vybrat ze seznamu číslo bodu rastru nebo uzlu sítě prvků.

Po kliknutí na [OK] se v aktuální tabulce vyhledá řádek s výsledky daného bodu.

Třídění výsledků

V dialogích 3.1 a 3.2 se výsledky standardně seřadí podle maximálních využití. Rozhodující je přitom sloupec J v tabulce.

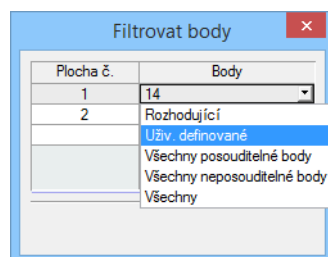


Výsledky můžeme ovšem seřadit také podle návrhových hodnot ve sloupci G. Největší využití deformace tak například nemusí nutně představovat maximální deformaci, protože mezní hodnoty lze definovat pro jednotlivé plochy rozdílně. Tlačítkem [Třídít výsledky podle aktuálních hodnot] lze mezi těmito dvěma typy seřazení výsledků přepínat.

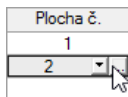
Filtrování bodů



Ve výstupních dialogích 2.2 a 2.3 (výztuž) a také 3.2 a 3.3 (mezní stav použitelnosti) máme k dispozici vlevo znázorněné tlačítko. Slouží k otevření následujícího dialogu.



Obr. 6.8: Dialog *Filtrovat body*



Ve sloupci *Plocha č.* uvedeme číslo požadované plochy anebo ji vybereme graficky v pracovním okně RFEMu. Tlačítko pro grafický výběr plochy [...] se zpřístupní poté, co klikneme do zadávacího políčka v tomto sloupci.

Sloupec *Body* nabízí různá kritéria, podle nichž lze výsledky filtrovat. Kromě všech posouditelných či neposouditelných bodů lze vybrat *rozhodující* body. V těchto bodech jsou průřezy výztuže nebo využití pro příslušné typy posouzení největší. Volba *Uživatelsky definované* umožňuje zadat čísla bodů přímo.

Pouze posouditelné výsledky, resp. zobrazit řádky s poměrem > 1

Tlačítka, která vidíme na levém okraji, umožňují zobrazit v dialogích všechny posouditelné výsledky nebo naopak všechny případy, kdy posouzení nemohlo být provedeno. Lze tak například ze zobrazeného přehledu vyloučit případy, kdy posouzení nebylo možné z důvodu singularity, nebo lze naopak blíže prozkoumat příčiny problémů při posouzení.

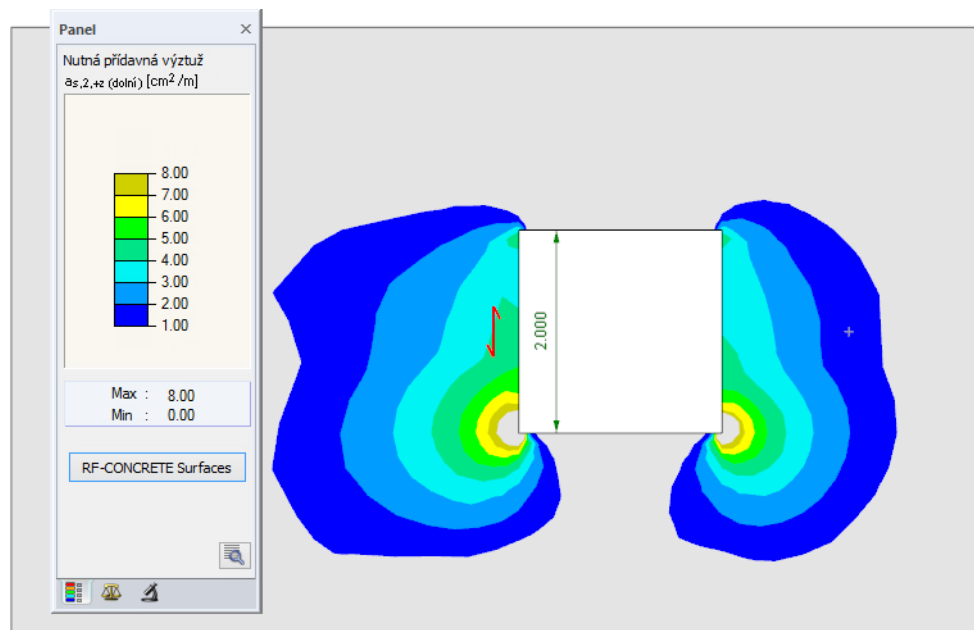
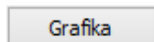
Filtrování výsledků v pracovním okně

Průřezy výztuže a využití lze použít jako kritérium pro filtrování výsledků v pracovním okně RFEMu. Otevřeme ho tlačítkem [Grafika]. Předpokladem je, že máme v okně zobrazený řídicí panel. Pokud ho nemáme aktivovaný, zapneme ho příkazem z hlavní nabídky RFEMu

Zobrazit → Řídicí panel

nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

Panel popisujeme v kapitole 3.4.6 manuálu k programu RFEM. Kritéria pro filtrování výsledků se nastavují v první záložce panelu (Stupnice barev).



Obr. 6.9: Filtrování přídavné výztuže pomocí upravené stupnice barev

Jak vidíme na obrázku výše, můžeme stupnici hodnot v řídicím panelu nastavit tak, že se zobrazí pouze výztuže větší než 1,00 cm²/m. Stupnice barev je přitom nastavena tak, že jedna barevná oblast pokrývá právě 1,00 cm²/m. Horní hranice je přitom stanovena na 8,00 cm²/m, abychom zamezili účinkům singularity.

V následující kapitole 6.4 vysvětlíme, jak lze stupnici barev a stupnici hodnot přizpůsobit průměru výztužných prutů a vzdálenosti mezi nimi.

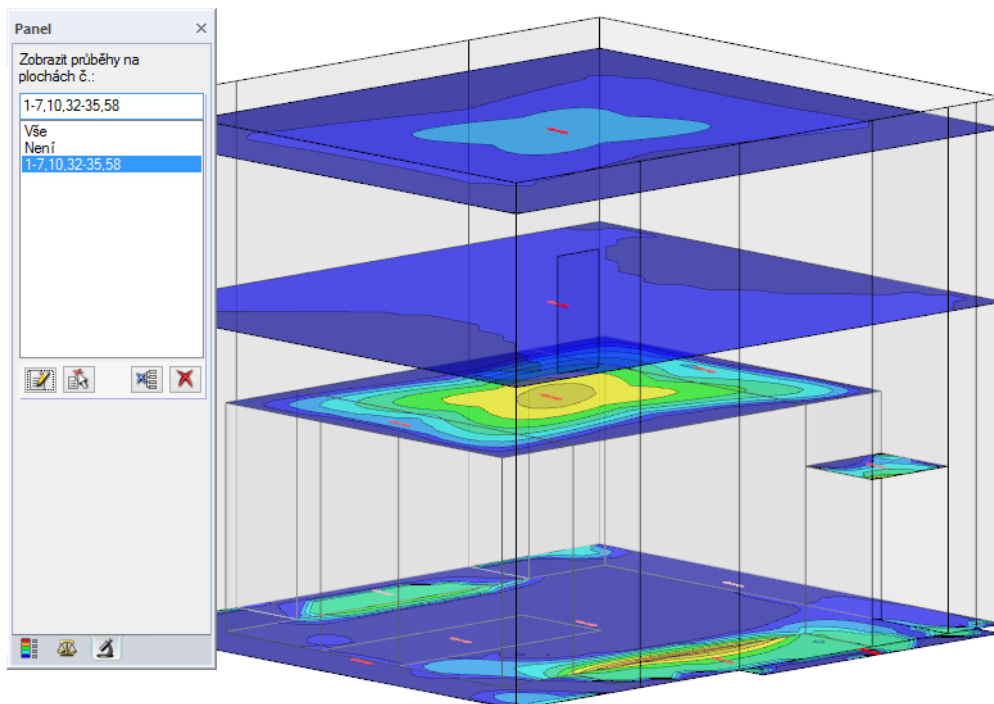
Pro zobrazení hodnot v bodech rastru nebo v uzlech sítě prvků v grafickém okně má uživatel v RFEMu k dispozici obvyklé možnosti nastavení. Popisujeme je v kapitole 9.4 manuálu k programu RFEM.

Filtrování ploch v pracovním okně



V záložce *Filtr* řídicího panelu lze zadat čísla vybraných ploch, jejichž výsledky si přejeme zobrazit v grafickém okně. Příslušnou funkci popisujeme v kapitole 9.9.3 manuálu k programu RFEM.

Nutná výztuž a-s,2,+z (dolní) [cm²/m]
RF-CONCRETE Surfaces PR1 - Reinforced concrete design



Obr. 6.10: Filtrování ploch pro zobrazení výztuže v podlahové desce a ve stropních deskách

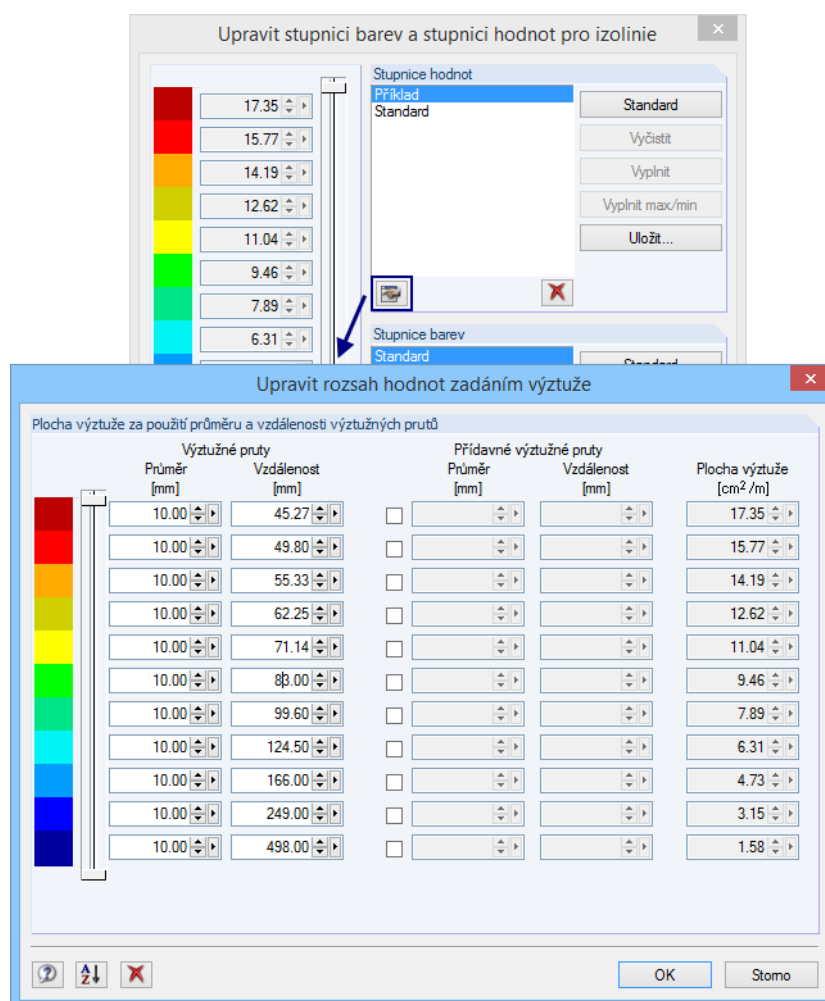
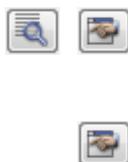
Na rozdíl od funkce výřezu se zobrazí celý model konstrukce. Na obrázku výše je znázorněna výztuž vodorovných ploch v budově. Ostatní plochy se v modelu také zobrazí, ovšem bez výztuží.

6.4 Konfigurace panelu

Výsledné hodnoty výztuží lze znázornit graficky jako izoplochy nebo izolinie. Standardně se přitom používá stupnice hodnot rozdělená do 12 dílků mezi minimální a maximální hodnotou. Danou stupnicí hodnot můžeme také upravovat s ohledem na zadání výztuže. Lze tak například zpracovat grafické výsledky do výkresu výztuže.

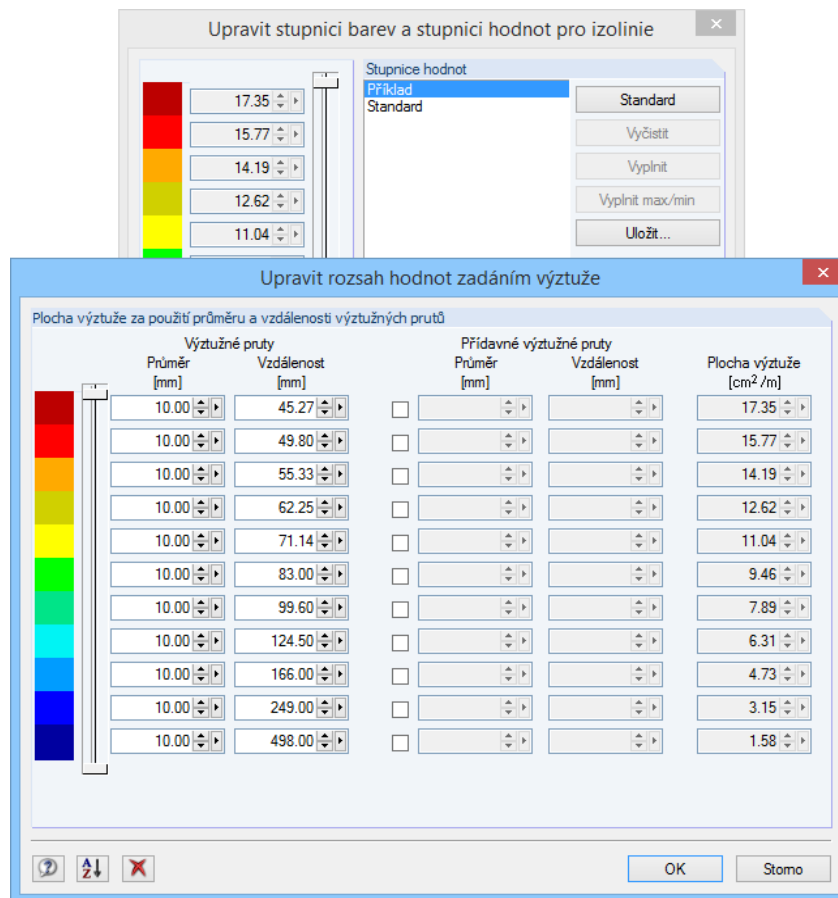
Pro úpravu stupnice stačí v panelu na některou barvu dvakrát kliknout. Použit můžeme také tlačítko [Možnosti...] v panelu: otevře se dialog *Možnosti*, z něhož pomocí tlačítka [Upravit stupnice barev a hodnot...] rovněž zobrazíme dialog pro úpravu stupnic.

Z dialogu *Upravit stupnici barev a stupnici hodnot pro izoplochy* můžeme tlačítkem [Upravit...] otevřít dialog *Upravit rozsah hodnot zadáním výztuže*.



Obr. 6.11: Dialogy *Upravit stupnici barev a stupnici hodnot pro izoplochy* a *Upravit rozsah hodnot zadáním výztuže*

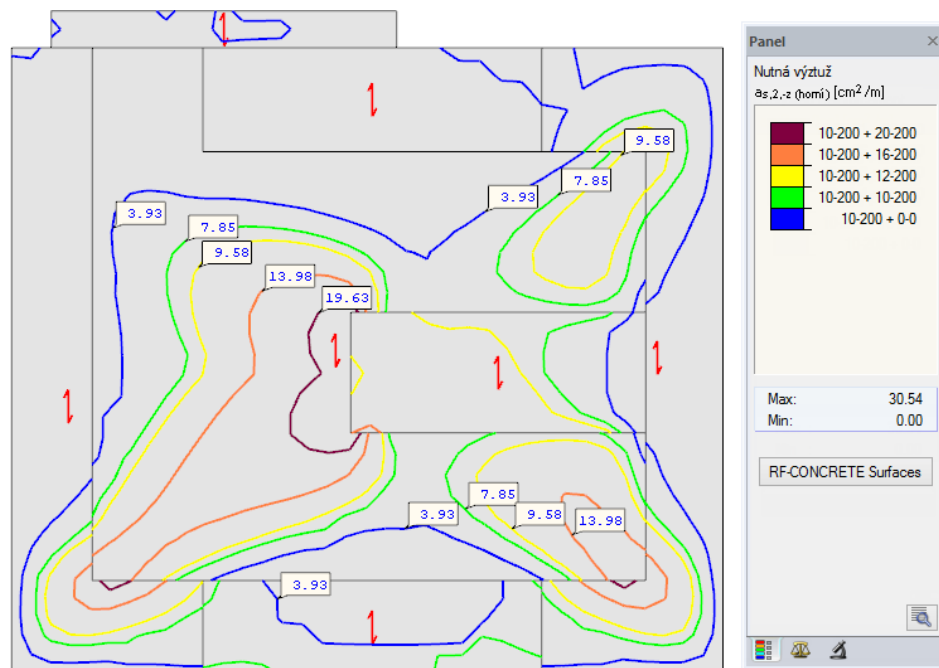
V daném dialogu se z *průměru* a *vzdálenosti* výztužných prutů spočítá plocha výztuže na 1 m. Ve sloupcích *Přídavné výztužné pruty* můžeme připojit další průměry a vzdálenosti prutů (viz obr. 6.12), což umožňuje uživateli zadat výztuž, která se má použít do výkresu výztuže.



Obr. 6.12: Dialog Upravit rozsah hodnot zadáním výztuže s průměry a vzdálenostmi prutů

Po kliknutí na [OK] se plochy výztuže, které vyplývají se zadaných průměrů a vzdáleností prutů, převedou do dialogu Upravit stupnici hodnot a stupnici barev pro izoplochy.

V panelu se zobrazí průměry výztužných prutů s příslušnými vzdálenostmi přiřazené k jednotlivým dílkům stupnice hodnot.



Obr. 6.13: Grafické zobrazení a panel s uživatelsky definovaným rozsahem hodnot podle zadání výztuže

7. Výstup

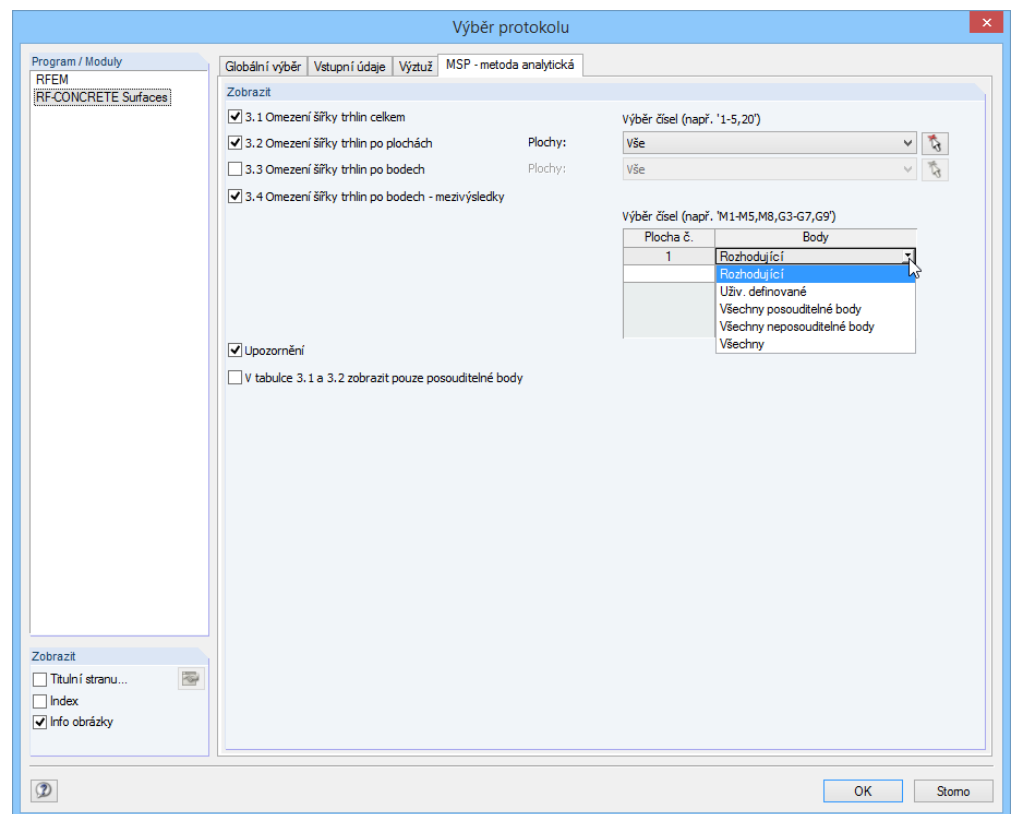
7.1 Výstupní protokol

Pro údaje z modulu RF-CONCRETE Surfaces se (stejně jako pro data v RFEMu) nejdříve vytvoří výstupní protokol, do něhož lze vkládat grafická zobrazení nebo vlastní vysvětlivky. Ve výstupním protokolu můžeme vybrat, které údaje z návrhového modulu se mají vytisknout.



Výstupní protokol podrobně popisujeme v manuálu k programu RFEM. Důležitá je především kapitola 10.1.3.4 *Výběr dat přídatných modulů*, která pojednává o výběru vstupních a výstupních dat v přídatných modulech.

Zvláštní funkce pro výběr dat se nám nabízí v případě mezivýsledků posouzení mezního stavu použitelnosti analytickou metodou. Ve sloupci *Body* lze kromě všech posouditelných či neposouditelných bodů vybrat pouze *rozhodující* body. V těchto bodech jsou průřezy výztuže nebo využití největší. Volba *Uživatelsky definované* umožňuje zadat čísla bodů přímo.



Obr. 7.1: Dialog *Výběr protokolu*, záložka *MSP - metoda analytická*

V případě rozsáhlých konstrukcí s mnoha návrhovými případy přispívá rozdělení dat do několika výstupních protokolů k větší přehlednosti.

7.2 Tisk zobrazení

Každý obrázek, který se zobrazí v pracovním okně v RFEMu, lze začlenit do výstupního protokolu nebo poslat přímo na tiskárnu. Do protokolu tak lze převzít také výztuže a využití zobrazené na modelu konstrukce v RFEMu.



Tisk grafických zobrazení popisujeme v kapitole 10.2 manuálu k programu RFEM.

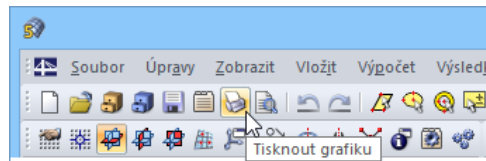
Posouzení na modelu v RFEMu

Aktuální grafické zobrazení stupňů využití lze vytisknout příkazem z hlavní nabídky



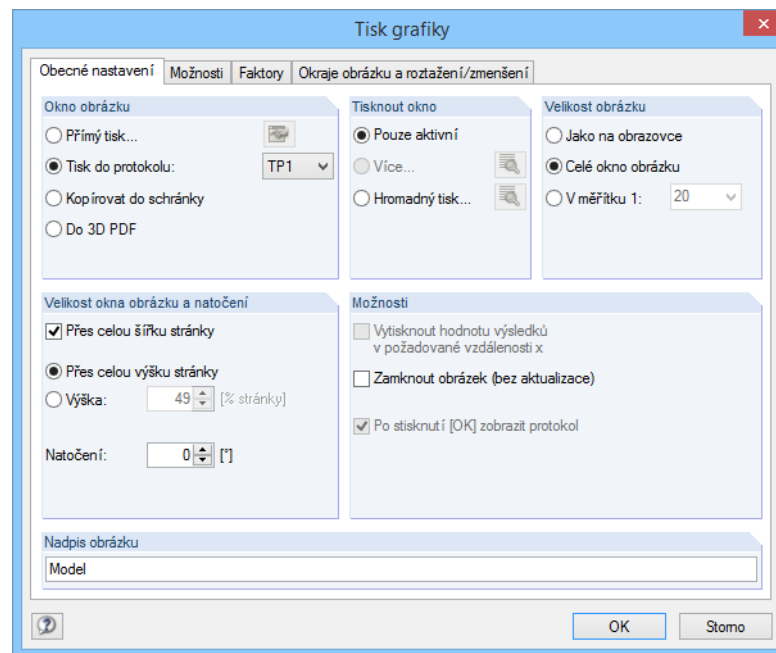
Soubor → **Tisk grafiky...**

nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



Obr. 7.2: Tlačítko *Tisknout grafiku* v panelu nástrojů RFEMu

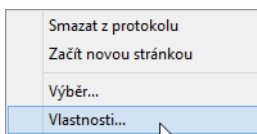
Zobrazí se následující dialog:

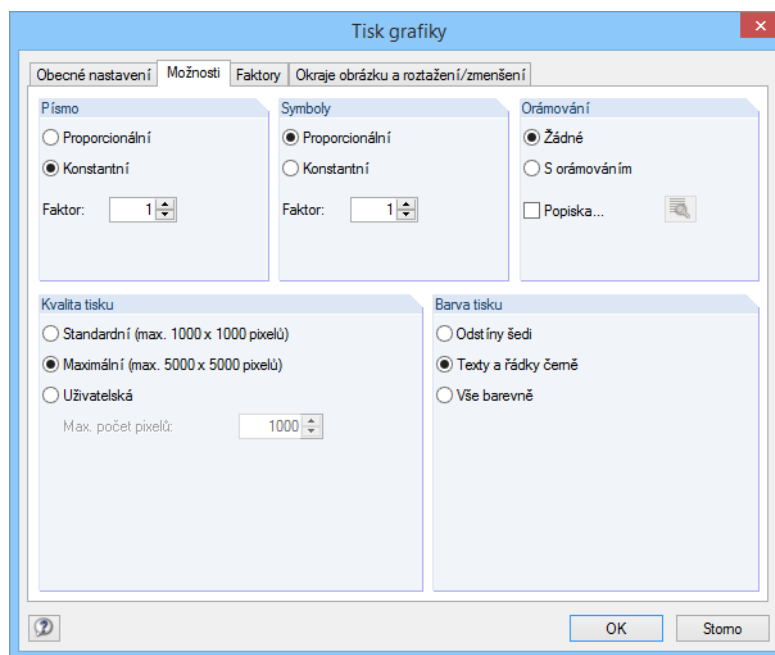


Obr. 7.3: Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Obecné*

Tento dialog popisujeme v kapitole 10.2 manuálu k programu RFEM. Grafické zobrazení lze 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 zobrazí dialog *Tisk grafiky*, v němž lze nastavit případné změny.



Obr. 7.4: Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Možnosti*

8. Obecné funkce

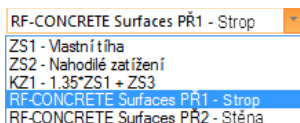
V této kapitole popíšeme běžně používané funkce z hlavní nabídky a také možnosti exportu výsledků posouzení.

8.1 Návrhové případy

Uživatel má možnost seskupovat plochy do samostatných návrhových případů. Lze tak například posoudit zvlášť určité skupiny ploch nebo zadat specifické návrhové varianty (např. při změně materiálů, výztuže, v případě nelineární analýzy atd.).

Tutéž plochu můžeme bez problému posuzovat v různých návrhových případech.

Seznam zatěžovacích stavů v panelu nástrojů RFEMu obsahuje také návrhové případy z modulu RF-CONCRETE Surfaces.

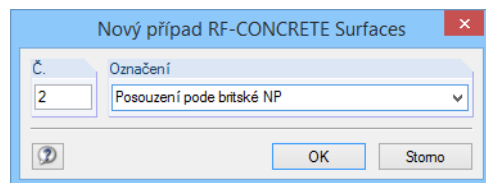


Vytvoření nového návrhového případu

Návrhový případ lze vytvořit příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-CONCRETE Surfaces

Soubor → **Nový případ...**

Otevře se následující dialog:



Obr. 8.1: Dialog *Nový případ RF-CONCRETE Surfaces*

V tomto dialogu je třeba vyplnit (dosud nezadané) *číslo* nového návrhového případu. *Označení* slouží ke snazšímu výběru případů ze seznamu zatěžovacích stavů.

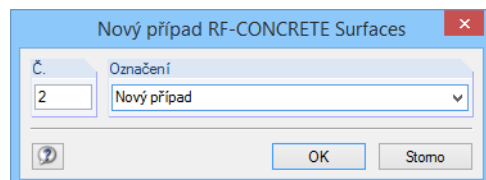
Po kliknutí na [OK] se zobrazí dialog modulu RF-CONCRETE Surfaces 1.1 *Základní údaje*, kde zadáme údaje pro posouzení.

Přejmenování návrhového případu

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

Soubor → **Přejmenovat případ...**

Otevře se následující dialog:



Obr. 8.2: Dialog *Přejmenovat případ RF-CONCRETE Surfaces*

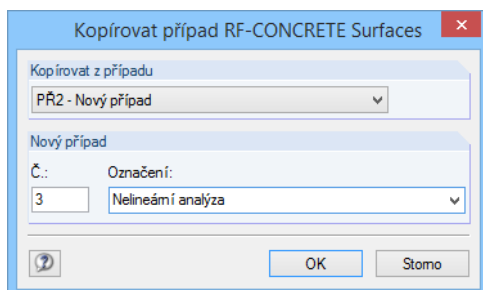
V tomto dialogu můžeme zadat u vybraného návrhového případu nejen jiné *označení*, ale také jiné *číslo*.

Kopírování návrhového případu

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

Soubor → **Kopírovat případ...**

Otevře se následující dialog:



Obr. 8.3: Dialog *Kopírovat případ RF-CONCRETE Surfaces*

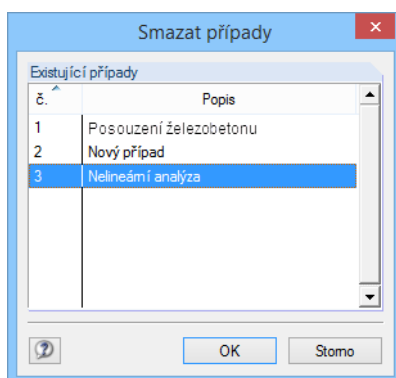
V něm uvedeme *číslo* a případně *označení* nového případu, do něhož se vybraný případ zkopíruje.

Smazání návrhového případu

Uživatel má možnost návrhové případy opět smazat příkazem z hlavní nabídky v modulu RF-CONCRETE Surfaces

Soubor → **Smazat případ...**

Otevře se následující dialog:



Obr. 8.4: Dialog *Smazat případy*

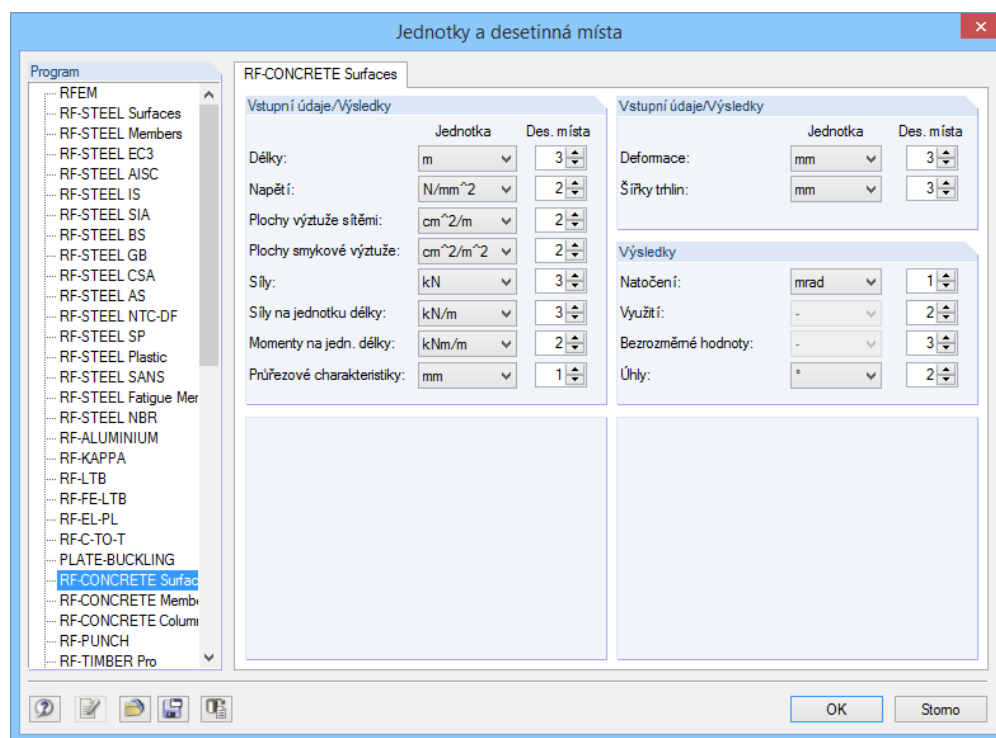
Návrhový případ můžeme vybrat ze seznamu *Existující případy*. Po kliknutí na tlačítko [OK] se případ smaže.

8.2 Jednotky a desetinná místa

Jednotky a desetinná místa se pro RFEM i všechny jeho přídatné moduly nastavují společně. V modulu RF-CONCRETE Surfaces otevřeme dialog pro úpravu jednotek příkazem z hlavní nabídky

Nastavení → Jednotky a desetinná místa...

Otevře se dialog již dobře známý z RFEMu. V seznamu *Program* je již předem nastaven modul RF-CONCRETE Surfaces.



Obr. 8.5: Dialog *Jednotky a desetinná místa*



Nastavení lze uložit jako uživatelský profil a použít i v jiných modelech. Popis příslušných funkcí najdeme v kapitole 11.1.3 manuálu k programu RFEM.

8.3 Export výsledků

Výsledky posouzení z modulu RF-CONCRETE Surfaces lze použít i v jiných programech.

Schránka

Označené řádky v tabulkách výsledků modulu RF-CONCRETE Surfaces 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-CONCRETE Surfaces lze odeslat do výstupního protokolu (viz kapitola 7.1, strana 188) a odtud pak exportovat příkazem z hlavní nabídky

Soubor → Export do RTF...

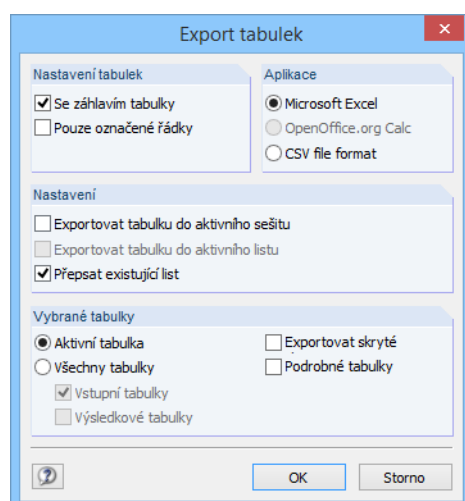
Tuto funkci popisujeme v kapitole 10.1.11 manuálu k programu RFEM.

Excel / OpenOffice

Modul RF-CONCRETE Surfaces umožňuje přímý export dat do MS Excelu, do aplikace Calc z balíku OpenOffice.org nebo do formátu CSV. Tuto funkci vyvoláme z hlavní nabídky modulu

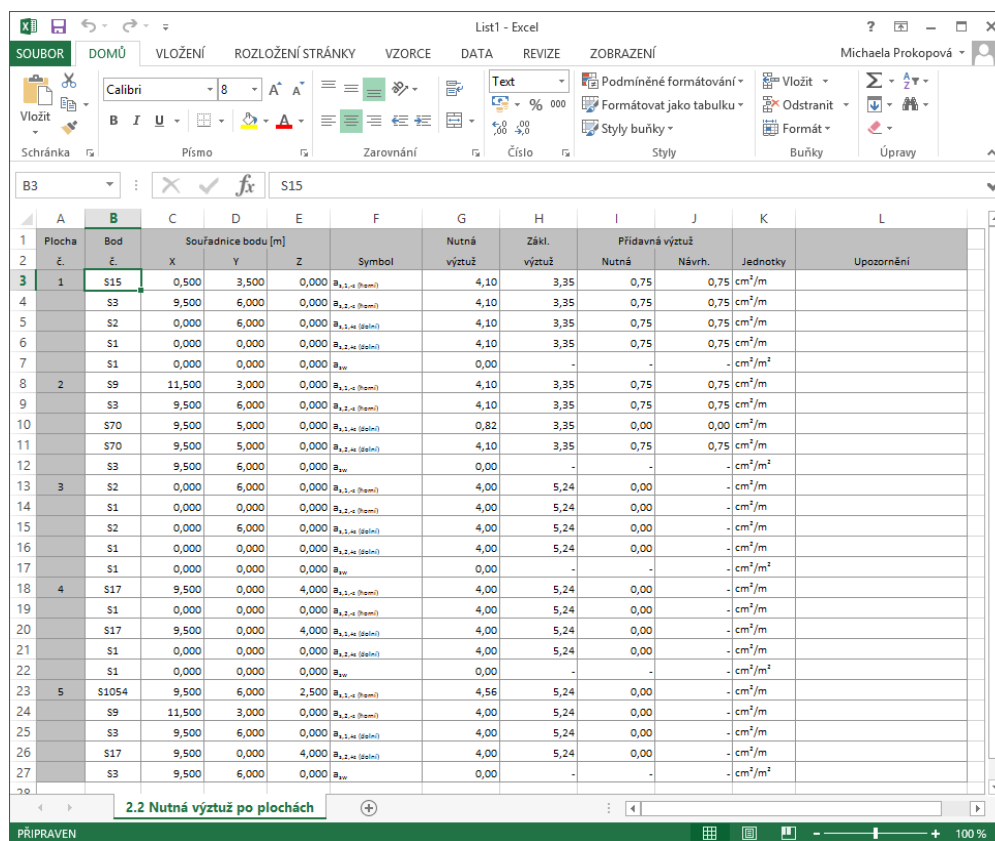
Soubor → Exportovat tabulky...

Otevře se následující dialog pro export dat:



Obr. 8.6: Dialog *Export - MS Excel*

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



1	Plocha	Bod	Souřadnice bodu [m]			Symbol	Nutná	Zákl.	Přídavná výztuž		Jednotky	Upozornění
2	č.	č.	X	Y	Z		výztuž	výztuž	Nutná	Návrh.		
3	1	S15	0,500	3,500	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
4		S3	9,500	6,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
5		S2	0,000	6,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
6		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
7		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	0,00	-	-	-	cm ² /m ²	
8	2	S9	11,500	3,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
9		S3	9,500	6,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
10		S70	9,500	5,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	0,82	3,35	0,00	0,00	cm ² /m	
11		S70	9,500	5,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,10	3,35	0,75	0,75	cm ² /m	
12		S3	9,500	6,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	0,00	-	-	-	cm ² /m ²	
13	3	S2	0,000	6,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
14		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
15		S2	0,000	6,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
16		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
17		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	0,00	-	-	-	cm ² /m ²	
18	4	S17	9,500	0,000	4,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
19		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
20		S17	9,500	0,000	4,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
21		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
22		S1	0,000	0,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	0,00	-	-	-	cm ² /m ²	
23	5	S1054	9,500	6,000	2,500	B _{1,1-č} (štam)	4,56	5,24	0,00	-	cm ² /m	
24		S9	11,500	3,000	0,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
25		S3	9,500	6,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
26		S17	9,500	0,000	4,000	B _{1,1-č} (štam)	4,00	5,24	0,00	-	cm ² /m	
27		S3	9,500	6,000	0,000	B _{1,2-č} (štam)	0,00	-	-	-	cm ² /m ²	

Obr. 8.7: Výsledky v Excelu

Aplikace CAD

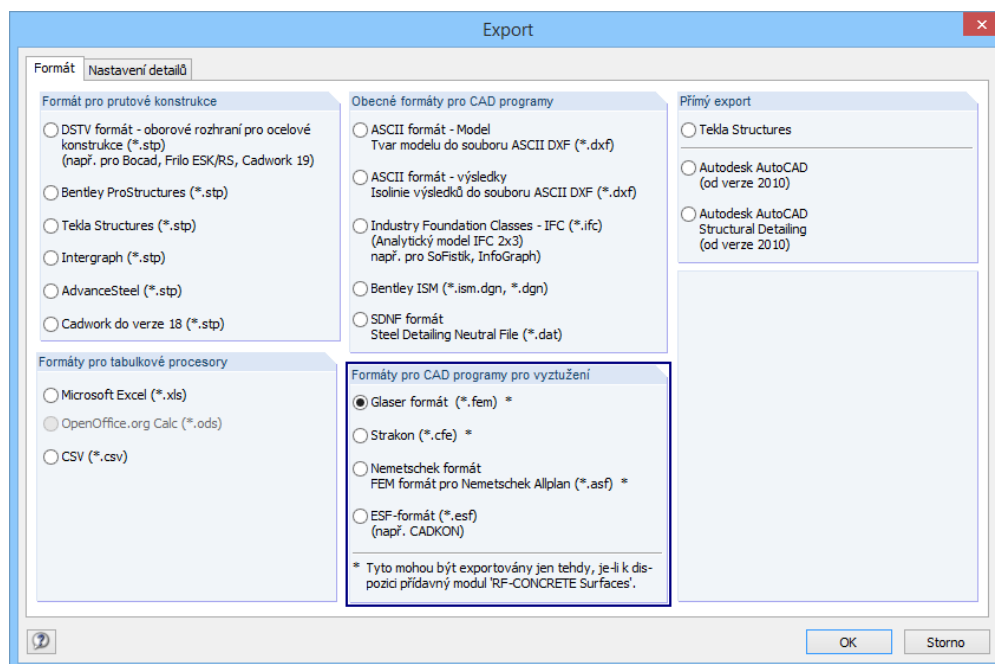
Průřezy výztuže spočítané v modulu RF-CONCRETE Surfaces lze používat také v aplikacích CAD. RFEM má rozhraní k následujícím programům:

- Nemetschek (formát FEM pro Allplan *.asf)
- Glaser (formát *.fem)
- Strakon (formát *.cfe)

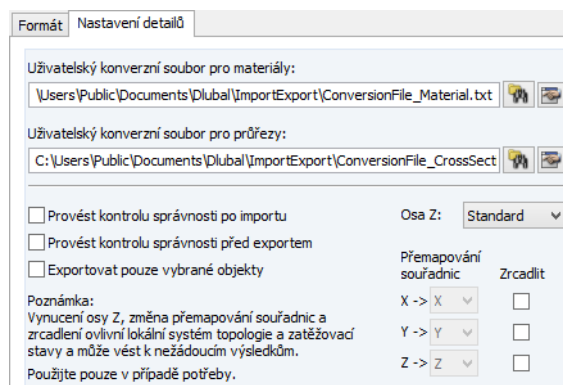
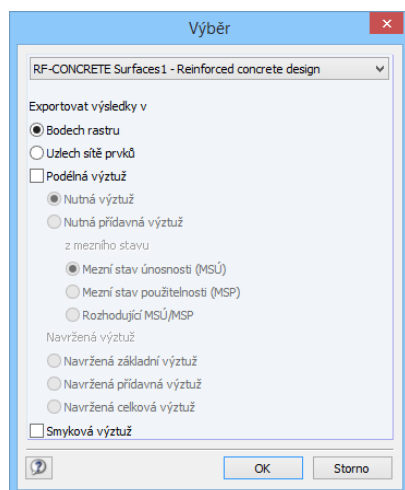
Funkci pro export dat spustíme příkazem z hlavní nabídky RFEMu

Soubor → **Exportovat...**

Otevře se dialog *Export*, v němž můžeme vybrat požadované rozhraní. Tento dialog popisujeme v kapitole 12.5.2 manuálu k hlavnímu programu RFEM.

Obr. 8.8: Dialog RFEMu *Export*, záložka *Formát*

Podle toho, jaké rozhraní vybereme, se nám v dalších záložkách nabízí pro export výztuží různé specifické možnosti.

Obr. 8.9: Dialog RFEMu *Export*, záložka *Nastavení detailů*Obr. 8.10: Dialog RFEMu *Export*, záložka *Výsledek - Glaser (.fem)*

A Literatura

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 217: Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnetze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton (von Theodor BAUMANN), Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1972.
- [2] DIN 1045: Beton- und Stahlbetonbau. Juli 1988.
- [3] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Juni 2001.
- [4] DIN EN 1992-1-1:2005 + AC:2010 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau. 2005
- [5] DIN V ENV 1992-1-1 (Eurocode 2): Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau. Juni 1992.
- [6] REYMENDT Jörg: DIN 1045 neu, Anwendung und Beispiele. Papenberg Verlag, Frankfurt 2001.
- [7] Deutscher Beton-Verein e.V.: Beispiele zur Bemessung von Betontragwerken nach EC2. Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1994.
- [8] AVAK, Ralf.: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045 und Europäische Normung, Teil 2: Konstruktion-Platten-Treppen-Fundamente. Werner Verlag, Düsseldorf 1992.
- [9] AVAK, Ralf: Stahlbetonbau in Beispielen, DIN 1045 und Europäische Normung, Teil 2: Bemessung von Flächentragwerken, Konstruktionspläne für Stahlbetonbauteile, 2. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2002.
- [10] SCHNEIDER, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 15. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2002.
- [11] PFEIFFER, Uwe: Die nichtlineare Berechnung ebener Rahmen aus Stahl- oder Spannbeton mit Berücksichtigung der durch das Aufreißen bedingten Achsendehnung. Cuviller Verlag, Göttingen 2004.
- [12] LANG, Christian, MEISWINKEL, Rüdiger, WITTEK, Udo: Bemessung von Stahlbetonplatten mit dem nichtlinearen Verfahren nach DIN 1045-1. Beton- und Stahlbetonbau 95, 2000, Heft 5, S. 270-278.
- [13] SCHLAICH/SCHÄFER: Konstruieren im Stahlbetonbau. Betonkalender 1993 Teil II. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1993.
- [14] MEISWINKEL, Rüdiger: Nichtlineare Nachweisverfahren von Stahlbeton-Flächentragwerken. Beton- und Stahlbetonbau 96, 2000, Heft 1, S. 27-34.
- [15] RAHM, Heiko: Modellierung und Berechnung von Alterungsprozessen bei Stahlbeton-Flächentragwerken. Universität Kaiserslautern 2002.
- [16] QUAST, Ulrich: Zur Mitwirkung des Betons in der Zugzone. Beton- und Stahlbetonbau, 1981, Heft 10, S. 247-250.
- [17] QUAST, Ulrich: Zum nichtlinearen Berechnen im Stahlbeton- und Spannbetonbau. Beton- und Stahlbetonbau, 1994, Heft 9, S. 250-253, Heft 10, S. 280-284.
- [18] SCHNEIDER, Klaus-Jürgen: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen, 20. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 2012
- [19] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2): Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Listopad 2006

B Index

1	
1D prvek.....	10
2	
2D prvek.....	10
A	
Analytická metoda.....	131
Autogenní smršťování.....	122, 123
B	
Barevné referenční pruhy v tabulce.....	177
Beton.....	135
Betonová tlaková diagonála.....	11, 16, 32, 40, 42, 61, 159
Betonové krytí.....	73, 150
Bod rastru.....	165, 166, 169, 170, 173, 176, 183
Bod sítě prvků.....	166, 169, 170, 173, 176
D	
Databáze materiálů.....	140
Deformace.....	91, 106, 134, 145, 174
Desetinná místa.....	138, 193
Deska.....	9, 24, 27, 66, 71, 131, 145, 151, 157
Detaily.....	136, 160
Detaily návrhu.....	177, 178, 179
Dialogy.....	126
Dílčí součinitel spolehlivosti pro beton.....	158
Dílčí součinitel spolehlivosti pro výztuž.....	158
Dlouhodobé účinky.....	92, 158
Dočasná situace.....	129
Dolní výztuž.....	150, 166
Dotvarování.....	92, 119, 121, 134
Druh cementu.....	121, 122
E	
Eurokód.....	136
Excel.....	194
Export.....	134, 194
Export do aplikací CAD.....	195
F	
Faktor k_t	137
Faktory zobrazení.....	181
Filtrování.....	183
Filtry.....	170, 177, 183, 184, 185
Funkce pro vyhledávání.....	183
G	
Glaser.....	195
Graf z přílohy A 2.8, resp. 2.9 normy ENV 1992-1-1.....	131
Grafické zobrazení na pozadí.....	180
Grafické zobrazení v RFEMu.....	189
Grafika.....	180
H	
Hlavní normálová síla.....	20
Horní výztuž.....	150, 166
Hraniční linie.....	146
I	
Instalace.....	7
Iterace.....	134
Iterační metoda.....	109
J	
Jednotky.....	138, 193
K	
Kombinace výsledků.....	90, 129, 130, 133, 137, 160, 171
Kombinace zatížení.....	129, 137
Kombinační metoda.....	161
Komentář.....	128, 143
Komplexní metoda.....	160
Kontrola.....	163
Kontrola správnosti.....	163
Kritéria konvergence.....	110
Kritérium přerušení.....	111
Kritérium zařazení.....	133
L	
Listování v dialogích.....	126
M	
Materiál.....	135, 138
Materiálové charakteristiky.....	138
Maximální výztuž.....	149
Metoda.....	131
Metoda posouzení.....	131, 133, 144
Mezivýsledky.....	170, 174
Mezní hodnoty.....	127
Mezní poměrné přetvoření.....	114
Mezní průměr.....	80, 83, 171

Mezní stav použitelnosti.....	69, 106, 130, 141, 170, 171, 174
Mezní stav únosnosti	35, 129, 166, 167
Mimořádná situace.....	129
Minimální výztuž.....	24, 25, 66, 80, 149, 157, 171
Modul pružnosti	120
Možnosti.....	134
N	
Namáhání.....	90
Napětí.....	132, 134
Napětí betonu v tahu.....	135
Napětí betonu v tlaku.....	77, 142, 171, 174
Napětí ve výztuži.....	79, 142, 171, 174
Národní příloha.....	127
Navigátor	126
Navigátor <i>Výsledky</i>	180
Návrhová metoda	159
Návrhová situace.....	129
Návrhová výztuž.....	73
Návrhové vnitřní síly	10, 27, 46, 69, 91, 132, 169
Návrhový případ.....	181, 191, 192
Navržená přídatná výztuž.....	155
Nedeforovaný systém.....	146
Nedimenzovatelnost.....	167, 171, 177
Nejekonomičtější vyztužení	132
Nelineární metoda.....	133, 144, 174
Nelineární tuhosti	134
Nelineární výpočet.....	106
Nemetschek	195
Norma	5, 127, 157
Nutná výztuž.....	155
O	
Obálka výztuže.....	160
Oblast průměrování	161
OpenOffice	194
Optimalizace.....	159
Ortotropie.....	142, 144
Osový systém.....	151
Označení materiálu	138
P	
Panel.....	8, 181, 184, 186
Paprsek výztuže	13
Paralelní deska	146
Pevnost betonu v tahu.....	112, 142
Plocha.....	141, 148, 151, 168, 172, 175
Podélná výztuž.....	34, 37, 63, 132, 153, 156, 166
Poměr deformace.....	131
Poměrné přetvoření.....	88, 106, 121
Poměrné smršťování.....	122, 123, 125, 145
Posouzení deformace.....	146
Posouzení na posouvající síly	35, 64, 156
Posunutá referenční rovina.....	147
Použitelnost... 69, 106, 118, 130, 141, 155, 167, 170, 174, 179	
Pracovní diagram.....	112, 116, 135
Pracovní okno RFEMu.....	180
Příčná výztuž.....	149
Přídavná výztuž	150, 155, 167
Průměr prutu.....	150, 153, 155, 186
Průměrované vnitřní síly	161
Průřez výztuže.....	153
Průřezové charakteristiky.....	95
Průřezové hodnoty.....	91
R	
Rameno vnitřních sil	47, 50, 52
Redukční součinitel α	158
Redukční součinitel TZB	114, 115, 117
Referenční rovina.....	147
Řez.....	183
Režim prohlížení.....	177, 180
RF-CONCRETE Deflect.....	91, 132, 141
RF-CONCRETE NL	106, 123, 133, 144
Řídicí panel.....	184
Rozdělovací součinitel.....	94
Rozhodující body	184, 188
S	
Sada výztuže.....	148
Schránka.....	194
Singularita	161, 183, 184
Šířka trhlin	82, 86, 90, 142, 171, 174
Sklon tlakové diagonály θ	40, 158
Skořepina.....	24, 46
Směr výztuže	150, 151
Smršťování	92, 122, 134
Smršťování vysycháním.....	122
Smyková výztuž.....	38, 158, 166
Součinitel dotvarování φ	119, 121, 144
Součinitel závisující na době trvání zatížení	136
Souřadnice	166, 170
Souřadnice bodu.....	166, 170

Spuštění modulu RF-CONCRETE Surfaces	7	Úhel φ	23, 28, 39, 152
Spuštění výpočtu	163	Únosnost.....	129, 166, 167, 178
Stáří betonu	120, 122	Únosnost ve smyku	35, 40, 42, 65
Statický systém	123	Upozornění	143
Stav II	116, 174	Uspořádání výztuže.....	149
Stav namáhání	20	Uzel sítě prvků.....	165, 183
Stav s trhlinami	116, 174	Uživatelský profil.....	193
Stěna.....	9, 13, 19, 24, 25, 66, 71, 131, 151, 158, 159	V	
Stěnový nosník.....	25	Viditelnost	183
Strakon.....	195	Vlhkost okolního prostředí	120, 122
Stupeň vlivu prostředí.....	151	Vnitřní síly.....	90, 106, 163
Stupeň výztuže	149	Vrstva	106, 135
Stupnice barev.....	184	Výběr dat pro tisk.....	188
Stupnice hodnot.....	186	Výběrová metoda	160
Symbol.....	166, 169, 171, 174, 179	Vyhodnocení výsledků.....	177
T		Vynucené přetvoření	143
Tahové zpevnění	94, 114, 135	Výpočet	160
Tečení.....	114	Výška tlačené oblasti	48, 158
Těžiště výztuže.....	150	Výsledné hodnoty graficky.....	181
Tisk	177, 189	Výstupní dialogy	165
Tisk zobrazení.....	189	Výstupní protokol.....	188, 189
Tlačená oblast	158	Využití	171
Tlačená oblast betonu.....	50, 51	Vyvolání programu.....	7
Tlačítka.....	177	Výztuž.....	135, 138, 139, 148, 165, 166, 167, 168
Tloušťka	142	Výztužné sítě.....	154
Tlumení.....	135	Výztužný prut	154, 186
Trhlina	116, 132	Vzdálenost od okraje	150
Třída obrusu.....	151	Vzdálenost prutu.....	85, 171, 186
Třída pevnosti betonu	138	Vzdálenost trhlin	86
Třídění výsledků.....	177, 183	Vznik trhlin	107
Trvalá situace.....	129	Z	
Trvalé zatížení.....	137	Základní údaje	9, 126
Tuhosti.....	134	Základní výztuž.....	150, 153, 167
Typ modelu	9	Zakřivení	117
Typ posouzení.....	179	Zatěžovací stav	90, 129, 130, 171
U		Zavření modulu RF-CONCRETE Surfaces.....	126
Účinná výška.....	49	Žebro.....	162