

**Vydání
září 2013**

Program

RFEM 5

**Prostorové konstrukce metodou
konečných prvků**

**Příklad pro
pokročilejší uživatele**

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	4.5.3	Diagonála	44
2.	Konstrukce a zatížení	6	4.5.3.1	Zadání prutu	44
2.1	Náčrt konstrukce	6	4.5.3.2	Natočení prutu	45
2.2	Materiály, tloušťky a průřezy	6	4.6	Kontrola zadání	47
2.3	Zatížení	7	5.	Zatížení	48
3.	Vytvoření modelu konstrukce	8	5.1	Zatěžovací stav 1: Vlastní tíha	48
3.1	Spuštění programu RFEM	8	5.1.1	Vlastní tíha	49
3.2	Vytvoření modelu	8	5.1.2	Stropní konstrukce	49
4.	Údaje o modelu konstrukce	10	5.1.3	Tlak zeminy	50
4.1	Nastavení pracovního okna a rastru	10	5.1.4	Zatížení střešní konstrukcí	51
4.2	Zadání ploch	12	5.2	Zatěžovací stav 2: Užité zatížení	53
4.2.1	Strop	12	5.2.1	Stropní deska	54
4.2.1.1	Zadání obdélníkové plochy	12	5.2.2	Okraj otvoru	55
4.2.1.2	Zadání oblouku	15	5.3	Zatěžovací stav 3: Sníh	56
4.2.1.3	Úprava stropní desky	16	5.3.1	Střeška	56
4.2.2	Stěna	17	5.3.2	Strop	57
4.2.3	Otvor	20	5.4	Zatěžovací stav 4: Vítr	59
4.2.3.1	Zadání otvoru	20	5.4.1	Zatížení ocelové konstrukce	60
4.2.3.2	Úprava otvoru	21	5.4.2	Zatížení na sloupy	61
4.3	Vytvoření betonových sloupů	22	5.5	Zatěžovací stav 5: Imperfekce	64
4.3.1	Sloupy	22	5.5.1	Ocelové sloupy	65
4.3.2	Žebro	25	5.5.2	Betonové sloupy	66
4.4	Zadání podpor	29	5.6	Kontrola zatěžovacích stavů	67
4.4.1	Uzlové podpory	29	6.	Kombinace účinků	68
4.4.2	Liniové podpory	31	6.1	Kontrola účinků	68
4.5	Vytvoření ocelových sloupů	32	6.2	Stanovení kombinačních pravidel	69
4.5.1	Rám	32	6.3	Vytvoření kombinací účinků	72
4.5.1.1	Zadání spojitých prutů	33	6.4	Vytvoření kombinací zatížení	72
4.5.1.2	Zkosení příčle	35	6.5	Kontrola kombinace výsledků	75
4.5.1.3	Kloubové připojení příčle	36	7.	Výpočet	76
4.5.1.4	Změna orientace prutu	37	7.1	Kontrola vstupních dat	76
4.5.1.5	Kopírování rámu	38	7.2	Vytvoření sítě konečných prvků	77
4.5.2	Vaznice	40	7.3	Výpočet modelu	79
4.5.2.1	Zadání prutů jednotlivě	40	8.	Výsledky	80
4.5.2.2	Excentrické připojení prutů	42	8.1	Grafické zobrazení výsledků	80

Obsah

	Obsah	Strana		Obsah	Strana
8.2	Tabulky výsledků	83	9.	Dokumentace	96
8.3	Filtrování výsledků	86	9.1	Vytvoření výstupního protokolu	96
8.3.1	Uživatelské viditelnosti	86	9.2	Úprava výstupního protokolu	98
8.3.2	Výsledky na objektech	88	9.3	Včlenění obrázků do protokolu	100
8.3.3	Rozmezí hodnot	90	10.	Na závěr	106
8.4	Zobrazení průběhu výsledků	92			
8.5	Vytvoření řezu	93			

1. Úvod

Na následujícím příkladu předvedeme základní funkce RFEMu. Jako každý software připouští i program RFEM různé postupy, z nichž si uživatel může v té které situaci podle uvážení vybrat. Na tomto cvičném příkladu si můžete sami nejlépe vyzkoušet jednotlivé možnosti.

Jako příklad nám poslouží smíšená konstrukce s betonovými a ocelovými prvky. Vytvoříme zatěžovací stavy vlastní tíha, užité zatížení, zatížení sněhem, zatížení větrem a imperfekce a vypočítáme je podle teorie I. a II. řádu.

Tento příklad lze zadat, spočítat a vyhodnotit i v demoverzi programu, která připouští maximálně dvě plochy a 12 prutů. Z tohoto důvodu prosíme o shovívavost, pokud model nesplňuje všechny realistické požadavky. Na příkladu bychom chtěli spíše předvést, jakými různými způsoby lze zadávat jednotlivé konstrukční prvky a zatížení.

Vzhledem k tomu, že skládat zatížení do kombinací podle EN 1990 je náročné, použijeme v RFEMu 5 interní generátor kombinací zatížení.



Ve zkušební 30denní verzi programu můžeme model bez problému vypracovat. Oproti tomu v demoverzi není bohužel možné zadání údajů ukládat. Doporučujeme proto vyhradit si pro tento příklad dostatek času (tj. přibližně dvě až tři hodiny). Všechny příslušné funkce si pak můžete v klidu vyzkoušet. Práci na modelu lze také přerušit, pokud program RFEM nezavřeme: při delších pauzách počítač nevypneme, ale převedeme ho do pohotovostního režimu.



Práci na příkladu si ulehčíme, pokud můžeme používat dvě obrazovky najednou. Tento návod si můžete také vytisknout, pokud se chcete vyhnout neustálému přepínání mezi manuálem a programem RFEM.



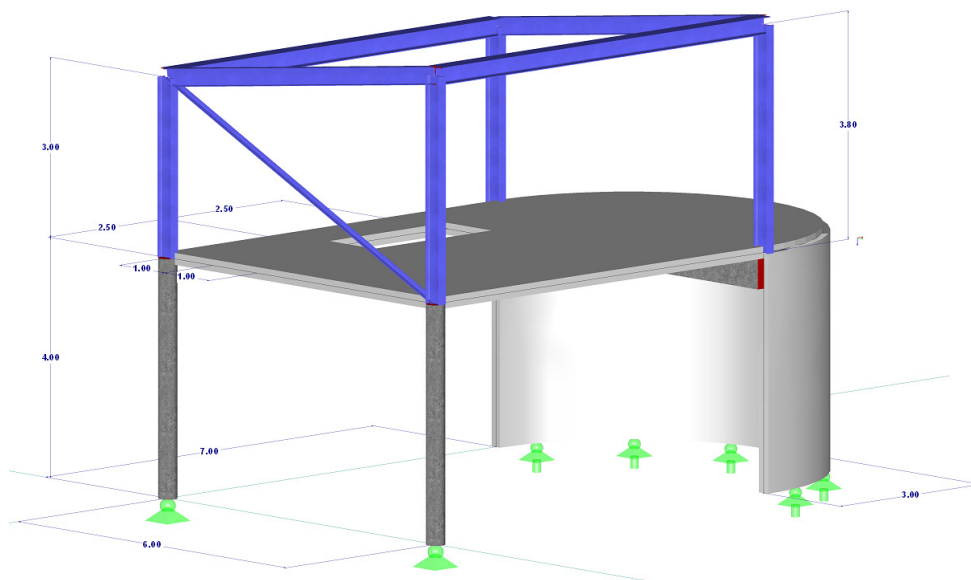
V textu uvádíme popisované **ikony** (tlačítka) v hranatých závorkách, např. [Detaily...]. Tlačítka jsou zároveň zobrazena na levém okraji. **Názvy** dialogů, tabulek a jednotlivých nabídek jsou pak pro lepší přehlednost a jasnost v textu vyznačeny *kurzivou*. Nezbytné vstupní údaje uvádíme **tučným** písmem.

Popis jednotlivých funkcí programu najdete v příručce k programu RFEM, kterou si můžete stáhnout na našich webových stránkách v sekci Download: www.dlubal.cz/Stahnout-manualy.aspx.

2. Konstrukce a zatížení

2.1 Náčrt konstrukce

Jako příklad nám poslouží železobetonová konstrukce s ocelovou nástavbou.



Obr. 2.1: Statická konstrukce

Spodní železobetonová konstrukce se skládá ze stropního panelu s průvlakem, půlkruhové skořepiny a dvou válcových sloupů. Část této nosné konstrukce leží pod povrchem země.

V případě ocelového rámu se jedná o střešní pultovou konstrukci s diagonálním vyztužením.

Jak jsme se již zmínili, daná konstrukce je víceméně "teoretický" model, který lze zpracovat i v demoverzi omezené na dvě plochy a 12 prutů.

2.2 Materiály, tloušťky a průřezy

Použijeme následující materiály: beton C 30/37 a ocel S 235.

Tloušťka stěn i stropu je 20 cm. Průměr obou betonových sloupů je 30 cm, průvlak je 25 cm široký a 40 cm vysoký.

Na levý i pravý ocelový rám střešní pultové konstrukce použijeme profily HE-A 300. Pro obě vaznice zvolíme HE-B 260, diagonální ztužení sestává z rovnoramenného úhelníku L 80x8.

2.3 Zatížení

Zatěžovací stav 1: Vlastní tíha a nástavba

Zatížení je dáno vlastní tíhou nosné konstrukce a tlakem stropní konstrukce o velikosti 1,5 kN/m². Vlastní tíhu není třeba počítat ručně; RFEM ji stanoví automaticky na základě použitých materiálů, tloušťky ploch a průřezů.

Na půlkruhovou stěnu dále působí tlak zeminy. Pokud je typem půdy štěrk, zatížení na patu stěny se vypočítá následovně: $q = 16,0 \text{ kN/m}^2 * 4,0 \text{ m} = 64 \text{ kN/m}^2$.

Střešní zatížení (střešní krytina, vnitřní a nosná konstrukce) se stanoví na 1,2 kN/m².

Zatěžovací stav 2: Užité zatížení

V případě shromažďovacího prostoru kategorie C1 je třeba počítat s užitným zatížením 3,0 kN/m² působícím na stropní plochu.

V oblasti otvoru je dále třeba uvážit svislé liniové zatížení o velikosti 5,0 kN/m. Představuje zatížení přístupovým schodištěm.

Zatěžovací stav 3: Sníh

Zatížení sněhem se uvažuje podle EN 1991-1-3 pro oblast zatížení sněhem 1.

Zatěžovací stav 4: Vítr

Zatížení větrem se vyšetří pro názornost pouze ve směru osy Y (směr větru: od spodního k hornímu okraji střešní desky). Zatížení se bude uvažovat podle EN 1991-1-4 pro pultové střechy a uzavřené svislé stěny. Stavba se nachází ve větrné oblasti 1 a v terénu kategorie III. Vzhledem k tomu, že sklon střechy je větší než 5°, musí se zohlednit kladné i záporné součinitele vnějšího tlaku. V tomto zatěžovacím stavu se budou uvažovat kladné součinitele vnějšího tlaku.

Železobetonová část konstrukce je vystavena zatížení větrem pouze částečně. V případě sloupu na straně spodního okraje střechy se bude uvažovat náhradní lichoběžníkové zatížení s pořadnicemi 0,5 kN/m a 2,0 kN/m, u sloupu na straně horního okraje střechy pak náhradní konstantní zatížení 1,5 kN/m.

Zatěžovací stav 5: Imperfekce

Imperfekce je třeba zohlednit podle Eurokódu 3. Naklonění a zakřivení se zohlední v samostatném zatěžovacím stavu. Lze jim tak v kombinaci s jinými zatíženími přiřadit specifické dílčí součinitele spolehlivosti.

Podobně jako zatížení větrem vyšetříme v našem příkladu také imperfekce pouze ve směru osy Y.

Pro sloupy průřezu HE-A 300 platí podle EN 1993-1-1, tabulky 6.2 křivka vzpěrné pevnosti b (vybočení ve směru osy y). Počáteční naklonění φ_0 a prohnutí w_0 se spočítají podle EN 1993-1-1, čl. 5.3.2.

Imperfekce u obou železobetonových sloupů se budou uvažovat podle EN 1992-1-1, čl. 5.2.

3. Vytvoření modelu konstrukce

3.1 Spuštění programu RFEM



Program RFEM spustíme příkazem z nabídky

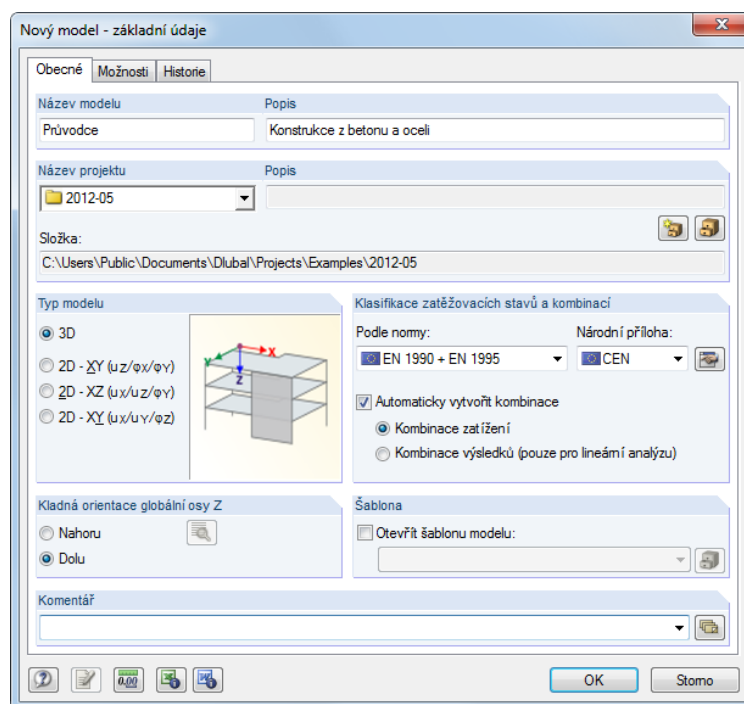
Start → Všechny programy → Dlubal → Dlubal RFEM 5.01

nebo kliknutím na ikonu **Dlubal RFEM 5.01** na pracovní ploše.

3.2 Vytvoření modelu

Otevře se pracovní okno. Systém nás v dialogu vyzve k zadání základních údajů o novém modelu.

V případě, že se nám ihned zobrazí některý model, zavřeme ho z hlavní nabídky **Soubor → Zavřít** a otevřeme příslušný dialog příkazem z hlavní nabídky **Soubor → Nový**.



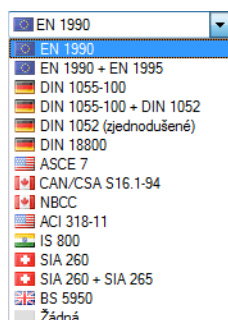
Obr. 3.1: Dialog *Nový model - základní údaje*

Ve vstupním poli *Název modelu* zadáme **Příklad**, v poli *Popis* napravo uvedeme **Konstrukce z betonu a oceli**. Pole *Název modelu* je vždy třeba vyplnit, neboť tento údaj bude sloužit jako název souboru. Vstupní pole *Popis* může zůstat prázdné.

Ve vstupním poli *Název projektu* vybereme ze seznamu projekt **Příklady**, pokud již není přednastaven. *Popis* projektu a *Složka*, v níž se uvádí cesta k souboru, se pak zobrazí automaticky.

V sekci *Typ modelu* v tomto dialogu je již přednastavena volba **3D**, která umožňuje modelování v prostoru. Také *kladnou orientaci globální osy Z* ponecháme na přednastavené volbě **Dolů**.

V sekci *Klasifikace zatěžovacích stavů a kombinací* je pak třeba nastavit následující údaje: ze seznamu *Podle normy* vybereme položku **EN 1990**. V poli *Národní příloha* ponecháme **CEN**. Je důležité zadat tyto údaje, aby se zatížení poskládala do kombinací v souladu s požadovanou normou s příslušnými dílčími součiniteli spolehlivosti a kombinačními součiniteli.



Dále zaškrtneme políčko *Automaticky vytvořit kombinace*. Zatížení se mají skládat do **kombinací zatížení**.

Základní údaje modelu jsme tak definovali. Dialog zavřeme kliknutím na [OK].

Nyní se nám zobrazí prázdná pracovní plocha.

4. Údaje o modelu konstrukce

4.1 Nastavení pracovního okna a rastru

Zobrazení



Nejdříve maximalizujeme pracovní okno kliknutím na vlevo znázorněné tlačítko, které se nachází v titulkové liště daného okna. Na pracovní ploše se nachází střed souřadnic s vyznačenými globálními osami X, Y a Z.



Polohu středu souřadnic na obrazovce lze měnit. Slouží k tomu tlačítko [Zapnout posun, zoom [Shift], natočení [Ctrl], resp. [Alt]] v panelu nástrojů. Kurzor se změní na symbol ručičky. Tahem při současném stisknutí levého tlačítka, popř. kolečka myši lze pak pracovní plochu libovolně posunovat.

Obdobně lze ručičkou pohled také otáčet nebo zvětšovat/zmenšovat:

- Natočení: táhneme pravým tlačítkem nebo kolečkem myši a držíme přitom klávesu [Ctrl]
- Zvětšení/zmenšení: táhneme pravým tlačítkem nebo kolečkem myši a držíme přitom klávesu [Shift]; stejného účinku lze dosáhnout i rolováním kolečka myši

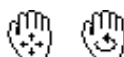
Funkci lze ukončit několika způsoby:

- Znovu klikneme na dané tlačítko
- Stiskneme klávesu [Esc]
- Klikneme pravým tlačítkem myši do pracovní plochy

Funkce myši

Používání myši odpovídá běžným standardům OS Windows. Jednoduchým kliknutím **levým** tlačítkem myši vybereme objekt k dalšímu zpracování, dvojím kliknutím otevřeme dialog pro úpravu objektu.

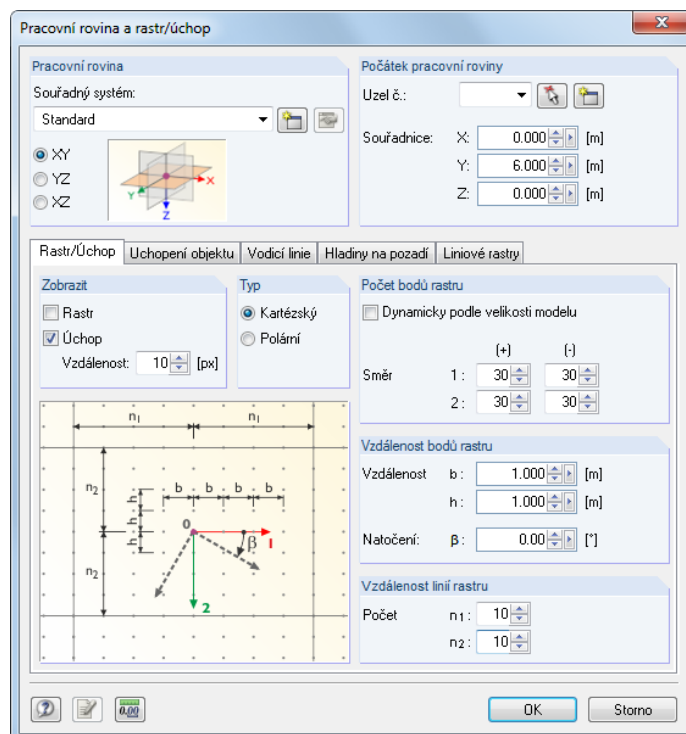
Klikneme-li na objekt **pravým** tlačítkem myši, vyvoláme jeho místní nabídku. Místní nabídka obsahuje příkazy a funkce, které lze u daného objektu použít.



Rolovací kolečko je velmi užitečným pomocníkem při práci v grafickém okně. **Rolováním (otáčením kolečka myši)** lze aktuální zobrazení zvětšovat, resp. zmenšovat. Pomocí stisknutého rolovacího kolečka myši lze konstrukci přímo přesouvat. Pokud přitom zároveň stiskneme klávesu [Ctrl], můžeme model konstrukce natáčet. Konstrukci lze otáčet také rolovacím kolečkem při současném stisknutí pravého tlačítka myši. Symboly, které se zobrazí na kurzoru myši, znázorňují vždy právě zvolenou funkci.

Rastr

Pracovní rovina je rastrovaná. Vzdálenost bodů rastru lze nastavit v dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop*. Tento dialog otevřeme pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



Obr. 4.1: Dialog *Pracovní rovina a rastr/úchop*

ÚCHOP RASTR

Pro pozdější zadání v rastrových bodech je důležité, aby byla ve stavovém řádku aktivována tlačítka *ÚCHOP* a *RASTR*. Rastr tak lze v pracovní rovině vidět a jednotlivé body bude možné kliknutím na rastr uchopit.

Pracovní rovina

Jako pracovní rovina je nastavena rovina XY. To znamená, že všechny graficky zadané objekty budou vloženy do této vodorovné roviny. Při zadání v dialogu nebo v tabulce nehraje pracovní rovina žádnou roli.

Přednastavené údaje jsou pro náš příklad vyhovující, proto ukončíme tento dialog kliknutím na [OK] a nyní již můžeme začít se zadáním konstrukce.

4.2 Zadání ploch

Uživatel může nejdříve zadat v grafickém okně nebo v tabulce rohové uzly, propojit je liniemi a na jejich základě vytvořit plochy. Další možností, kterou zvolíme nyní i my, je zadat linie a plochy přímo v grafickém okně.

4.2.1 Strop

Stropní deska se skládá z obdélníkové a půlkruhové plochy.

4.2.1.1 Zadání obdélníkové plochy

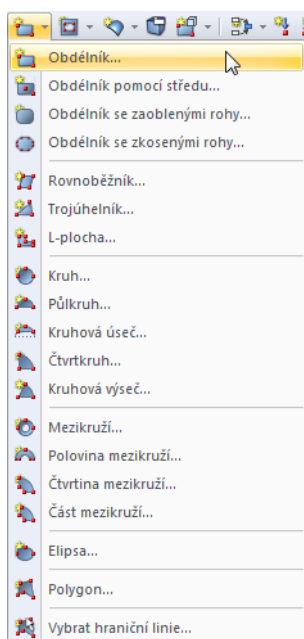
Vzhledem k tomu, že obdélníkové desky patří k často používaným prvkům, lze je velmi rychle zadat z hlavní nabídky

Vložit → Údaje pro model → Plochy → Rovinná plocha → Graficky → Obdélník...

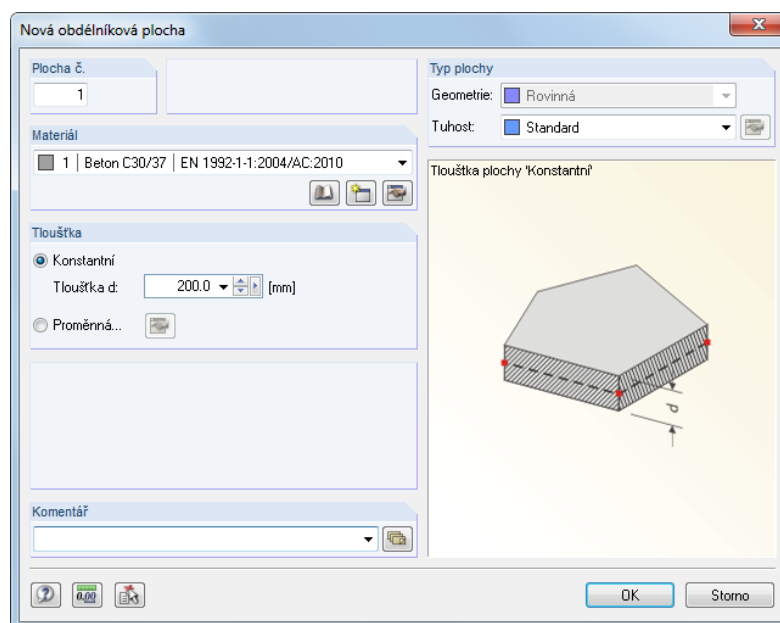
nebo kliknutím na rozbalovací tlačítko pro rovinné plochy v panelu nástrojů. Pokud klikneme na šipku [▼] u tohoto tlačítka, otevře se seznam s rozsáhlou nabídkou ploch různé geometrie.

Pokud zvolíme [Obdélník...], lze požadovanou plochu ihned vytvořit. Příslušné uzly a linie se vytvoří automaticky s plochou.

Po vyvolání této funkce se zobrazí dialog *Nová obdélníková plocha*.



Rozbalovací tlačítko pro rovinné plochy



Obr. 4.2: Dialog *Nová obdélníková plocha*

Přednastavena je již *Plocha č. 1*. Tento údaj ponecháme beze změny.

Přednastaven je i *materiál: beton C30/37* podle EN 1992-1-1. Pokud bychom chtěli použít jiný materiál, klikli bychom na tlačítko [Převzít nový materiál z databáze...] pod tímto políčkem.

V sekci *Tloušťka* ponecháme typ *konstantní*, hodnotu *tloušťky d* oproti tomu zvýšíme na **20 cm** pomocí číselníku nebo ji ručně vyplníme v poli.

V sekci *Typ plochy* je nastavena *tuhost* odpovídající *standardu*.

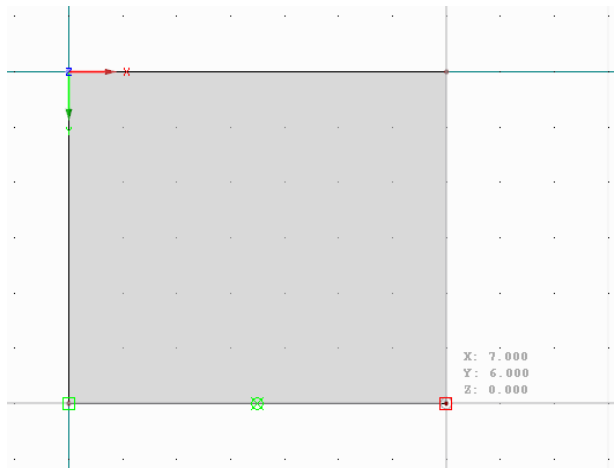
Dialog zavřeme tlačítkem [OK]. Nyní můžeme desku zadat v grafickém okně.

Plochu lze snáze zadat, pokud nastavíme pomocí vlevo znázorněného tlačítka v panelu nástrojů [Pohled ve směru osy Z] („Pohled shora“). Zadávací režim se tím nepřeruší.



První roh desky zadáme kliknutím levým tlačítkem myši na **počátek rastru** (souřadnice X;Y;Z = **0,000;0,000;0,000**). Aktuální souřadnice kurzoru myši se zobrazí na nitkovém kříži.

Protilehlý roh desky na úhlopříčce zadáme kliknutím na bod rastru se souřadnicemi X;Y;Z = **7,000;6,000;0,000**.



Obr. 4.3: Obdélníková plocha 1

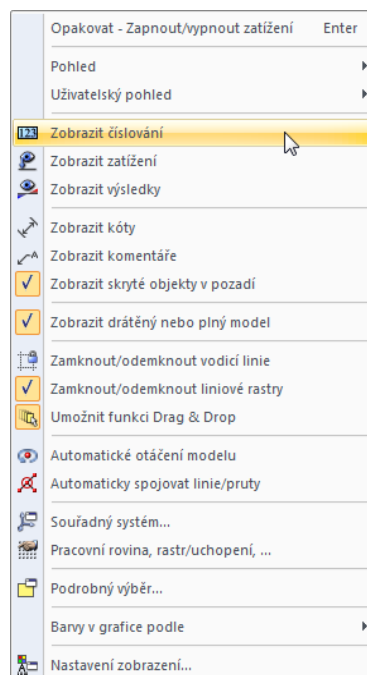
Vytvořili jsme čtyři uzly, čtyři linie a jednu plochu.

Vzhledem k tomu, že nechceme zadat žádnou další obdélníkovou plochu, ukončíme zadávací režim stisknutím klávesy [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně.

Číslování

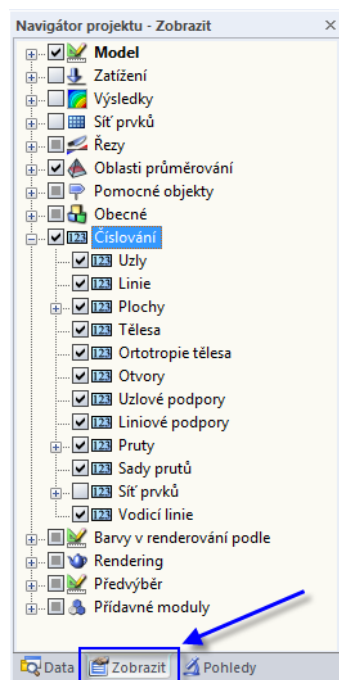


Číslování uzlů, linií a ploch lze nejrychleji aktivovat tak, že klikneme pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně a vybereme příslušný příkaz v místní nabídce.



Obr. 4.4: Funkce pro zobrazení číslování objektů v místní nabídce

V záložce *Zobrazit* v navigátoru v levé části obrazovky lze přesně nastavit, u jakých typů objektů se číslování zobrazí.



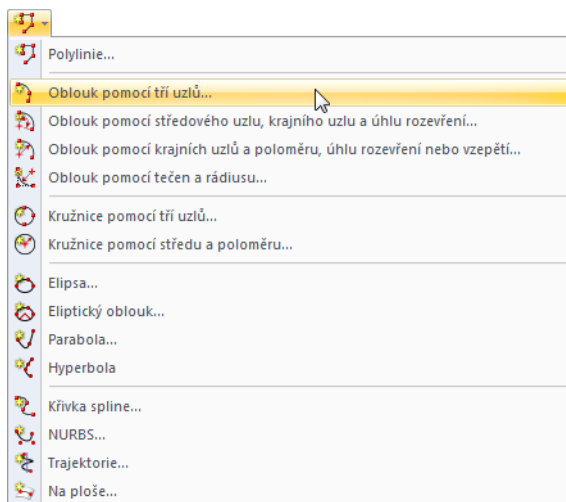
Obr. 4.5: Navigátor *Zobrazit* – nastavení číslování

4.2.1.2 Zadání oblouku

U stropní desky je třeba ještě doplnit oblast vymezenou kruhovým obloukem.

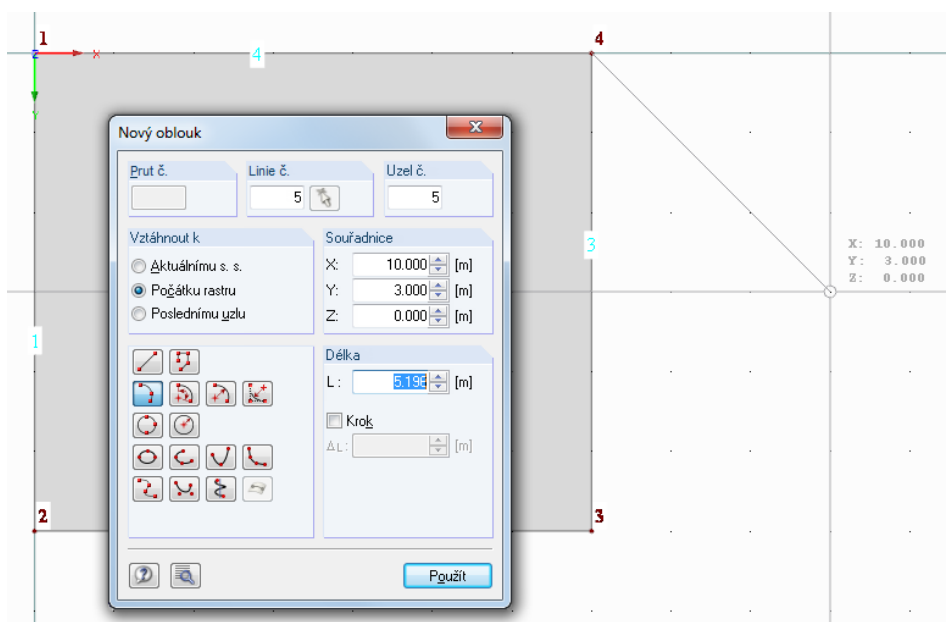


Klikneme na šipku [▼] vedle rozbalovacího tlačítka [Nová polylinie graficky] v panelu nástrojů, a otevřeme tak nabídku s funkcemi pro zadání zvláštních typů linií. Zvolíme možnost *Oblouk pomocí tří uzlů...*



Obr. 4.6: Rozbalovací tlačítko pro zadání linií - *Oblouk pomocí tří uzlů...*

V pracovním okně pak postupně klikneme na uzel **4**, bod rastru se souřadnicemi **10,000;3,000;0,000** a uzel **3**. Jakmile klikneme na poslední uzel, oblouk se vytvoří jako linie 5.



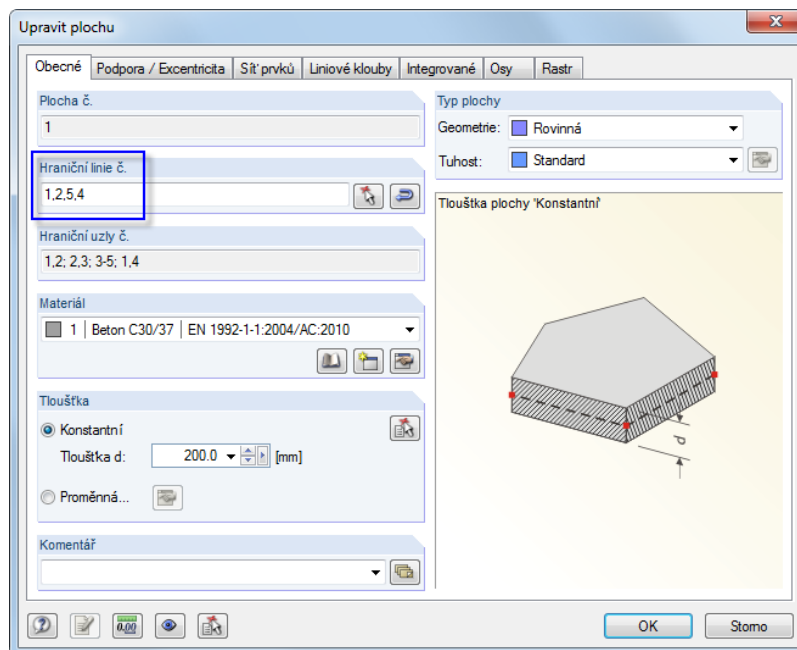
Obr. 4.7: Vytvoření kruhového oblouku pomocí tří uzlů

Zadávací režim ukončíme opět stisknutím klávesy [Esc].

4.2.1.3 Úprava stropní desky

Demoverze programu připouští pouze dvě plochy, proto nelze půlkruhovou plochu zadat jako novou vlastní plochu. Rozšíříme proto obdélníkovou plochu na obecnou rovinnou plochu, která bude zahrnovat oblast oblouku.

Klikneme dvakrát na plochu 1 v pracovním okně, a otevřeme tak dialog *Upravit plochu*.

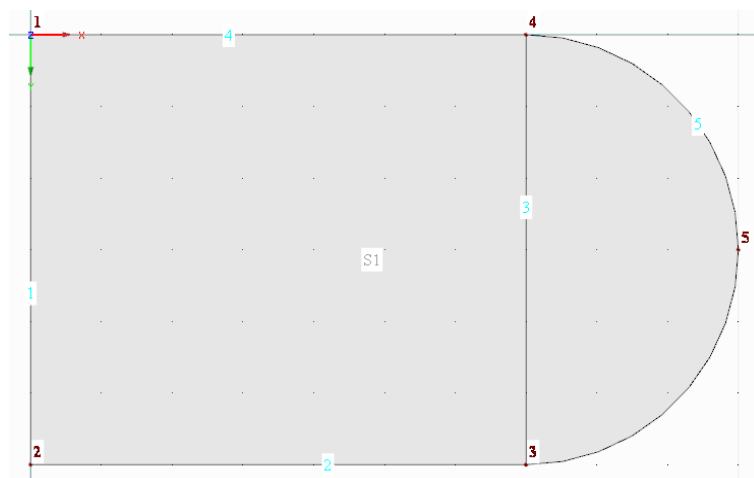


Obr. 4.8: Úprava hraničních linií

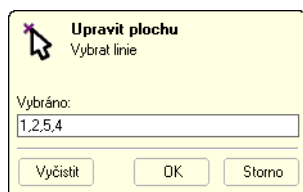
Máme dvě možnosti:

- Ve vstupním poli *Hraniční linie č.* můžeme ručně zadat čísla nových okrajových linií **1, 2, 4** a **5**
- Pomocí tlačítka [Vybrat] lze nové hraniční linie vybrat graficky v pracovním okně. V dialogu *Upravit plochu* musíme ovšem nejdříve [Smazat] uvedený seznam linií.

Stropní plocha by nyní měla vypadat následovně:



Obr. 4.9: Stropní deska



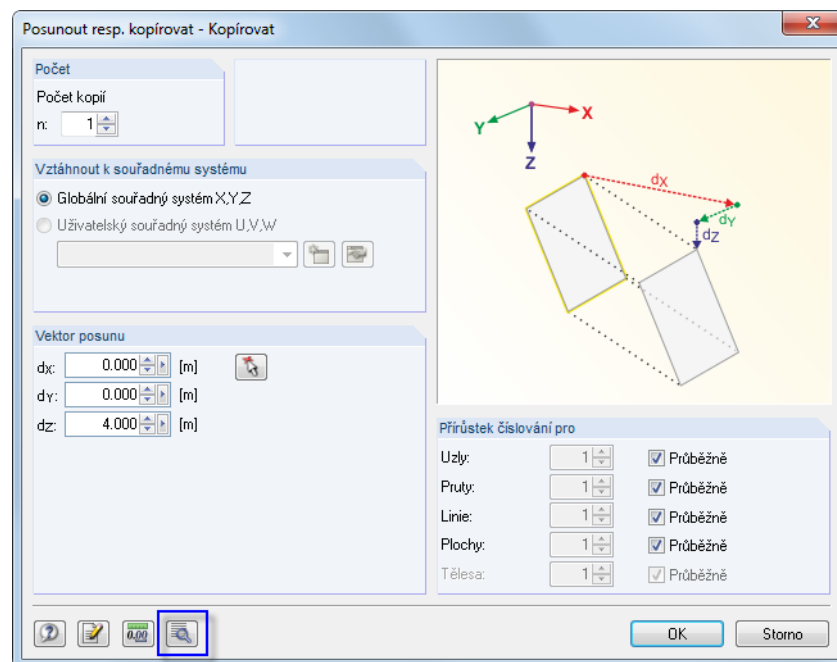
4.2.2 Stěna

Kopírování oblouku

Zakřivenou plochu nejsnáze vytvoříme tak, že kruhový oblouk zkopírujeme.

Levým tlačítkem myši klikneme na linii oblouku 5 (jednoduché kliknutí). Vybraná linie se nyní znázorní odlišnou barvou; pokud je pozadí černé, je pro výběr přednastavena žlutá barva.

Vlevo znázorněným tlačítkem otevřeme dialog *Posunout resp. kopírovat*.

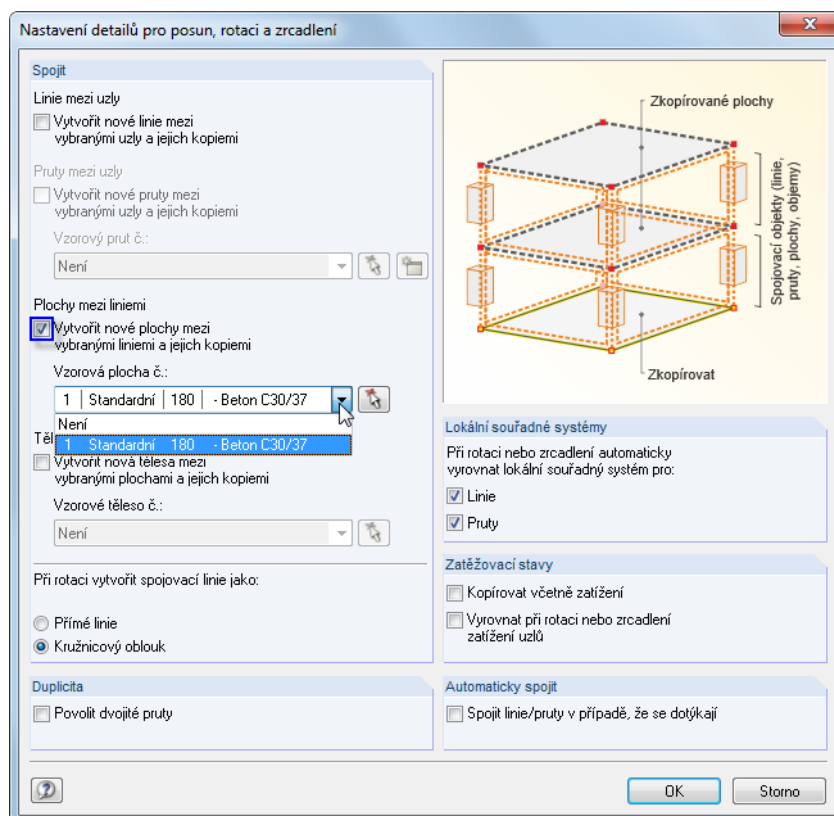


Obr. 4.10: Dialog *Posunout resp. kopírovat*

Počet kopií zvýšíme z 0 na **1**: oblouk se tak neposune, ale zkopíruje. Vzhledem k tomu, že výška stěny je 4 m (konstrukční linie), zadáme jako *vektor posunu* d_z hodnotu **4,0** m.

Nyní klikneme na tlačítko [Nastavení dalších detailů...].





Obr. 4.11: Dialog *Nastavení detailů pro posun, rotaci a zrcadlení*

V sekci *Spojit* označíme následující možnost:

- ☒ Vytvořit nové plochy mezi vybranými liniemi a jejich kopiemi

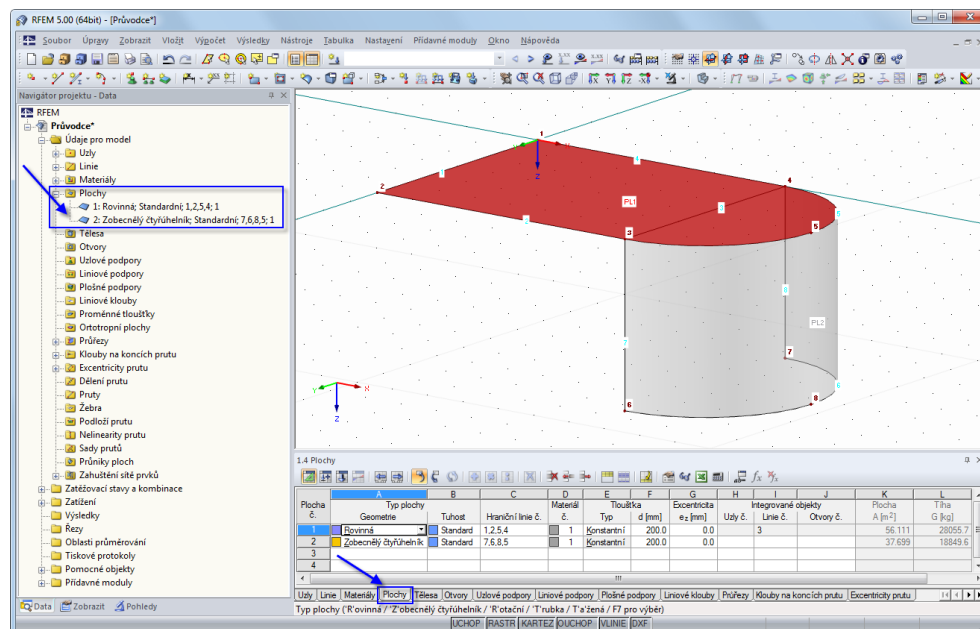
Jako *vzorovou plochu* vybereme ze seznamu plochu **1**. Nová plocha tak převezme vlastnosti stropní desky (materiál, tloušťku).

Oba dialogy zavřeme tlačítkem [OK].

Nastavení izometrického pohledu



Pomocí vlevo znázorněného tlačítka nastavíme [Izometrický pohled] pro prostorové zobrazení modelu.



Obr. 4.12: Model konstrukce v izometrickém pohledu s navigátorem a zadanými údaji v tabulce

Kontrola údajů v navigátoru a v tabulce

Veškeré zadané objekty najdeme ve stromové struktuře navigátoru *Data* a také v příslušných záložkách tabulky. Položky v navigátoru lze (stejně jako ve Windows Exploreru) rozbalit kliknutím na [+]; mezi jednotlivými tabulkami lze přepínat kliknutím na názvy záložek.

V položce *Plochy* v navigátoru i v tabulce 1.4 *Plochy* se údaje o obou plochách zaznamenají v číselné podobě (viz obrázek výše). Stěna se vytvořila jako zobecněná čtyřúhelníková plocha, tzn. skořepina ohraničená 4 liniemi.

4.2.3 Otvor

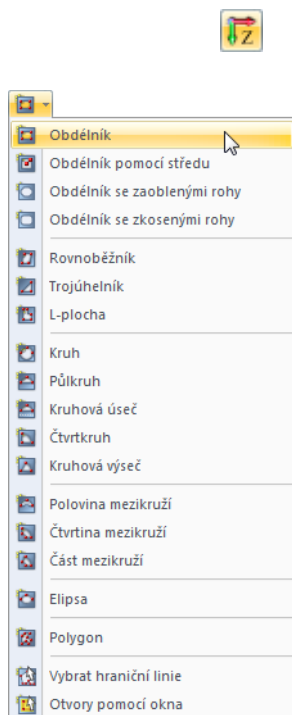
4.2.3.1 Zadání otvoru

Nyní vložíme do stropní desky obdélníkový otvor. Zadání si usnadníme, pokud v panelu nástrojů opět nastavíme [Pohled ve směru osy Z].

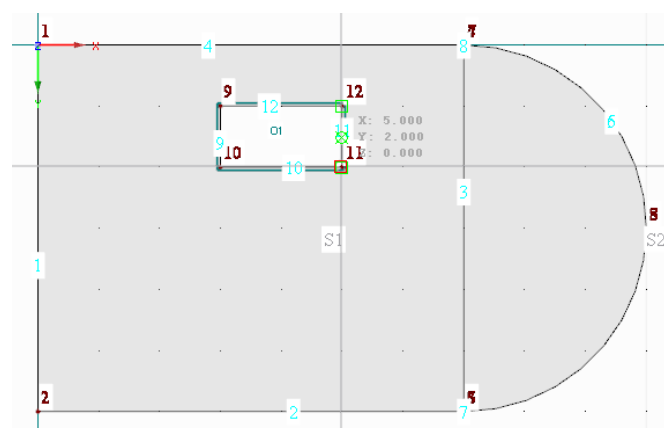
Otvor lze zadat přímo, tj. není třeba nejdříve definovat linie. V seznamu otvorů vybereme položku *Obdélník*.

První uzel otvoru zadáme v bodě rastru **3,000;1,000;0,000**. Druhý uzel vytvoříme v rastrovém bodě **5,000;2,000;0,000**.

Otvor je tak ovšem příliš krátký; jeho délku musíme upravit v příštím kroku.



Rozbalovací tlačítko pro otevření seznamu otvorů



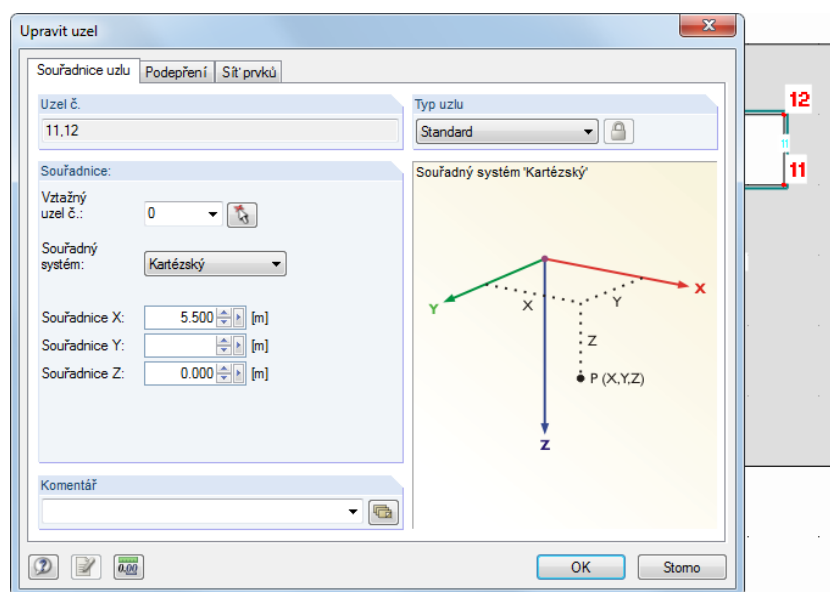
Obr. 4.13: Zadání obdélníkového otvoru

Zadávací režim ukončíme tak, že stiskneme klávesu [Esc] nebo klikneme pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně.

4.2.3.2 Úprava otvoru

Délka otvoru je ve skutečnosti 2,50 m. Postupně vybereme myší se stisknutou klávesou [Ctrl] oba příslušné uzly 11 a 12.

Pokud na některý z těchto uzlů dvakrát klikneme, otevře se dialog *Upravit uzel*.

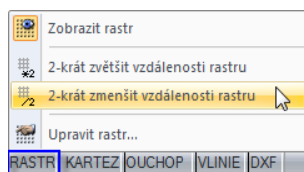


Obr. 4.14: Dialog *Upravit uzel*

Ve vstupním poli *Uzel č.* jsou uvedeny oba uzly. *Souřadnici X* upravíme na **5,500** m a zadání potvrdíme tlačítkem [OK]. Otvor má nyní správnou délku.

Jiná možnost: Otvor bychom mohli ihned zadat bez nutnosti změny souřadnic, pokud bychom upravili rastr. V dialogu *Pracovní rovina a rastr/úchop* (viz obr. 4.1, strana 11) by bylo nejdříve nutné zmenšit vzdálenost bodů rastru na 0,500 m. Ještě rychleji lze vzdálenost mezi body rastru upravit z místní nabídky tlačítka RASTR ve stavovém řádku, kterou vidíme na levém okraji. Otevřeme ji pravým tlačítkem myši.

Plochy tak máme kompletně zadány.



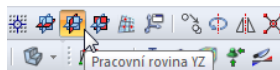
4.3 Vytvoření betonových sloupů

4.3.1 Sloupy

Prutové prvky jsou vázány na linie, tzn. s prutem se automaticky vytvoří i linie.

Změna pracovní roviny

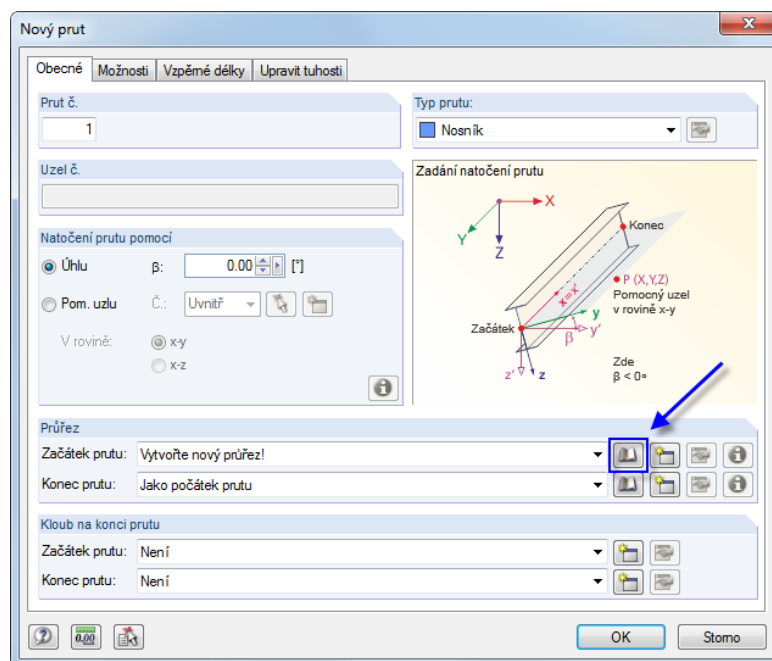
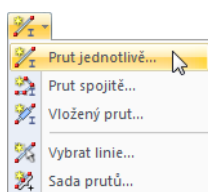
Pro grafické zadání sloupů je třeba přepnout z vodorovné do svislé pracovní roviny. V panelu nástrojů máme k dispozici tři tlačítka pro výběr pracovní roviny. Kliknutím na prostřední z nich nastavíme [Pracovní rovinu YZ].



Předtím, než budeme pokračovat, model zobrazíme opět v [Izometrickém pohledu]. Nyní vidíme, že rastr pro zadání objektů se rozpíná v rovině obou sloupů (viz obr. 4.18).

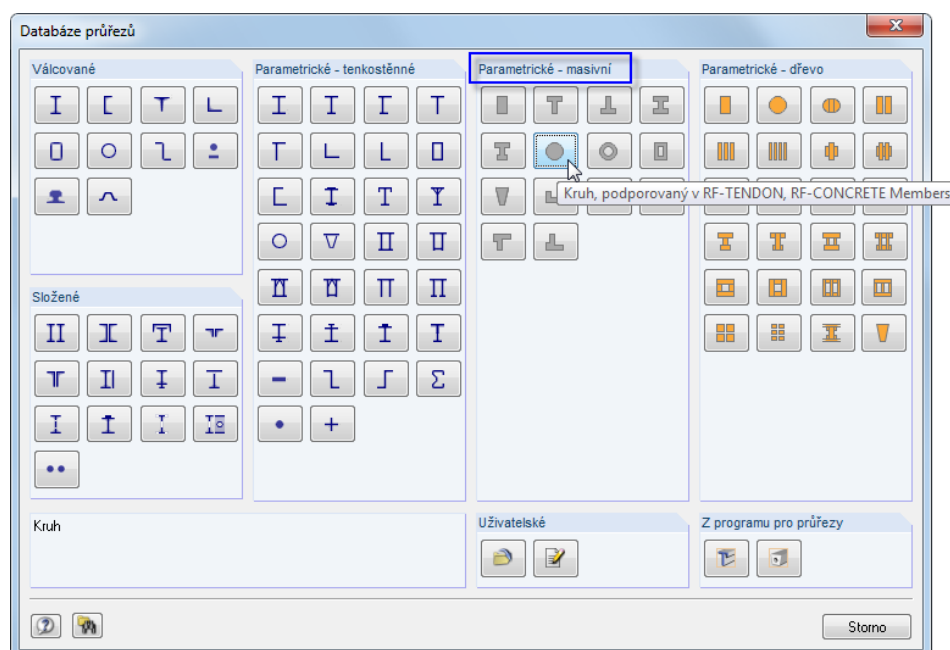
Zadání průřezu

Klikneme na rozbalovací tlačítko [Nové pruty jednotlivě]. Otevřeme tak dialog *Nový prut*.



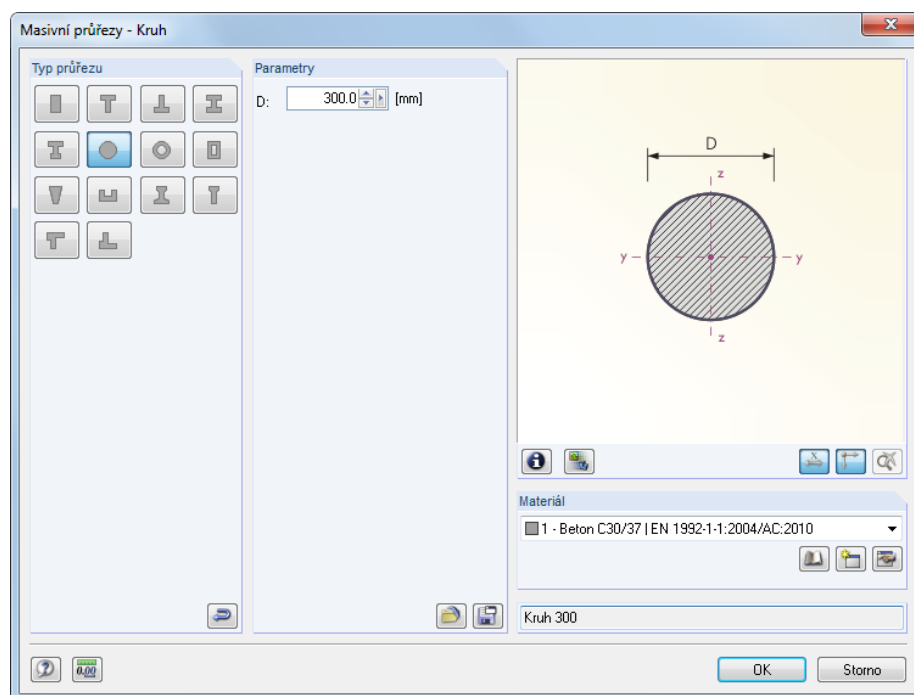
Obr. 4.15: Dialog *Nový prut*

Přednastavené údaje můžeme ponechat beze změny. Je třeba vytvořit pouze nový *průřez*. Pro zadání průřezu na *začátku prutu* klikneme na tlačítko [Převzít z průřezové databáze...]. Otevře se databáze průřezů.



Obr. 4.16: Databáze průřezů

V sekci *parametrických - masivních* průřezů vybereme typ průřezu *Kruh*. Zobrazí se další dialog.



Obr. 4.17: Dialog Masivní průřezy - Kruh

Průměr sloupu D nastavíme na **30** cm.

Jako *materiál* je u masivních průřezů předem nastaven materiál č. 1 - beton C30/37.



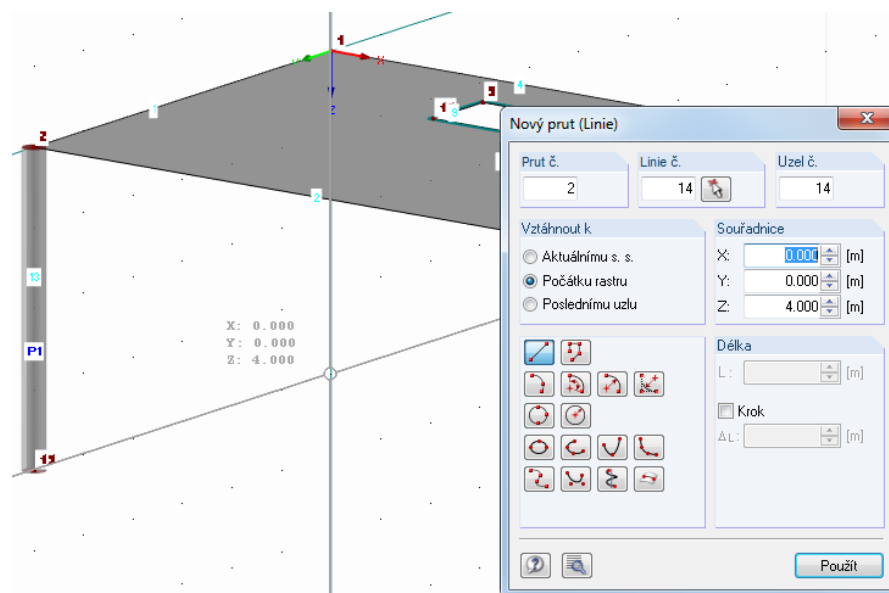
Pokud klikneme na tlačítko [Informace o průřezu...], můžeme přezkontrolovat hodnoty daného profilu.

Po potvrzení zadaných údajů tlačítkem [OK] se průřezové hodnoty převezmou a my se vrátíme do výchozího dialogu *Nový prut*. Ve vstupním poli *Začátek prutu* je nyní uveden daný průřez. Dialog zavřeme tlačítkem [OK], abychom mohli nyní sloupky graficky zadat.

Grafické zadání sloupů

Patu předního sloupu umístíme kliknutím myši do bodu rastru **0,000;6,000;4,000**.

Horní konec sloupu stanovíme v uzlu **2**.



Obr. 4.18: Umístění paty druhého sloupu

Funkce pro umístění prutu je stále aktivní. Můžeme proto pokračovat a zadat zadní sloup.

Patu druhého sloupu umístíme v bodě rastru **0,000;0,000;4,000**, jeho horní konec v nulovém bodě **1**.

Zadávací režim ukončíme stisknutím klávesy [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši.

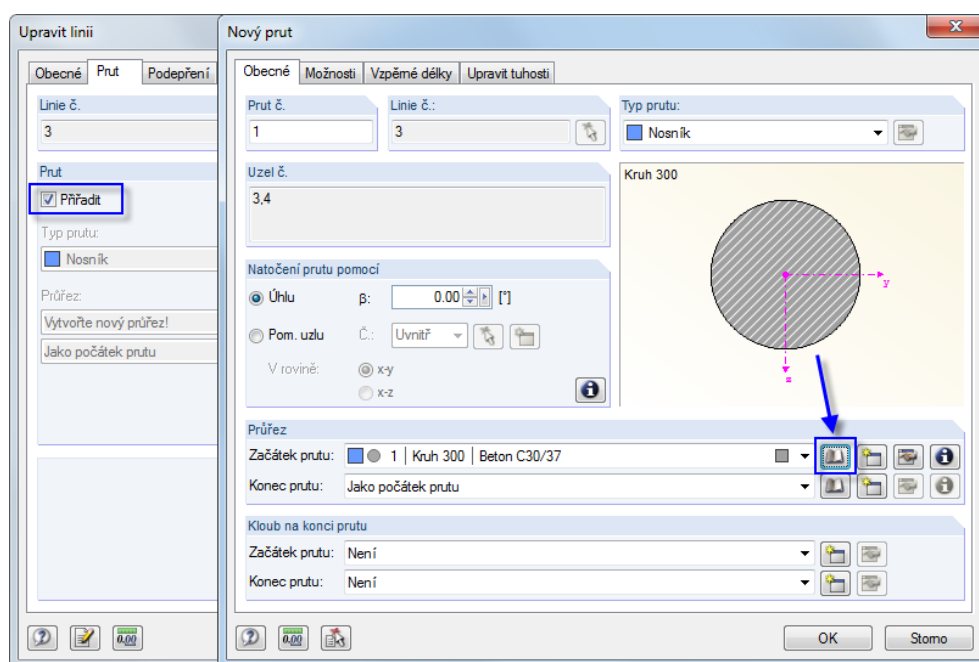
4.3.2 Žebro

V dalším kroku zadáme stropní průvlak.

Úprava vlastnosti linie

Nyní dvakrát klikneme na linii 3, a otevřeme tak dialog *Upravit linii*. V dialogu přepneme do záložky *Prut* a zaškrtneme možnost *Přiřadit prut* (viz obr. 4.19).

Znovu se zobrazí dialog *Nový prut*.



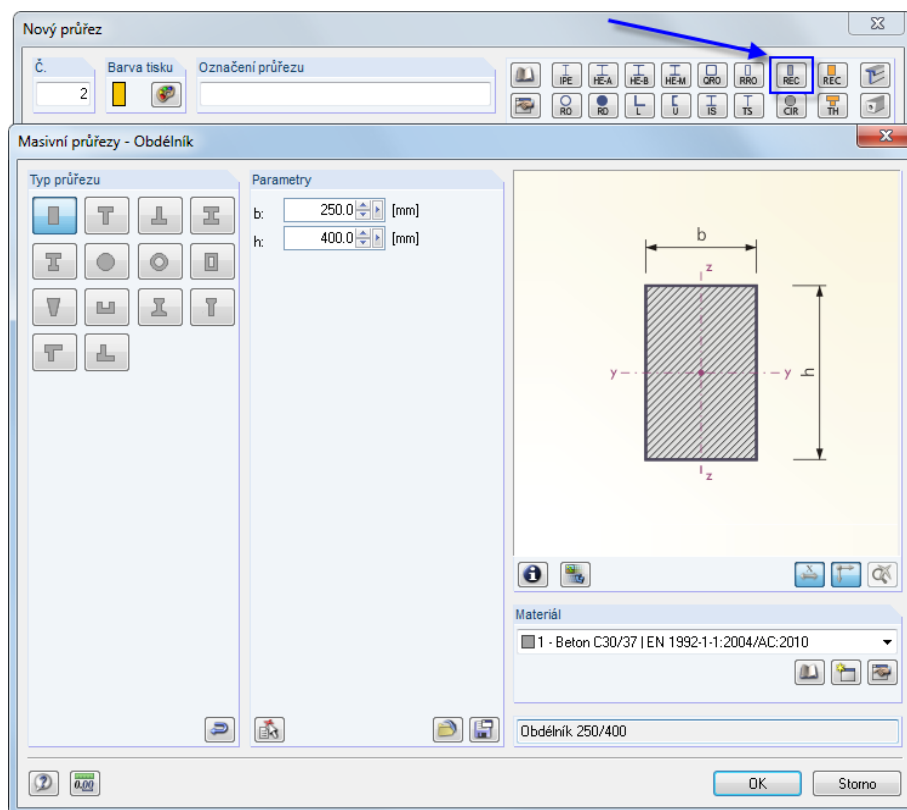
Obr. 4.19: Dialog *Nový prut*



Pro zadání průřezu na *začátku prutu* klikneme tentokrát na tlačítko [Vytvořit nový průřez na začátku prutu...].

V dialogu *Nový průřez* vybereme vpravo nahoře řadu masivních průřezů *REC* (viz obr. 4.20).

V dialogu *Masivní průřezy - Obdélník* poté nastavíme šířku *b* na **25** cm a výšku *h* na **40** cm.



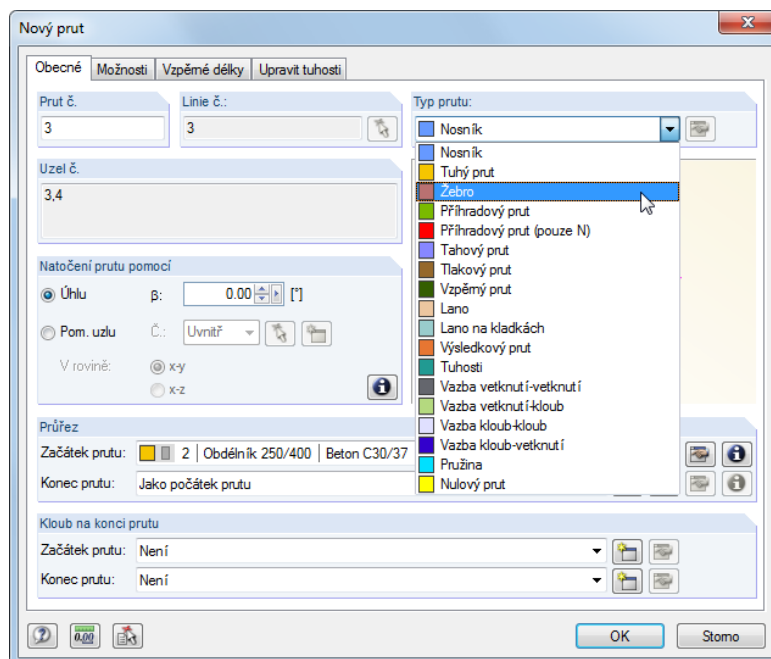
Obr. 4.20: Dialog Masivní průřezy - Obdélník

Po potvrzení zadaných údajů tlačítkem [OK] se průřezové hodnoty převezmou do dialogu *Nový průřez*. Jako materiál je opět předem nastaven materiál č. 1 - beton C30/37.

Poté, co i v tomto dialogu klikneme na [OK], vrátíme se do výchozího dialogu *Nový prut*. Ve vstupním poli *Začátek prutu* je nyní uveden daný obdélníkový průřez.

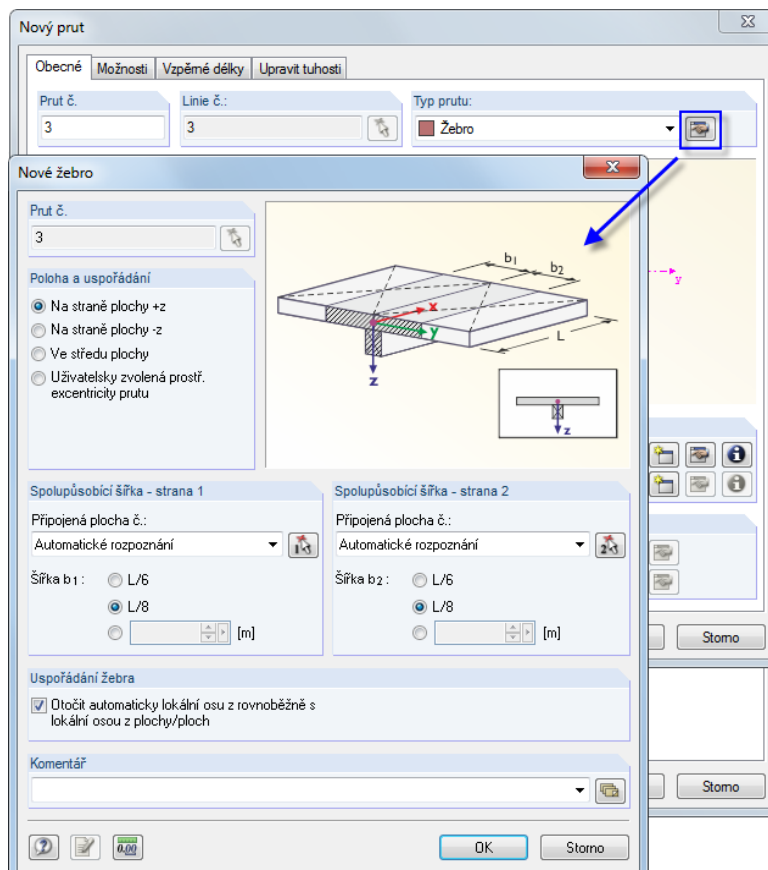
Zadání žebra

Průvlak lze v RFEMu modelovat jako prut typu *Žebro*. V horní části dialogu *Nový prut* změníme *typ prutu*: v seznamu vybereme položku *Žebro*.



Obr. 4.21: Úprava typu prutu

Tlačítkem [Upravit typ prutu...] otevřeme dialog *Nové žebro*.



Obr. 4.22: Zadání žebra

Polohu žebra stanovíme **na straně plochy +z**. Jedná se o dolní stranu stropní desky.

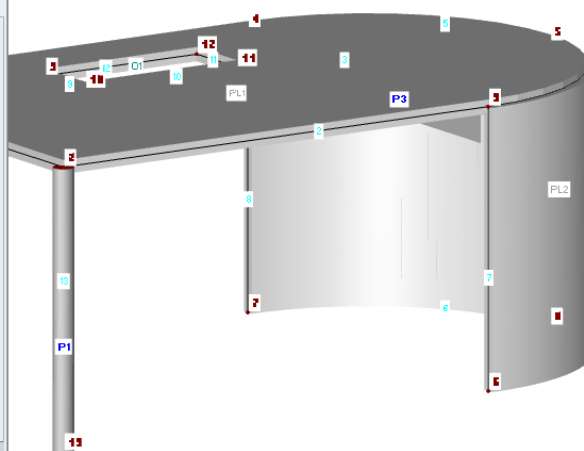
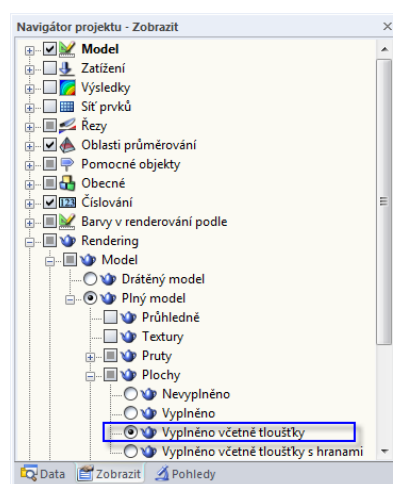
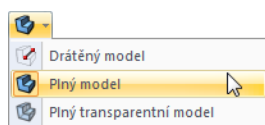
Jako *spolupůsobící šířku* zadáme pro obě strany **L/8** a necháme program RFEM, aby plochy automaticky rozpoznal.

Následně zavřeme všechny dialogy tlačítkem [OK] a výsledek zkontrolujeme v pracovním okně.

Změna typu zobrazení

Žebro se zobrazí jako excentricky uložený prut. Vzhledem k tomu, že transparentní model konstrukce neznázorňuje tloušťky ploch, zobrazíme konstrukci pomocí rozbalovacího tlačítka [Režim zobrazení] (viz obrázek vlevo) jako *plný model*. V tomto režimu zobrazení lze snáze ověřit polohu žebra.

V navigátoru *Zobrazit* dále zvolíme pro *plochy* rendering *Vyplněno včetně tloušťky*.

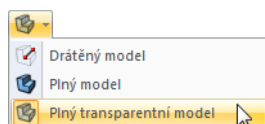


Obr. 4.23: Zobrazení plného modelu konstrukce



Pomocí tlačítka [Zapnout posun, zoom [Shift], natočení [Ctrl], resp. [Alt]] můžeme zobrazení upravit (viz „Funkce myši“ na straně 10). Kurzor se změní na symbol ručičky. Pokud nyní stiskneme klávesu [Ctrl], můžeme tahem myši konstrukci otáčet.

Předtím, než budeme se zadáním konstrukce pokračovat, přepneme opět do režimu zobrazení *Plný transparentní model*. V navigátoru *Zobrazit* pak také opět nastavíme rendering u ploch na volbu *Vyplněno*, abychom tak skryli zobrazení tloušťek.



4.4 Zadání podpor

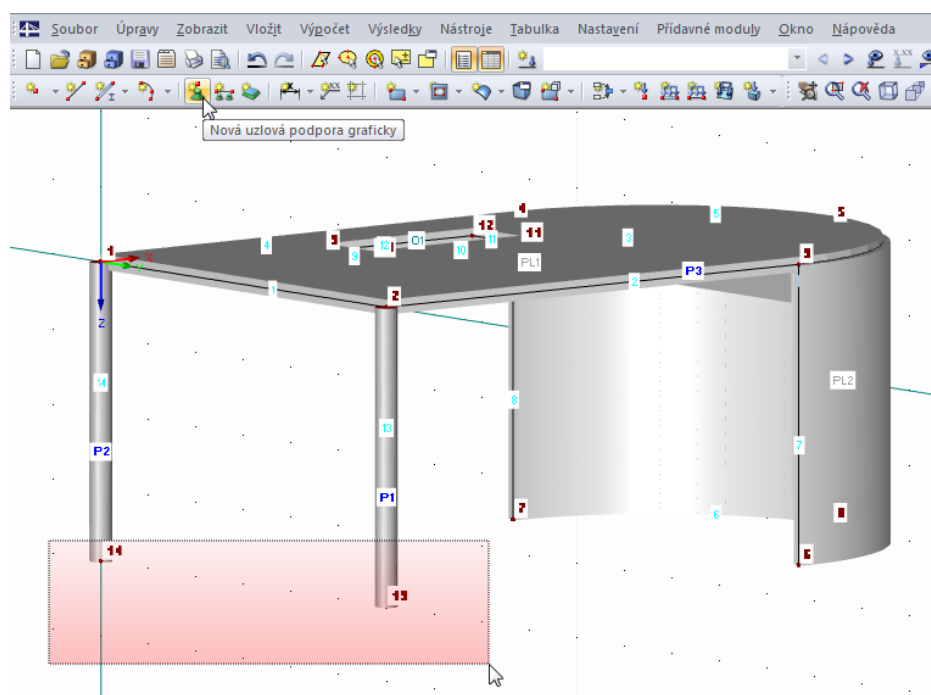
V modelu konstrukce ještě chybí definovat podpory. Podpory lze v RFEMu zadat na uzlech, liniích, prutech či plochách.

4.4.1 Uzlové podpory

Všem sloupům je v patě bráněno ve všech směrech ve vodorovném posunu, nikoli však v natočení.



Spodní uzly sloupů vybereme oknem, tzn. vyznačíme levým tlačítkem myši pravoúhlou oblast, v které leží uzly X a Y. Následně klikneme na tlačítko [Nová uzlová podpora graficky] a otevřeme dialog *Nová uzlová podpora*.

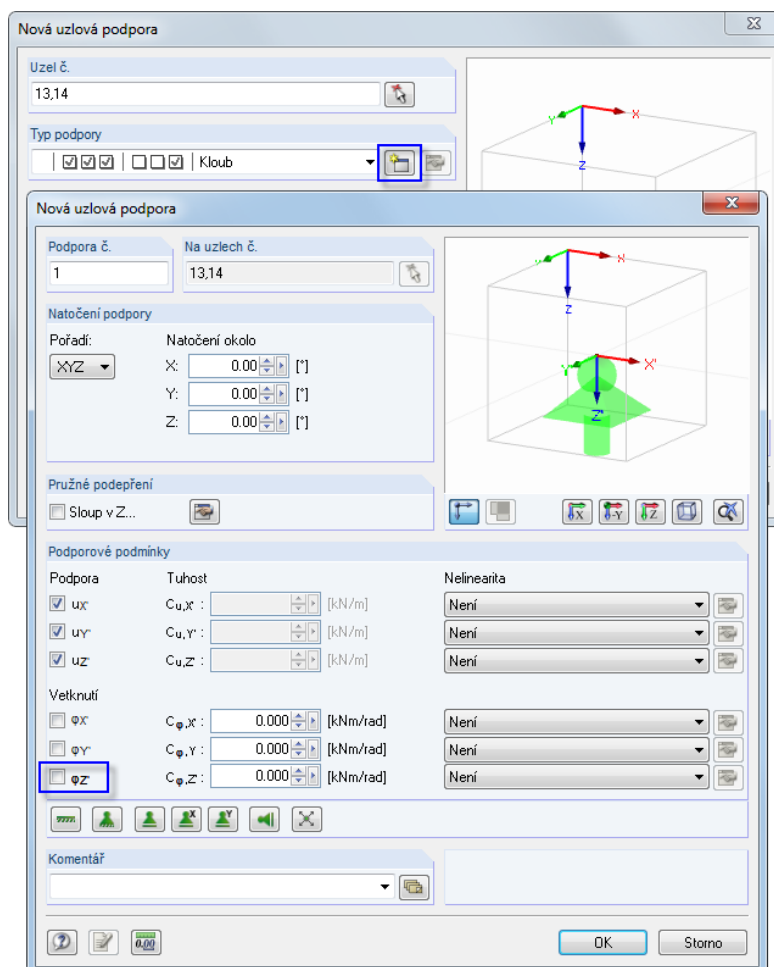


Obr. 4.24: Výběr uzlů ve spodní části sloupů oknem

Čísla obou uzlů 13 a 14 jsou uvedena v poli *Uzel č.*



Změníme typ podpory, protože předem nastavený typ odpovídá zamezení natočení kolem podélné osy prutu. Klikneme na tlačítko [Vytvořit nový typ uzlové podpory...] (viz obr. 4.25).



Obr. 4.25: Zadání stupňů volnosti

V druhém dialogu *Nová uzlová podpora* zrušíme označení u *vetknutí* pro natočení ϕ_z .

Poté, co oba dialogy zavřeme tlačítkem [OK], zobrazí se symboly podpor na modelu konstrukce.

4.4.2 Liniové podpory

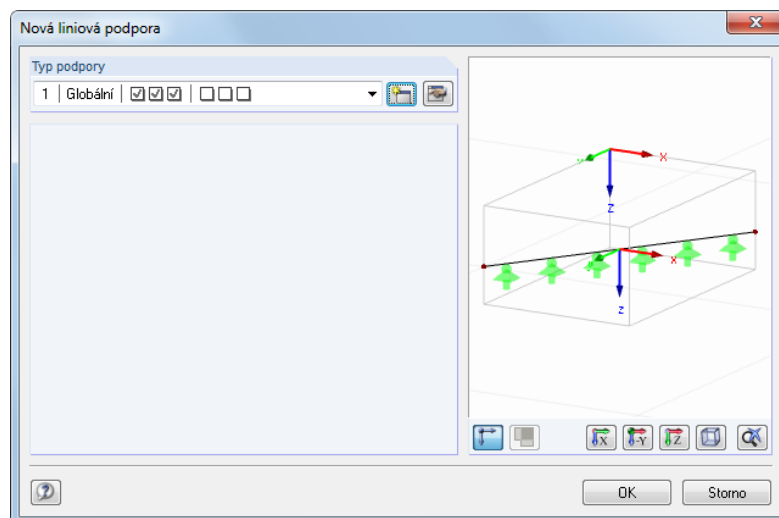
Spodní zakřivená linie stěny je také podepřena. Podporu tentokrát zadáme jiným způsobem: nejdříve definujeme vlastnosti podpory a poté je přiřadíme graficky.



Kliknutím na tlačítko [Nová liniová podpora graficky] otevřeme dialog *Nová liniová podpora*.

V dialogu je předem nastaven *typ podpory Kloub*. Háček v prvních třech políčkách znamená, že je bráněno vodorovnému posunu ve směru X, Y a Z; další tři políčka označena nejsou, protože kloub nebrání natočení okolo osy X, Y ani Z.

Zadání potvrdíme tlačítkem [OK], protože kloubová podpora je vhodná pro náš příklad.

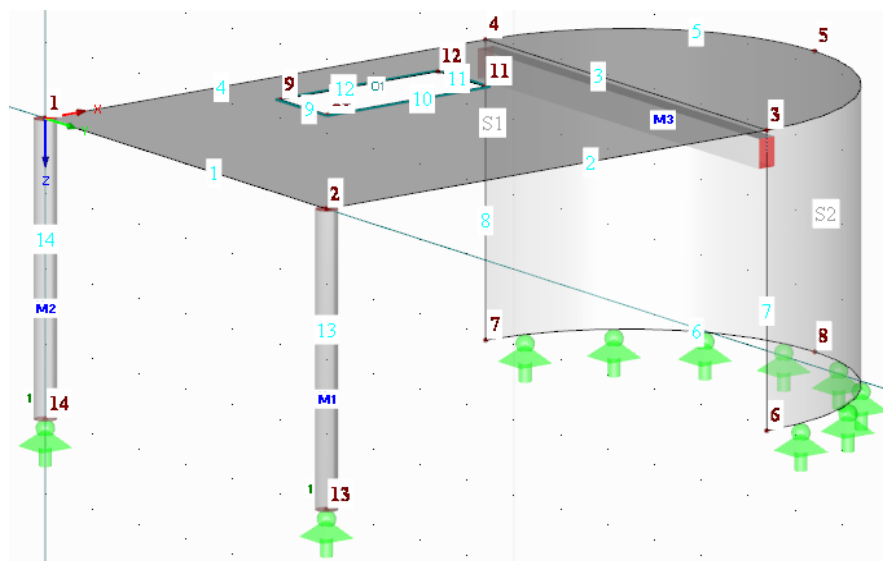


Obr. 4.26: Dialog *Nová liniová podpora*



Na kurzoru myši se nyní zobrazí symbol podpory. Změní se v nitkový kříž, pokud se přiblížíme k některé linii. Ve stavovém řádku se zobrazí číslo dané linie. Podporu umístíme na linii oblouku 6.

Železobetonová část konstrukce je tím kompletně zadána.



Obr. 4.27: Železobetonová část konstrukce s podporami

4.5 Vytvoření ocelových sloupů

4.5.1 Rám

Při zadání ocelové konstrukce nejdříve definujeme rám, který se nachází v rovině obou sloupů. Je přitom užitečné použít pro danou rovinu výřez: takzvaná *viditelnost* umožňuje uživatelům pracovat v určité oblasti modelu konstrukce, aniž by byli rušeni objekty, které leží v jiné rovině.

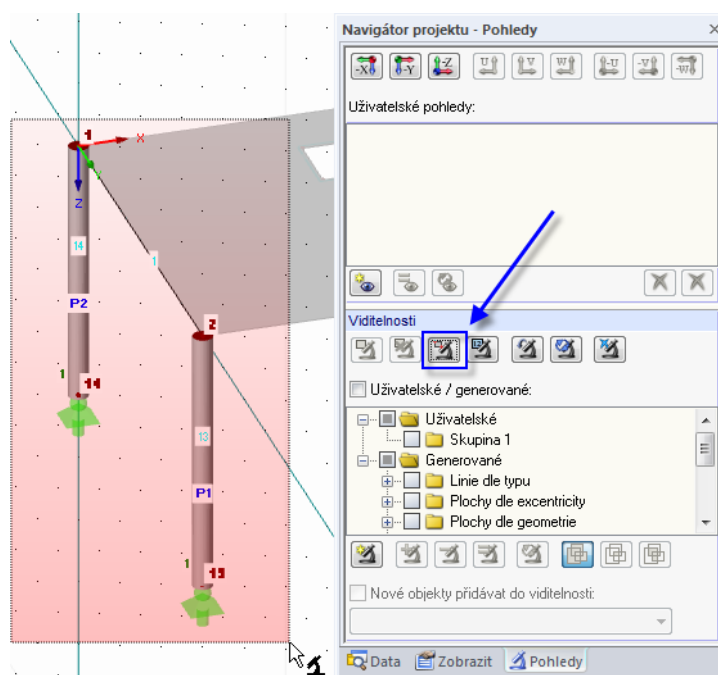
Vytvoření uživatelské viditelnosti

V navigátoru nastavíme záložku *Pohledy*. V ní se již nachází mnoho viditelností, které RFEM vygeneroval na základě zadaných údajů.

Tlačítko [Viditelnost oknem] vlevo nahoře umožňuje vybrat určitou oblast modelu graficky: poté, co funkci aktivujeme, vyznačíme myší zleva doprava okno, které zahrnuje celé oba sloupky.

Upozornění: Pokud vytváříme viditelnost oknem zleva doprava, bude viditelnost obsahovat pouze objekty, které se zcela v tomto okně nacházejí. Pokud ji vytváříme zprava doleva, budou do viditelnosti zahrnuty i objekty, které leží v okně pouze částečně.

Ostatní části modelu konstrukce (strop, stěna) se zobrazí méně výrazně na pozadí. Tyto objekty nelze upravovat.

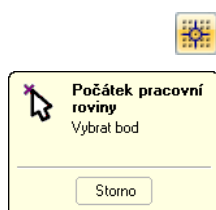


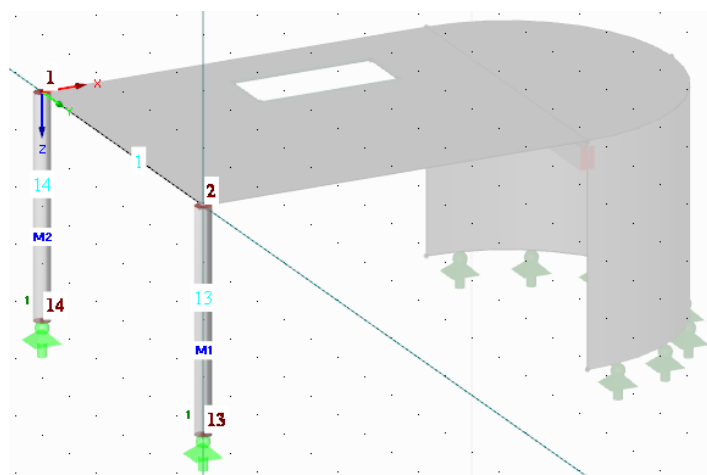
Obr. 4.28: Vytvoření viditelnosti oknem

Změna počátku pracovní roviny

Nadále máme nastavenou pracovní rovinu YZ, která je vhodná pro zadání rámu pultové střechy, stejně jako počátek pracovní roviny. Pokud však chceme ukázat, jak lze pracovní rovinu upravit, je třeba změnit polohu počátku pracovní roviny.

Klikneme na tlačítko [Nastavit počátek rastru pracovní roviny]. V pracovním okně pak zvolíme jako nový počátek pracovní roviny uzel 2, který se nachází na hlavě předního sloupu. Tím se změní poloha nitkového kříže rastru.





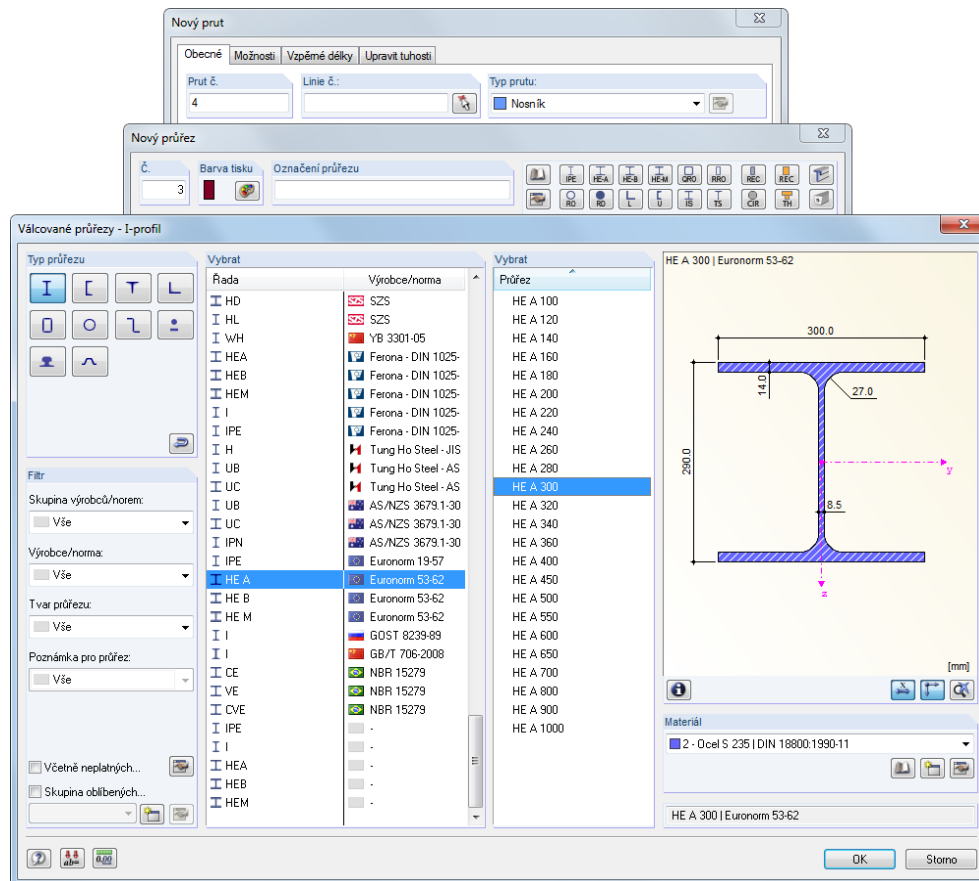
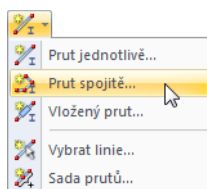
Obr. 4.29: Nový počátek pracovní roviny v uzlu 2

4.5.1.1 Zadání spojitých prutů

Rám pultové střechy zadáme jako polygonový pořad. Klikneme na rozbalovací tlačítko [Nové pruty jednotlivě] a vybereme možnost *Pruty spojitě...*

V dialogu *Nový prut* zkontrolujeme, jestli je nastaven typ prutu **Nosník**.

Tak, jak je znázorněno na obr. 4.19 na straně 25, stanovíme průřez na začátku prutu pomocí tlačítka [Vytvořit nový průřez na začátku prutu...]. Otevře se dialog *Nový průřez*, v jehož pravé horní části klikneme na tlačítko [HE-A]. Z dané řady HE-A pak v dialogu *Válcované průřezy - I-profil* vybereme průřez **HE A 300**. U válcovaných průřezů je předem nastaven materiál č. 2 - ocel S235.

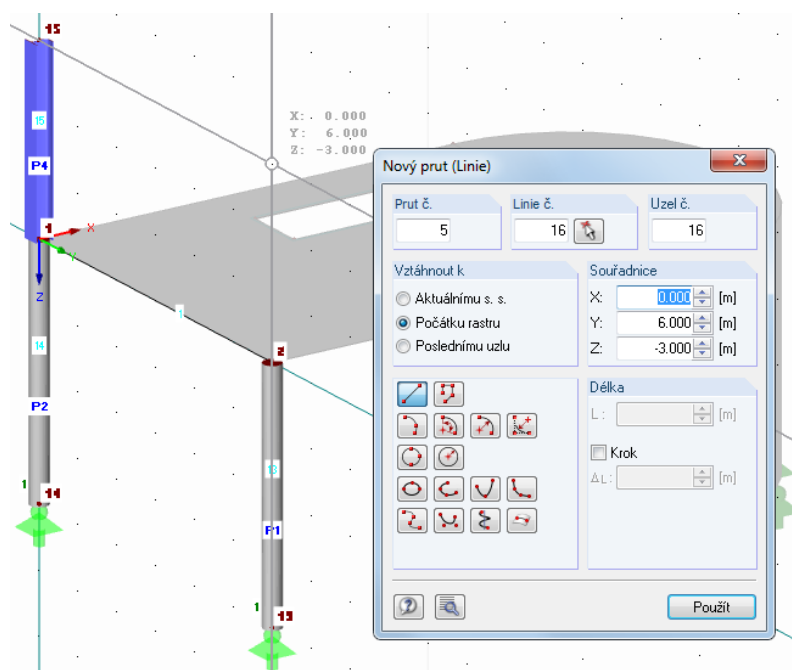


Obr. 4.30: Výběr průřezu HE A 300 z databáze

Údaje zadané ve všech dialozích potvrdíme tlačítkem [OK].

V pracovním okně zadáme všechny tři pruty rámu jedním tahem; klikneme přitom na následující uzly, resp. body rastru:

- Uzel 1
- Bod rastru **0,000;-6,000;-3,000** (počátek rastru se změnil)
- Bod rastru **0,000;0,000;-3,000** (sklon střechy později upravíme)
- Uzel 2



Obr. 4.31: Zadání spojitých prutů

Jakmile vybereme poslední uzel, klikneme dvakrát pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně, a ukončíme tak zadávací režim.

V našem modelu je připojení obou sloupů v uzlech stropní desky 1 a 2 ohybově tuhé. Ačkoli takové vetknutí je v praxi pravděpodobně stěžejí proveditelné, upustíme v našem příkladu od modelování kloubových vlastností a přistoupíme na dané zjednodušení.

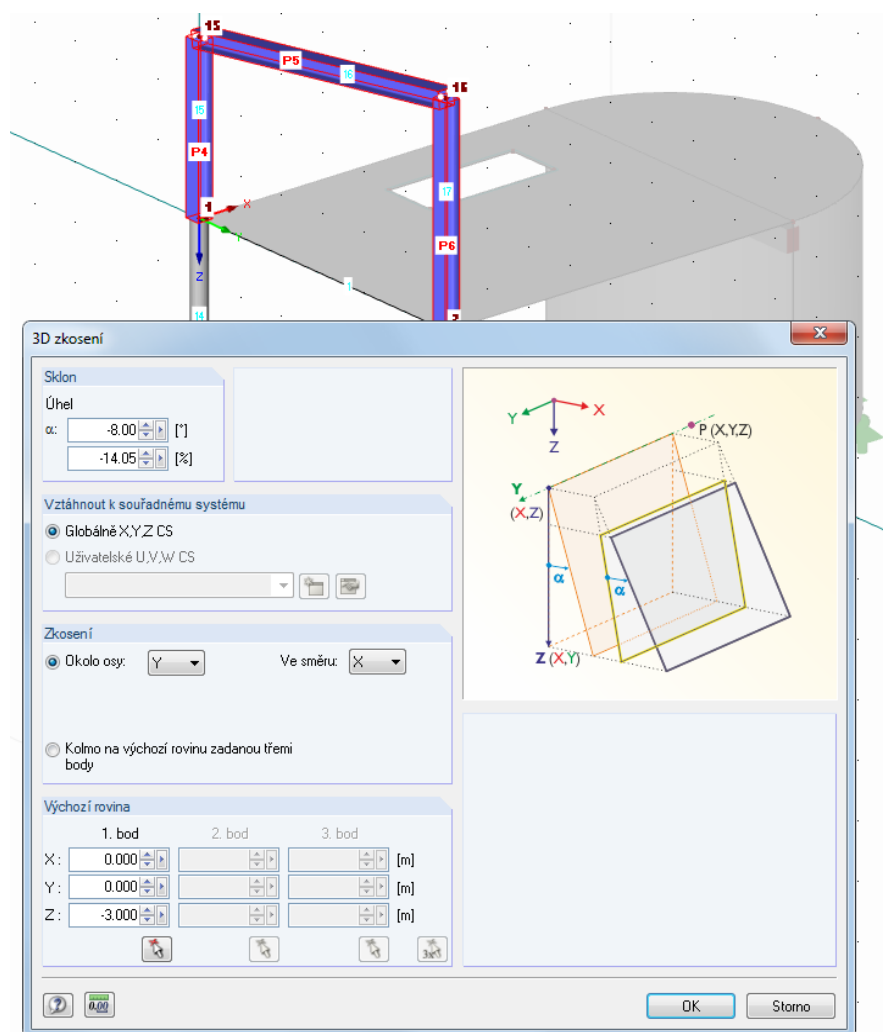
4.5.1.2 Zkosení příčle

Pultová střecha vykazuje sklon 8° . Prut příčle je proto třeba upravit.

Pomocí myši vyznačíme výběrové okno, které obsahuje prut 5 včetně obou koncových uzlů. Následně v hlavní nabídce vybereme příkaz

Úpravy → Zkosení...

a otevřeme tak dialog *3D zkosení*.



Obr. 4.32: Úprava sklonu příčle

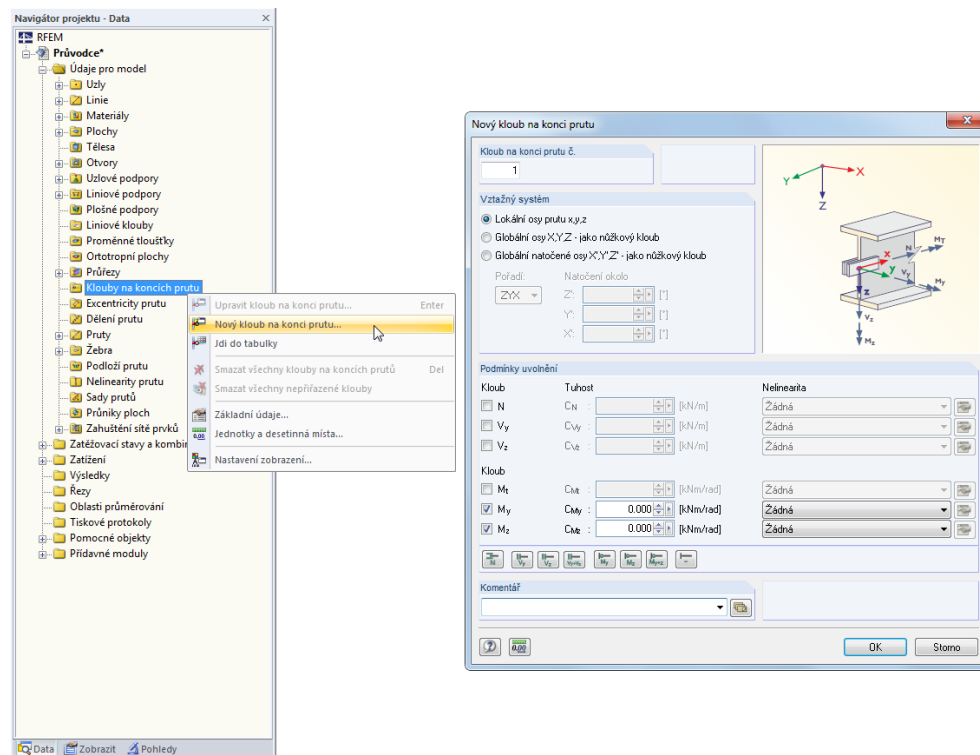
Sklon příčle se upraví o -8° okolo osy **X**. Je třeba zadat zápornou hodnotu, protože objekty se natočí proti směru hodinových ručiček okolo osy X. Zkosení se provede ve svislém směru **Z**. Jako *bod* osy rotace stanovíme pomocí funkce [Vybrat] uzel 15 se souřadnicemi **0,000;0,000;-3,000** a údaje potvrdíme tlačítkem [OK].

4.5.1.3 Kloubové připojení příčle

Zadání kloubu

Typ připojení neumožňuje příčli přenášet do sloupů ohybové momenty. Definujeme proto kloub a přiřadíme ho příčli na obou stranách.

Tentokrát použijeme navigátor *Data*: pravým tlačítkem myši klikneme na položku *Klouby na koncích prutu* a v místní nabídce vybereme možnost *Nový kloub na konci prutu...*



Obr. 4.33: Otevření dialogu *Nový kloub na konci prutu* z navigátoru *Data*

V dialogu *Nový kloub na konci prutu* je třeba zaškrtnout stupně volnosti v posunu a otáčení. V našem případě jsou to políčka φ_y a φ_z , tzn. v uzlu se nepřenášejí žádné ohybové momenty.

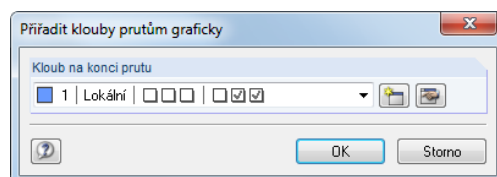
Ponecháme proto zadání beze změny a dialog zavřeme tlačítkem [OK].

Přiřazení kloubu

Na prut bychom mohli dvakrát kliknout a klouby přiřadit v dialogu *Upravit prut*. Použijeme ale speciální funkci, kterou najdeme v následující nabídce:

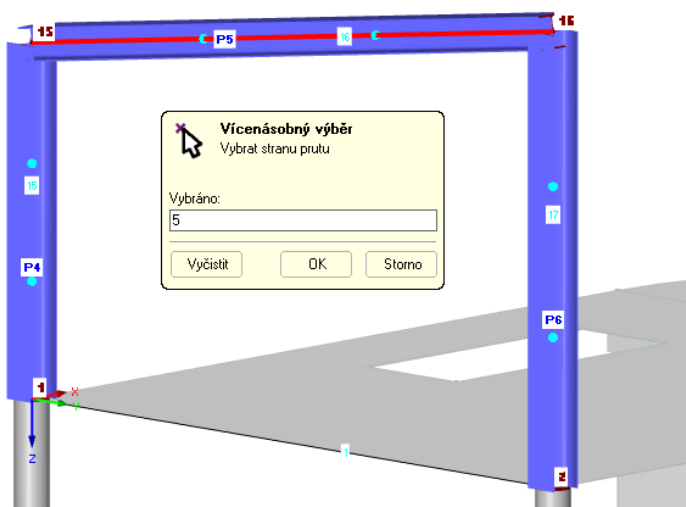
Vložit → Údaje pro model → Klouby na koncích prutu → Přiřadit prutům graficky...

Zobrazí se dialog *Přiřadit klouby prutům graficky*. V seznamu vybereme právě definovaný typ kloubu 1 a klikneme na [OK].



Obr. 4.34: Dialog *Přiřadit klouby prutům graficky*

V pracovním okně se nyní pruty zobrazí rozdělené na třetiny. Kliknutím na konec prutu lze kloub v daném místě graficky zadat. V našem případě klikneme na prostřední část prutu 5, abychom kloub přiřadili na jeho oba konce.

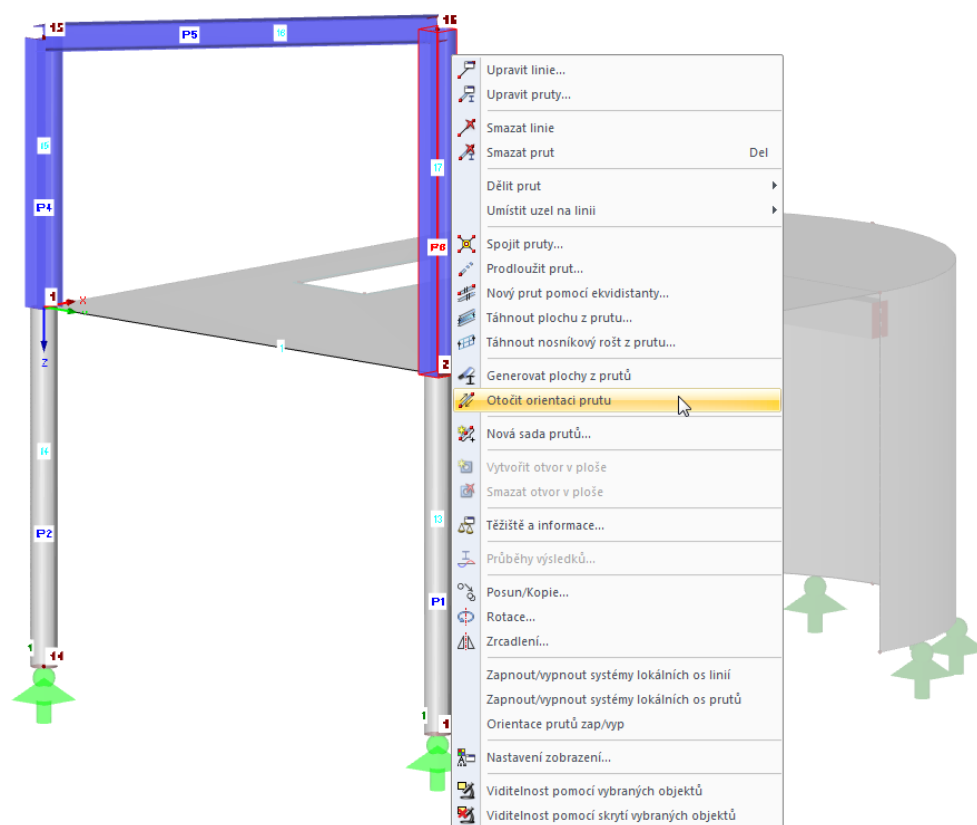


Obr. 4.35: Grafické přiřazení kloubu

4.5.1.4 Změna orientace prutu

Při grafickém zobrazení imperfekcí je výhodou, pokud pruty sloupů směřují zezdola nahoru. Orientaci pravého ocelového sloupu proto otočíme. Použijeme přitom funkci z místní nabídky prutu.

Jakmile se kurzorem myši přiblížíme k prutu 6, zobrazí se na prutu šipka znázorňující směr prutu. Klikneme na daný prut pravým tlačítkem myši a otevřeme místní nabídku. V ní vybereme příkaz *Otočit orientaci prutu*.

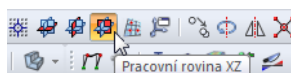


Obr. 4.36: Místní nabídka prutu

4.5.1.5 Kopírování rámu

Druhý rám pultové střechy lze velmi rychle vytvořit jako kopii.

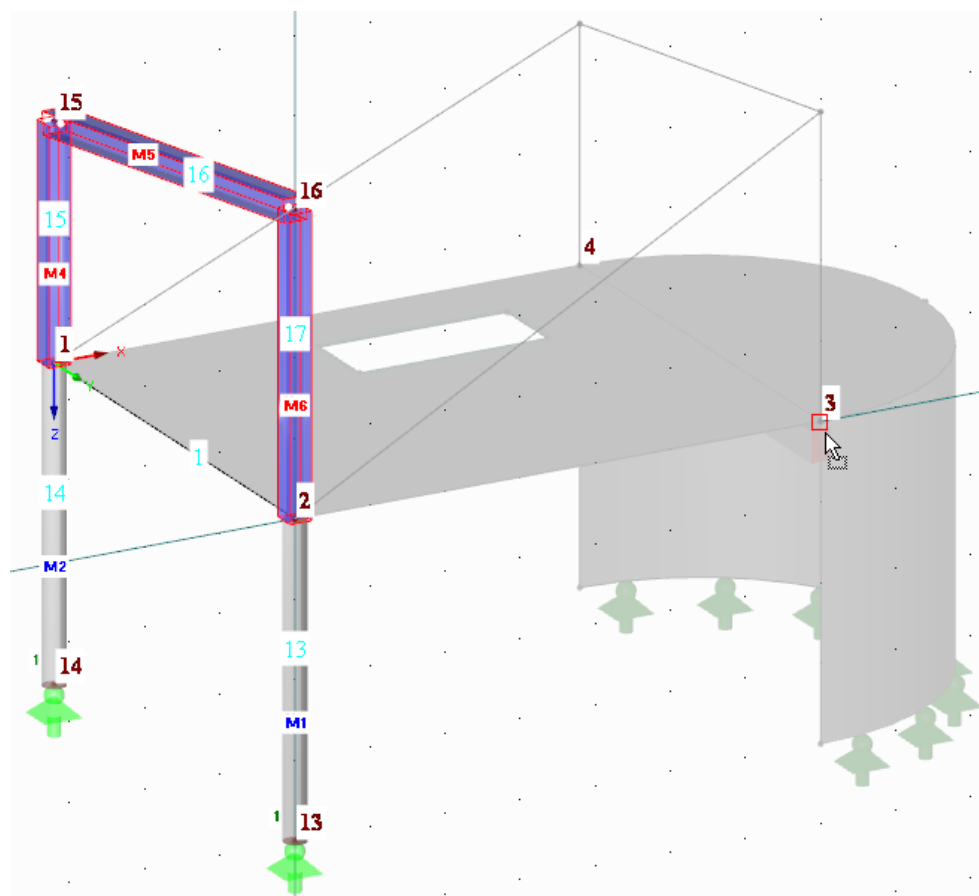
Levým tlačítkem myši vyznačíme pohybem výběrové okno, které obsahuje pruty rámu 4 až 6. Ve výběru nesmí být žádný betonový sloup. Model můžeme případně natočit, pokud potřebujeme lepší náhled, nebo na jednotlivé pruty postupně klikneme myší při současném stlačení klávesy [Ctrl].



Předtím, než kopii vytvoříme, nastavíme [Pracovní rovinu XZ], abychom mohli kopírovat v rovině rámu.

Stiskneme klávesu [Ctrl]. Nyní výběr uchopíme v patě vyššího sloupu (uzel 2) a přesuneme ho do koncového bodu oblouku vrchní desky. Symbol [+] na kurzoru myši znamená, že se objekty kopírují.

Jakmile se souřadnice bodu rastru **7,000;6,000;0,000** zobrazí ve stavovém řádku, uvolníme tlačítko myši.



Obr. 4.37: Kopírování rámu pomocí funkce Drag & Drop

Uzly a linie se automaticky sloučí s již zadanými objekty.

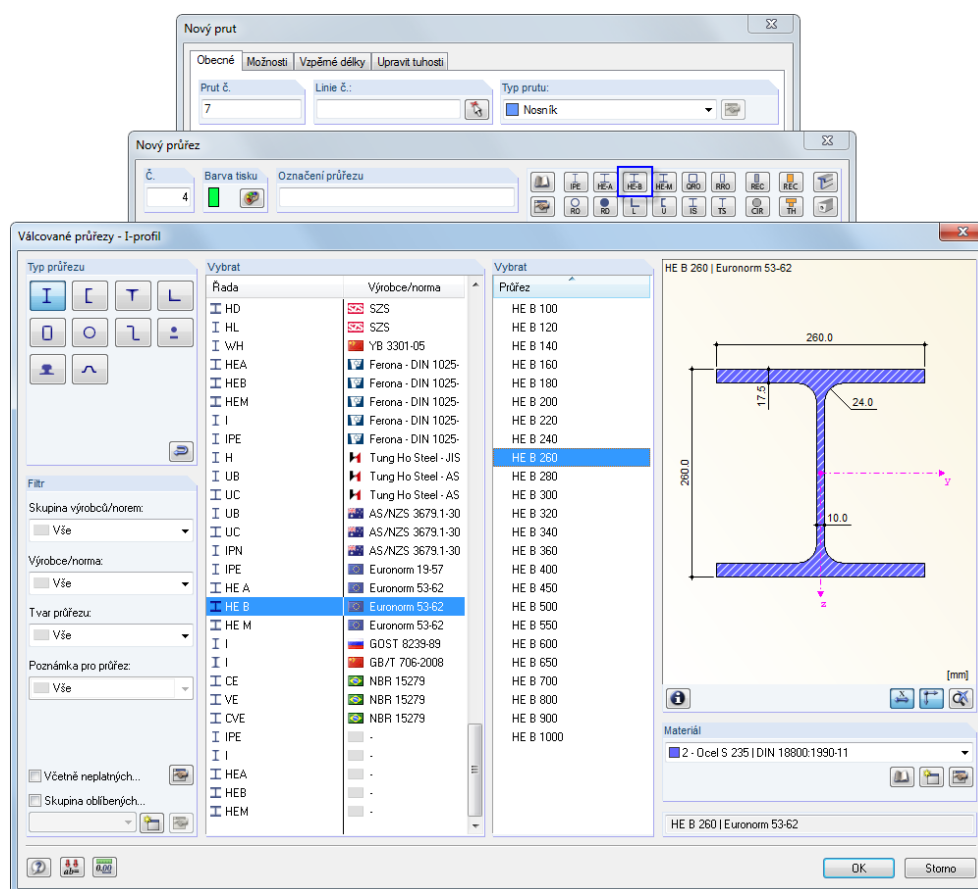
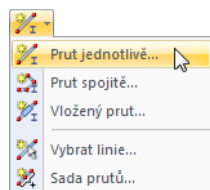
4.5.2 Vaznice

4.5.2.1 Zadání prutů jednotlivě

Pro zadání obou vaznic opět použijeme rozbalovací tlačítko [Nový prut]. Vybereme možnost *Prut jednotlivě...*, a otevřeme tak dialog *Nový prut*.

Pomocí tlačítka [Vytvořit nový průřez na začátku prutu...] definujeme znovu průřez na *začátku prutu* (viz obr. 4.19, strana 25).

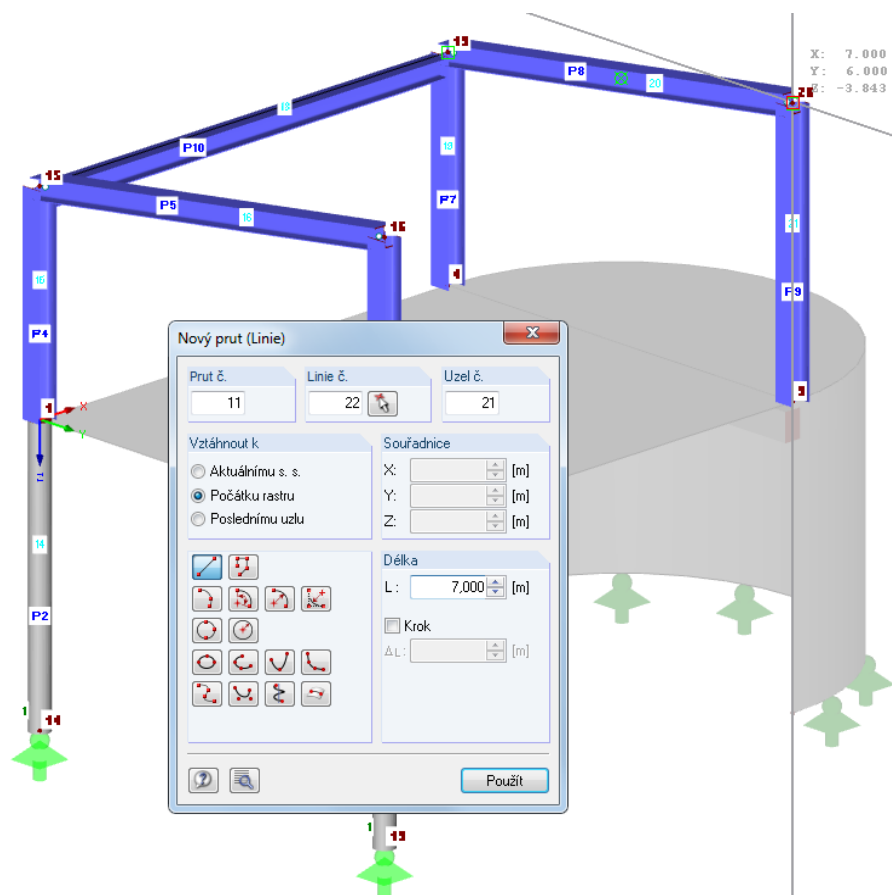
Otevře se nám dialog *Nový průřez*. V jeho pravé horní části klikneme na tlačítko [HE-B] a v dialogu *Válcované průřezy - I-profil* vybereme z řady HE-B průřez **HE B 260**. Jako materiál je opět předem nastaven materiál č. 2 - ocel S235.



Obr. 4.38: Výběr průřezu HE B 260 z databáze

Údaje zadané ve všech dialogích potvrdíme tlačítkem [OK].

Vaznici na spodním okraji střešní desky zadáme tak, že postupně klikneme na uzly **15 a 19**. Následně klikneme na uzly **16 a 20**, a vytvoříme tak druhou vaznici.



Obr. 4.39: Zadání prutů obou vaznic

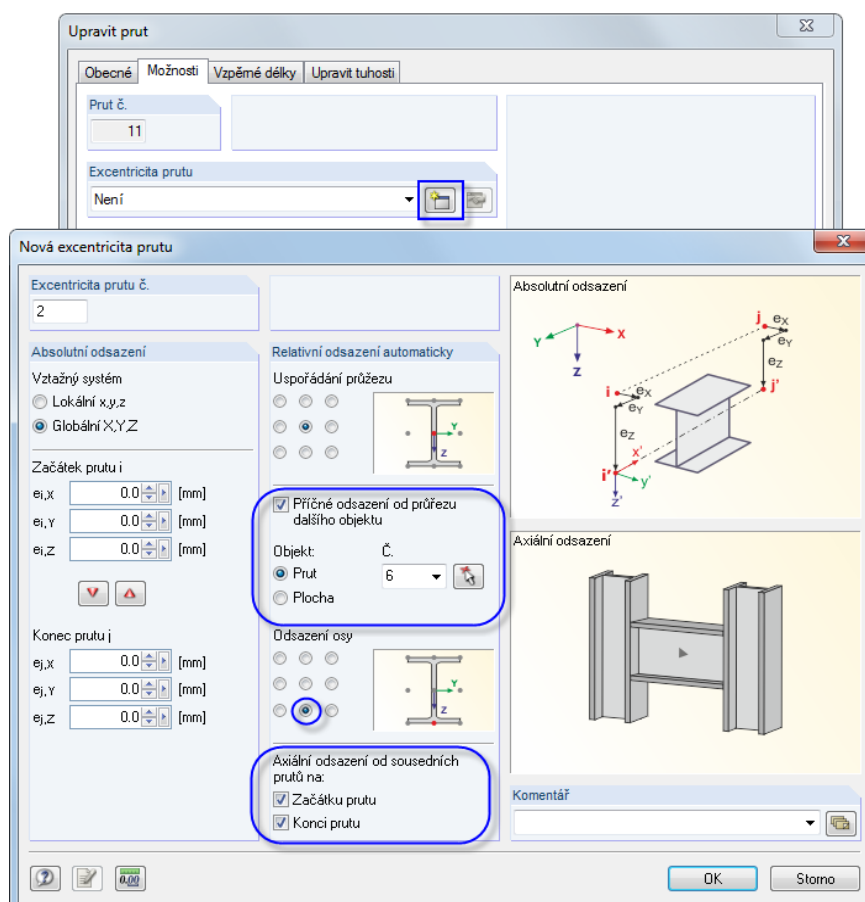
Zadávací režim ukončíme stisknutím klávesy [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši.

4.5.2.2 Excentrické připojení prutů

Vaznice připojíme na rámové sloupy excentricky. Zkrátí se tím konstrukční linie o polovinu výšky průřezu sloupů HE A 300.

Zadání excentricity

Nejdříve dvakrát klikneme na vaznici na horním okraji střešní desky (prut 11). V dialogu *Upravit prut* nastavíme záložku *Možnosti*. V sekci *Excentricita prutu* klikneme na tlačítko [Vytvořit novou excentricitu prutu...], a otevřeme tak dialog *Nová excentricita prutu*.



Obr. 4.40: Dialog *Nový prut*, záložka *Možnosti*



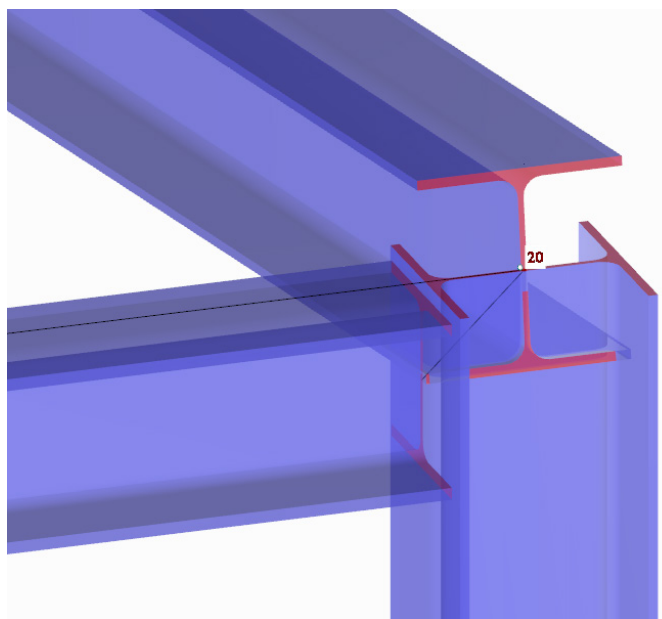
V něm zaškrtneme možnost *Příčné odsazení od průřezu dalšího objektu*. Tímto objektem je v našem případě daný sloup: pomocí funkce [Vybrat objekt v grafice] můžeme **prut 6** například vybrat v grafickém okně.

Odsazení osy definujeme ve směru kladné osy průřezu z.

V sekci *Axiální odsazení od sousedních prutů* ještě označíme políčka u **začátku prutu** i **konce prutu**, aby odsazení platilo na obou stranách.



Poté, co údaje potvrdíme ve všech dialogích, můžeme výsledek zkontrolovat ve zvětšeném náhledu (zvětšení docílíme např. rolováním kolečka myši, posun náhledu provedeme tahem při současném stisknutí kolečka myši, natočení náhledu tahem kolečkem myši při současném stisknutí pravého tlačítka myši).



Obr. 4.41: Excentrické připojení vaznice ve zvětšeném náhledu

Excentricita u dalšího prutu

Pro přenesení excentricity na druhou vaznici použijeme vstupní tabulky.

Nalistujeme tabulku 1.17 *Pruty*, v které jsou uloženy údaje o všech dosud zadáných prutech v číselné podobě. Pokud myši klikneme do řádku 10, zvýrazní se druhá vaznice v pracovním okně odlišnou barvou.

1.17 Pruty

Přut. č.	Linie č.	Typ prutu	Průřez č.		Natočení prutu Typ	β [°]	Kloub č.		Excentr. č.	Dělení č.	Náběh nárůst	Délka L [m]	Tíha W [kg]	N
			Počátek	Konec			Počátek	Konec						
1	13	Nosník	1	1	Úhel	0.00	0	0	0	0		4.000	706.9	Z
2	14	Nosník	1	1	Úhel	0.00	0	0	0	0		4.000	706.9	Z
3	3	Žebro	2	2	Úhel	0.00	0	0		0		6.000	1500.0	Y
4	15	Nosník	3	3	Úhel	0.00	0	0	0	0		3.000	266.1	Z
5	16	Nosník	3	3	Úhel	0.00	1	1	0	0		6.059	537.5	YZ
6	17	Nosník	3	3	Úhel	0.00	0	0	0	0		3.843	340.9	Z
7	19	Nosník	3	3	Úhel	0.00	0	0	0	0		3.000	266.1	Z
8	20	Nosník	3	3	Úhel	0.00	1	1	0	0		6.059	537.5	YZ
9	21	Nosník	3	3	Úhel	0.00	0	0	0	0		3.843	340.9	Z
10	18	Nosník	4	4	Úhel	0.00	0	0	1	0		6.700	620.6	X
11	22	Nosník	4	4	Úhel	0.00	0	0	1	0		6.700	620.6	X
12	23	Tahový prut	5	5	Úhel	-90.00			0			6.708	64.8	YZ

Tělesa Otvory Uzlové podpory Liniové podpory Plošné podpory Liniové klouby Průřezy Klouby na koncích prutu Excentricity prutu

Číslo excentricity prutu, jejíž vlastnosti byly zadány v tabulce 1.15 (F7 pro výběr).

Obr. 4.42: Přiřazení excentricity v tabulce 1.17 *Pruty*

Kurzor myši umístíme do sloupce / a do buňky zapíšeme číslo **1** – číslo právě definované excentricity – nebo excentricitu vybereme ze seznamu.

Jakmile se přesuneme do jiné buňky klávesou [Tab] nebo [↵], změna se projeví i v grafickém okně.

Podobně bychom mohli definovat další excentricitu u prutů příčle. Vzhledem k tomu, že tyto pruty se ale napojují na stojiny sloupů, opomineme dané přidavné momenty.

4.5.3 Diagonála

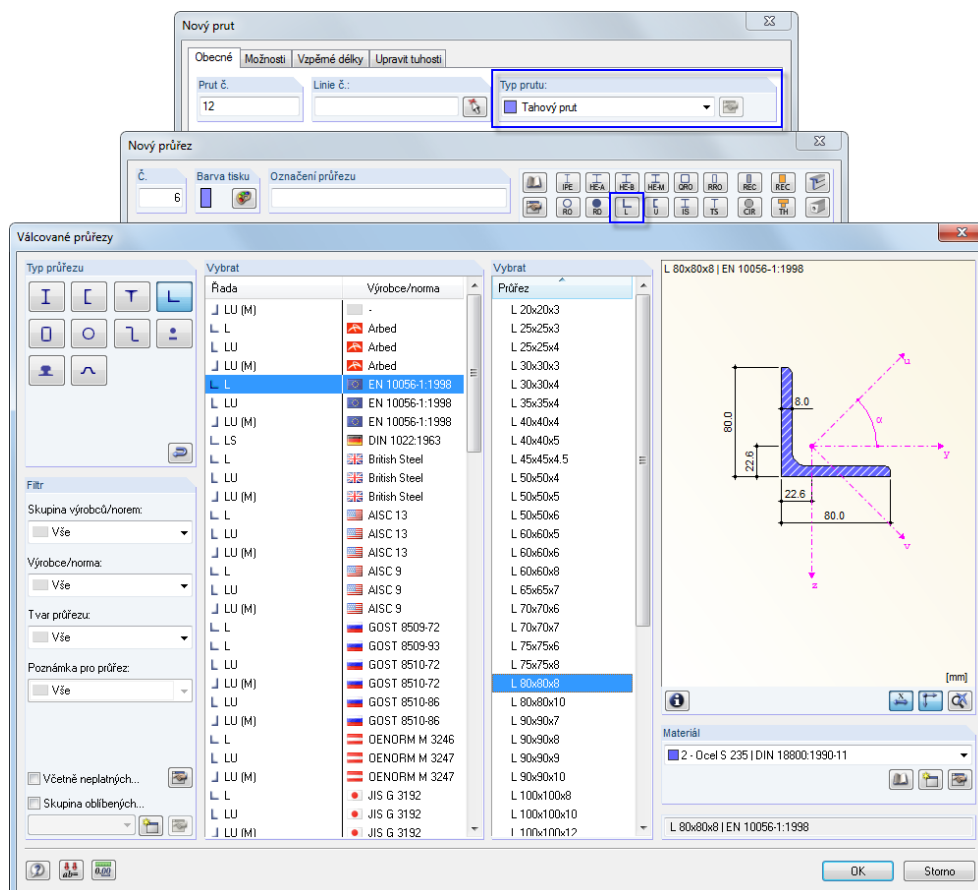
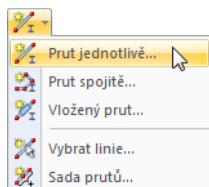
Jako poslední prut vložíme do konstrukce k jejímu vyztužení diagonálu, která může přenášet pouze tahové síly. Ztužidla se zpravidla zadávají křížová; výpočet v demoverzi připouští ovšem maximálně 12 prutů. Tahový prut způsobí, že model se nespočítá lineárně: v případě výpočtu tlakových sil bude tento prut odstraněn z matice tuhosti (neúčinnost prutu).

4.5.3.1 Zadání prutu

Tlačítkem [Nové pruty jednotlivě] otevřeme opět dialog *Nový prut*. V jeho pravé horní části vybereme v seznamu *Typ prutu* položku **Tahový prut**.

Na *začátku prutu* opět zadáme nový průřez pomocí tlačítka [Vytvořit nový průřez na začátku prutu...] (viz obr. 4.19, strana 25).

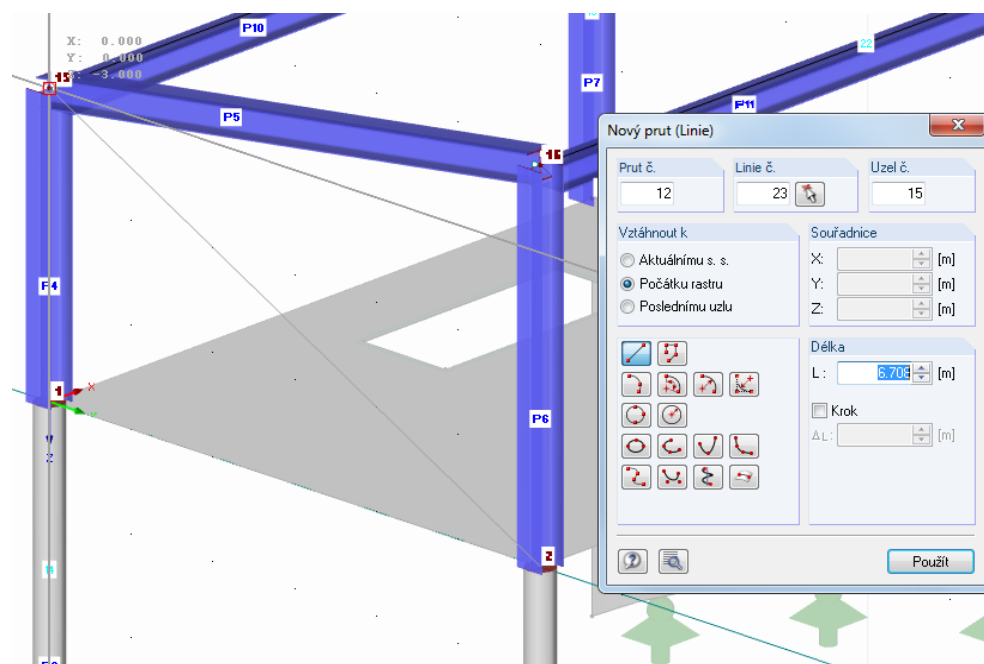
Otevře se nám dialog *Nový průřez*. V jeho pravé horní části klikneme na tlačítko [L] a v dialogu *Válcované průřezy - L-profil* vybereme z řady L průřez **L 80x80x8** podle evropské normy. V poli *Materiál* ponecháme předem nastavený materiál č. 2 - ocel S235.



Obr. 4.43: Zadání tahového prutu s průřezem L 80x80x8

Údaje ve všech dialogích potvrdíme tlačítkem [OK] a poté klikneme postupně na uzly **15** a **2**. Tím se diagonála vytvoří (viz následující obrázek).

Zadávací režim ukončíme stisknutím klávesy [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši.

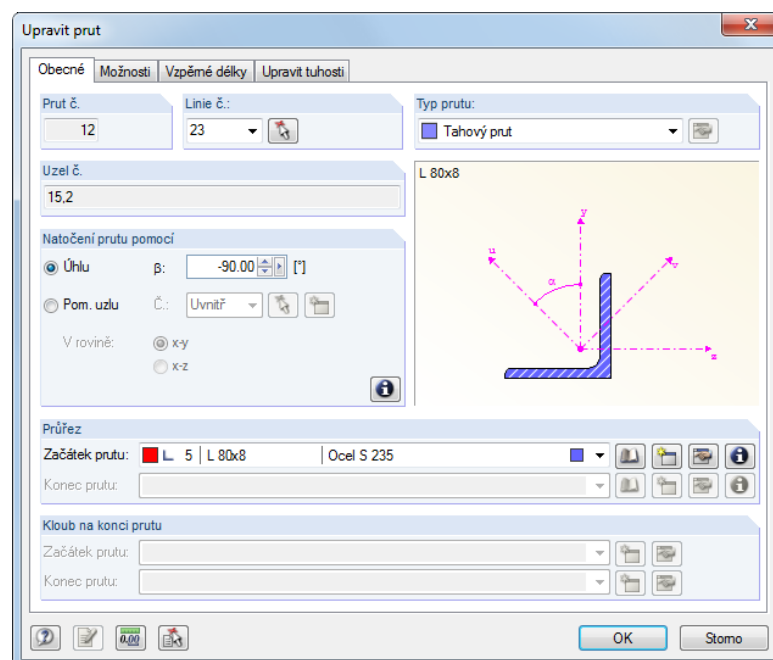


Obr. 4.44: Vytvoření diagonály

4.5.3.2 Natočení prutu

U tahového prutu se při výpočtu tuhosti zohledňuje pouze jeho průřezová plocha. Z hlediska statiky proto není důležité, jak je prut natočen. Pokud ovšem chceme zobrazit konstrukci v renderovacím režimu, měli bychom úhelník natočit.

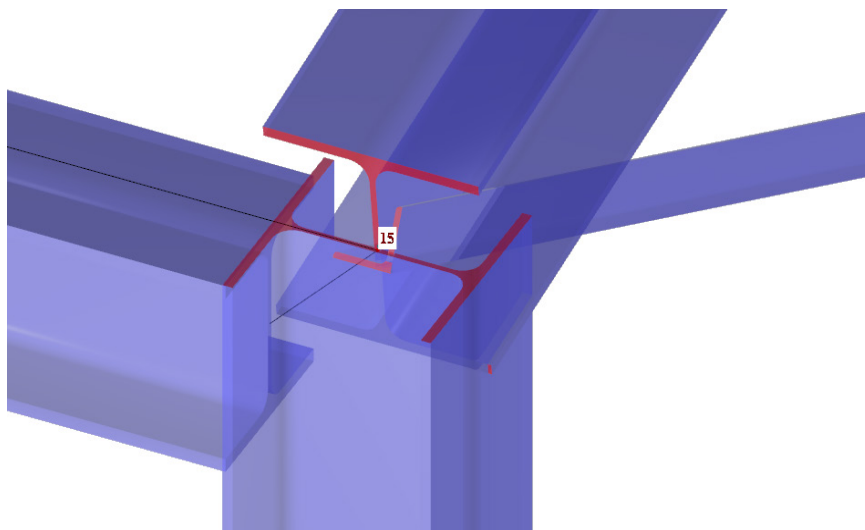
Klikneme dvakrát na prut č. 12, a otevřeme tak dialog *Upravit prut*. V něm nastavíme natočení prutu na -90° .



Obr. 4.45: Zadání natočení prutu



Pokud použijeme zoom a funkci posunu (viz strana 10), můžeme výsledek opět zkontrolovat ve zvětšeném výřezu (viz následující obrázek).



Obr. 4.46: Natočený úhelník ve zvětšeném náhledu

Funkce Zpět/Znovu



V případě potřeby lze natočení prutu v náhledu vrátit [Zpět], pokud chceme zkontrolovat původní polohu průřezu. Standardní funkce *Undo* a *Redo*, které známe z jiných aplikací v OS Windows, jsou k dispozici také v RFEMu a lze jimi provedenou činnost vrátit zpět, resp. opakovat.

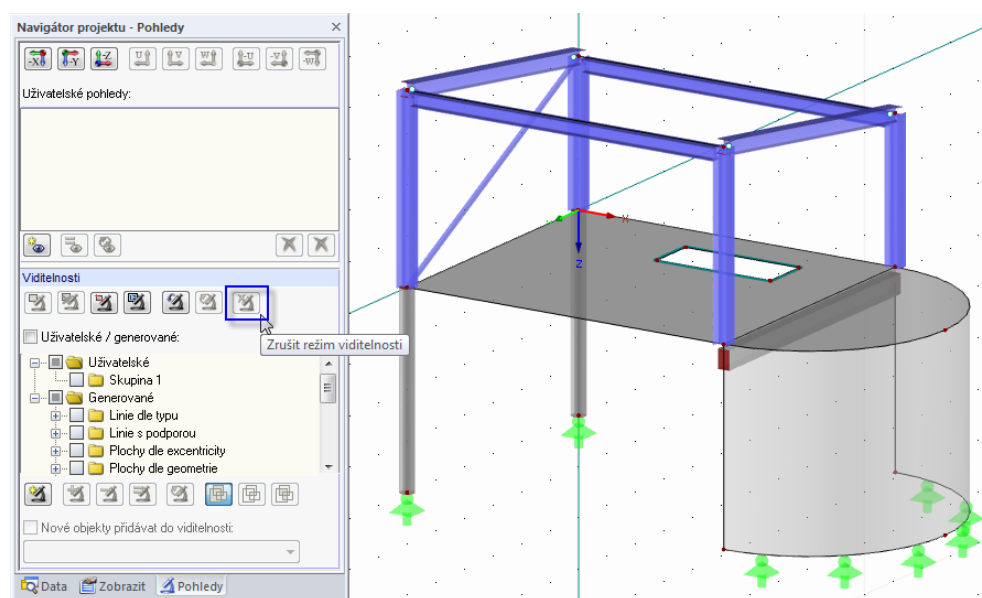


Obr. 4.47: Tlačítka Zpět a Znovu

Zrušení režimu viditelnosti



Části modelu konstrukce zobrazené průhledně lze znovu aktivovat v navigátoru *Pohledy*: kliknutím na tlačítko [Zrušit režim viditelnosti] zapneme zobrazení všech objektů. Tlačítkem [Izometrický pohled] v panelu nástrojů lze konstrukci zobrazit v celkovém prostorovém náhledu.

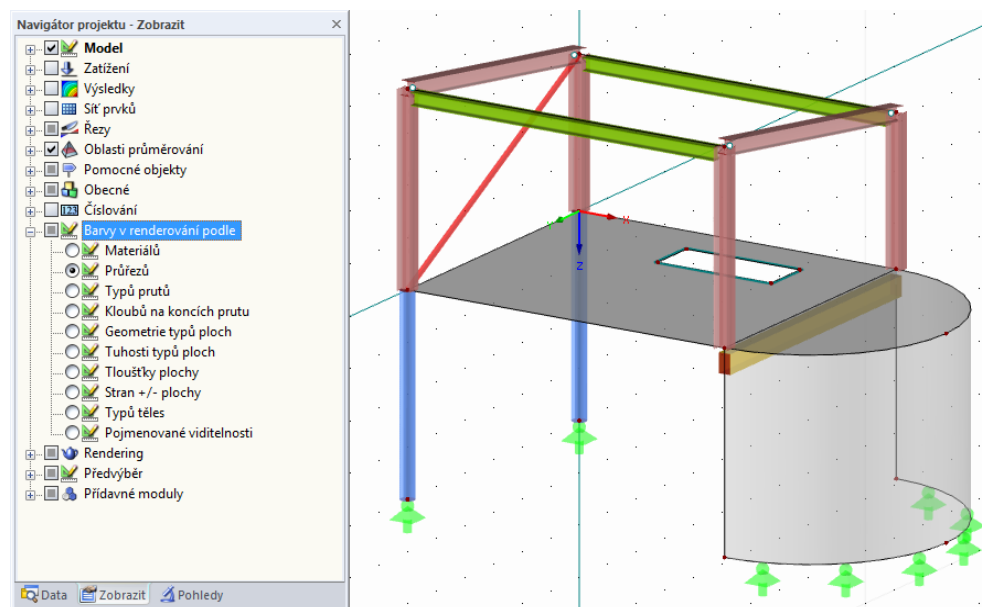


Obr. 4.48: Celkový náhled na model konstrukce

Úprava barevného znázornění

V navigátoru *Zobrazit* máme možnost použít *barvy v renderování* podle určitých kritérií. Standardně se zobrazí barvy podle jednotlivých materiálů.

Pokud budeme listovat následujícími položkami, bude se zobrazení měnit. Jakmile například označíme volbu *Podle průřezů*, bude možné na první pohled rozlišit jednotlivé typy profilů.



Obr. 4.49: Barevné rozlišení průřezů

Číslování objektů již pro další zadání vstupních dat nebudeme potřebovat. Pravým tlačítkem myši klikneme do prázdné plochy v pracovním okně. Otevře se nám obecná místní nabídka, v které deaktivujeme volbu *Zobrazit číslování* (viz obr. 4.4, strana 13).

Předtím, než budeme pokračovat v našem příkladu, nastavíme opět zobrazení barev v renderování podle *materiálů*.

4.6 Kontrola zadání

Kontrola údajů v navigátoru *Data* a v tabulkách



Jak již bylo řečeno, RFEM nabízí více možností, jak do programu zadávat údaje o konstrukci. Grafické zadání, které jsme si předvedli, se zaznamenalo také do navigátoru *Data* i do vstupních tabulek. Zobrazení navigátoru a tabulek lze zapnout, resp. vypnout příkazem v hlavní nabídce **Zobrazit** → **Navigátor**, příp. **Tabulka** nebo pomocí příslušných tlačítek v panelu nástrojů.

Konstrukční prvky jsou v tabulce rozděleny podle typů do jednotlivých záložek. Grafické zobrazení a tabulka jsou přitom interaktivní: pokud například hledáme určitý prut v tabulce, pak otevřeme tabulku 1.17 *Pruty* a v grafickém okně myší vybereme daný prut. Řádek, který se vyznačí odlišnou barvou, se pak vztahuje k vybranému prutu (viz obr. 4.42, strana 43).

V tabulce či v navigátoru tak můžeme rychle přezkontrolovat zadané údaje v číselné podobě.

Uložení dat

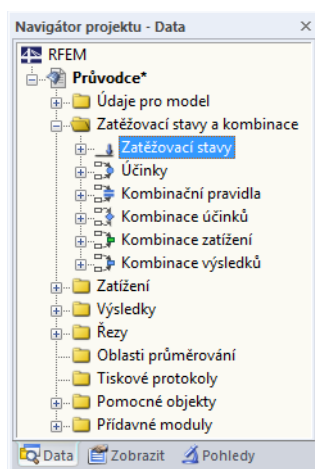


Zadání konstrukčních prvků jsme tímto dokončili. Soubor uložíme příkazem v hlavní nabídce

Soubor → **Uložit**

nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

5. Zatížení



Navigátor *Data* obsahuje ve složce *Zatěžovací stavy a kombinace* následující položky:

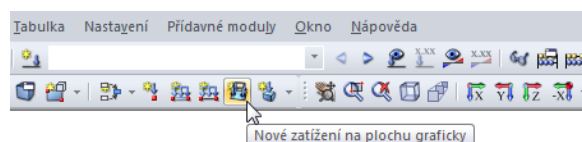
- Zatěžovací stavy
- Účinky
- Kombinační pravidla
- Kombinace účinků
- Kombinace zatížení
- Kombinace výsledků

V zatěžovacích stavech zadáváme vlastní zatížení jako např. vlastní tíhu či zatížení sněhem a větrem. Zatěžovací stavy se pak rozdělují do účinků a skládají do kombinací podle pravidel vybrané normy s uvážením dílčích součinitelů spolehlivosti (viz kapitola 6).

5.1 Zatěžovací stav 1: Vlastní tíha

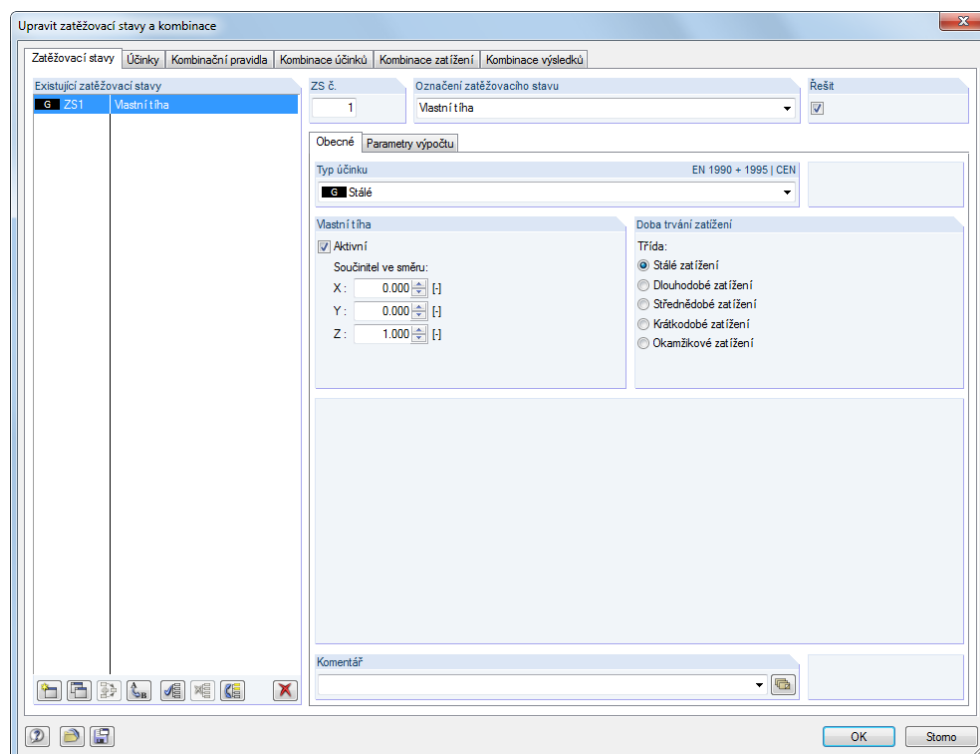
První zatěžovací stav obsahuje stálá zatížení od vlastní tíhy, stropní konstrukce, od tlaku zeminy a střešní konstrukce (viz kapitola 2.3, strana 7).

K založení zatěžovacího stavu použijeme tlačítko [Nové zatížení na plochu graficky].



Obr. 5.1: Tlačítko *Nové zatížení na plochu graficky*

Zobrazí se dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*.



Obr. 5.2: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložky *Zatěžovací stavy a Obecné*

Předem nastaven je zatěžovací stav č. 1 s kategorií účinku *Stálé zatížení*. Zbývá zadat *označení zatěžovacího stavu*. Uvedeme **Vlastní tíha, nastavba a tlak zeminy**.

5.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha ploch a prutů se automaticky zohlední ve směru osy Z, pokud hodnota příslušného součinitele, přednastavená na 1,000, bude *aktivní*.

Vlastní tíha

☒ Aktivní

Součinitel ve směru:

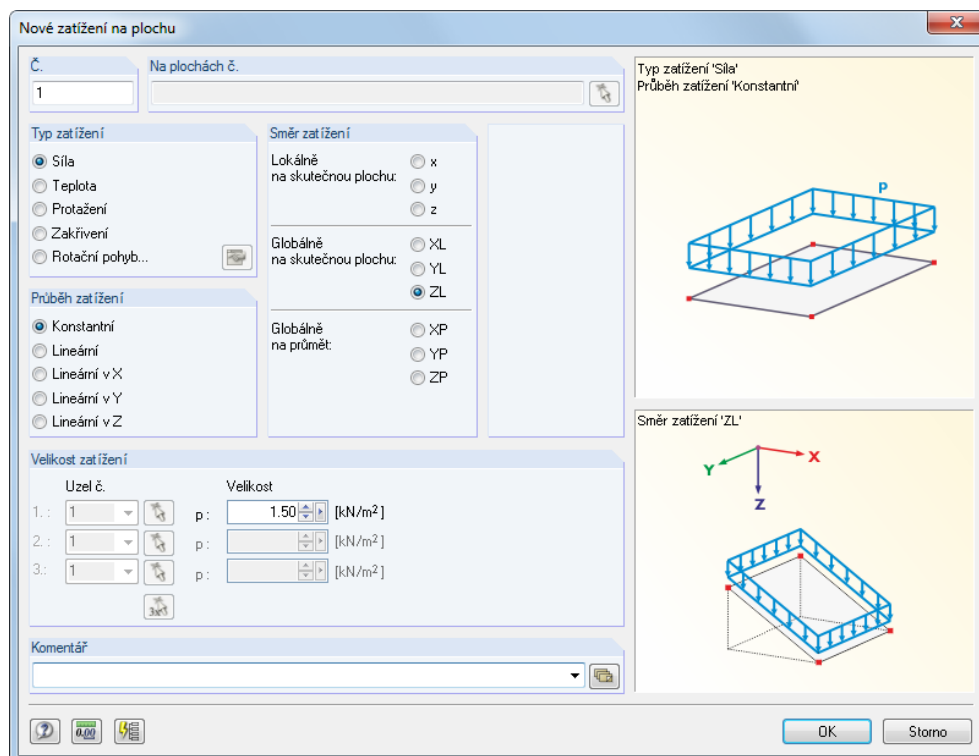
X: 0.000 [-]

Y: 0.000 [-]

Z: 1.000 [-]

5.1.2 Stropní konstrukce

Zadání potvrdíme tlačítkem [OK]. Otevře se dialog *Nové zatížení na plochu*.



Obr. 5.3: Dialog *Nové zatížení na plochu*

Stropní konstrukce působí jako zatížení typu *Síla*, průběh zatížení je *konstantní*. Ponecháme toto přednastavení stejně jako směr zatížení *Globálně na skutečnou plochu ZL*.

Ve vstupním poli pro *velikost zatížení* uvedeme hodnotu **1,5 kN/m²** (viz kapitola 2.3, strana 7) a klikneme na [OK] pro potvrzení zadání.



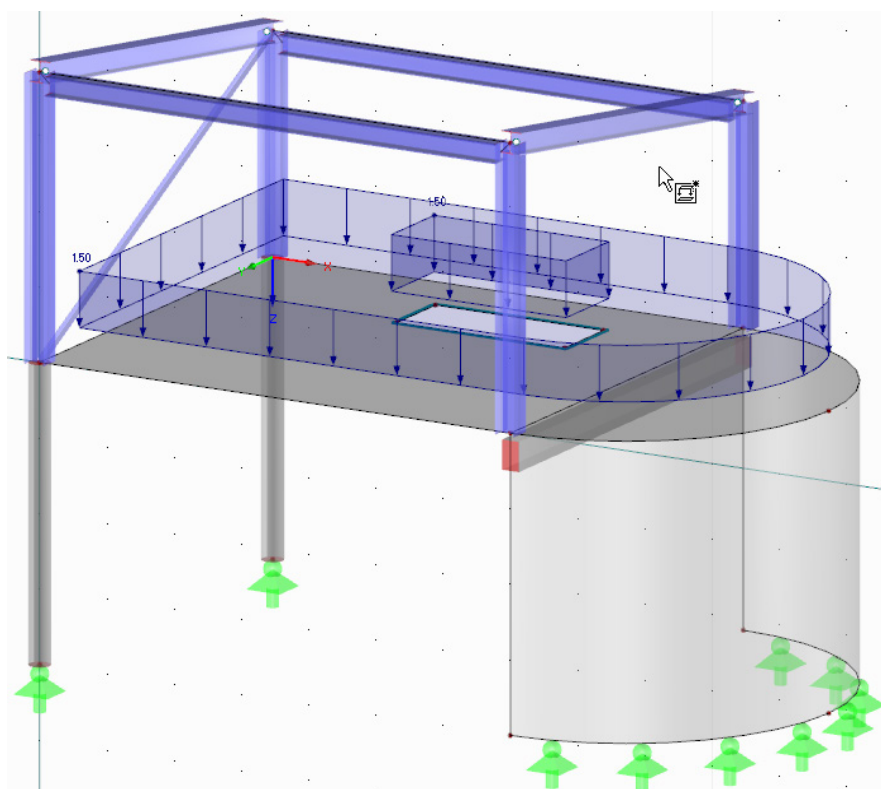
Dialog se zavře a zatížení můžeme nyní graficky přiřadit stropní desce: kurzor myši se zobrazí s malým symbolem zatížení, který zmizí, jakmile kurzorem pohybuje nad některou plochou. Zatížení vložíme kliknutím myši na plochu **1** (viz obr. 5.4).



Na otvor v ploše se toto zatížení nevloží. Nezatížená oblast je vyznačena symbolem zatížení.

Pomocí tlačítka [Zobrazit zatížení s hodnotami] lze zobrazit hodnoty zatížení v grafickém okně.

Klávesou [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně ukončíme zadávací režim.

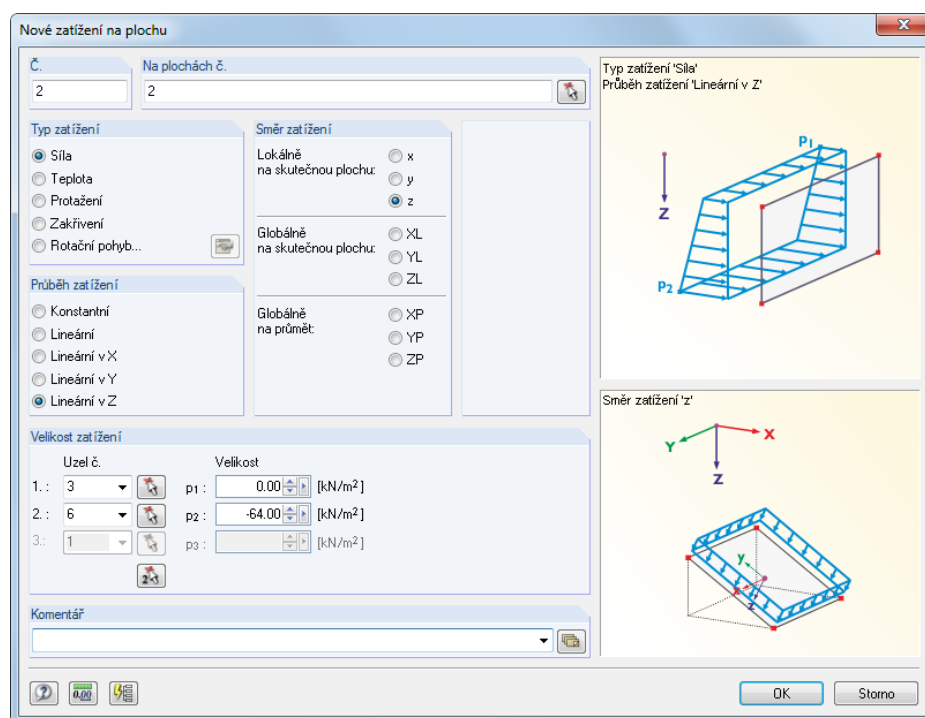


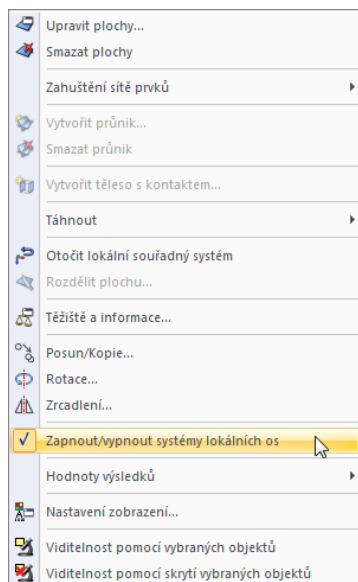
Obr. 5.4: Grafické zadání zatížení stropní konstrukce

5.1.3 Tlak zeminy



Na některé stěny působí tlak zeminy. Jedná se přitom o lineárně proměnné zatížení působící kolmo na plochu. Takové zatížení nyní vložíme na zakřivenou plochu 2. Tentokrát danou plochu vybereme myší a poté tlačítkem [Nové zatížení na plochu graficky] otevřeme dialog pro zadání zatížení.

Obr. 5.5: Dialog *Nové zatížení na plochu*

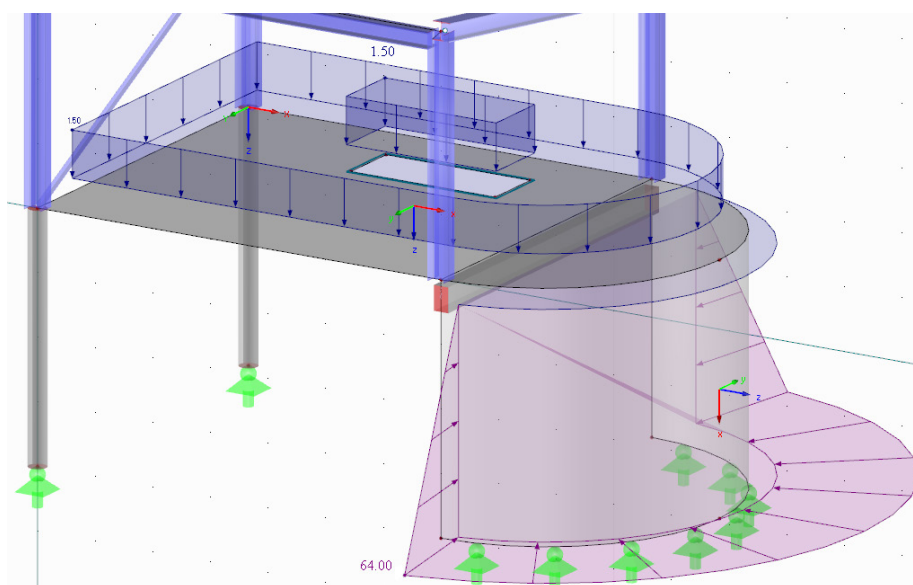


Zobrazení lokálních osových systémů

Zatížení má působit jako zatížení typu *Síla*. *Průběh zatížení* je **lineární v Z**. Zatížení má působit kolmo na plochu, v sekci *Směr zatížení* proto vybereme **Lokálně na skutečnou plochu z**.

V sekci *Velikost zatížení* pak pomocí tlačítka [Vybrat uzel] vybereme relevantní body a pro ně zadáme příslušné hodnoty zatížení. V našem případě přiřadíme *uzlu č. 3* zatížení o *velikosti 0,000 kN/m²* a *uzlu č. 6* zatížení o *velikosti -64,000 kN/m²* (viz kapitola 2.3, strana 7). Je třeba zadat zápornou hodnotu zatížení, protože lokální osa z plochy směřuje ven.

Po kliknutí na [OK] se v grafickém okně zobrazí zatížení, které působí kolmo na plochu a směrem dolů se lineárně zvětšuje. Z místní nabídky plochy, kterou otevřeme kliknutím pravým tlačítkem myši na plochu a kterou vidíme na levém okraji, můžeme zobrazit lokální osy dané plochy.



Obr. 5.6: Lineárně proměnné zatížení na plochu (tlak zeminy) se znázorněním lokálních os plochy

5.1.4 Zatížení střešní konstrukcí

Zatížení střešní konstrukcí (střešní krytinou, spodní a nosnou konstrukcí) působí také jako stálé zatížení. Pokud chceme zadat plošně působící zatížení na ocelovou konstrukci, nabízí se nám nástroj, který konvertuje plošná zatížení na zatížení na pruty.

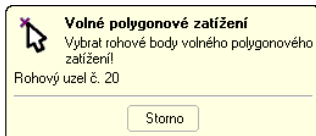
Příslušný dialog otevřeme příkazem v hlavní nabídce

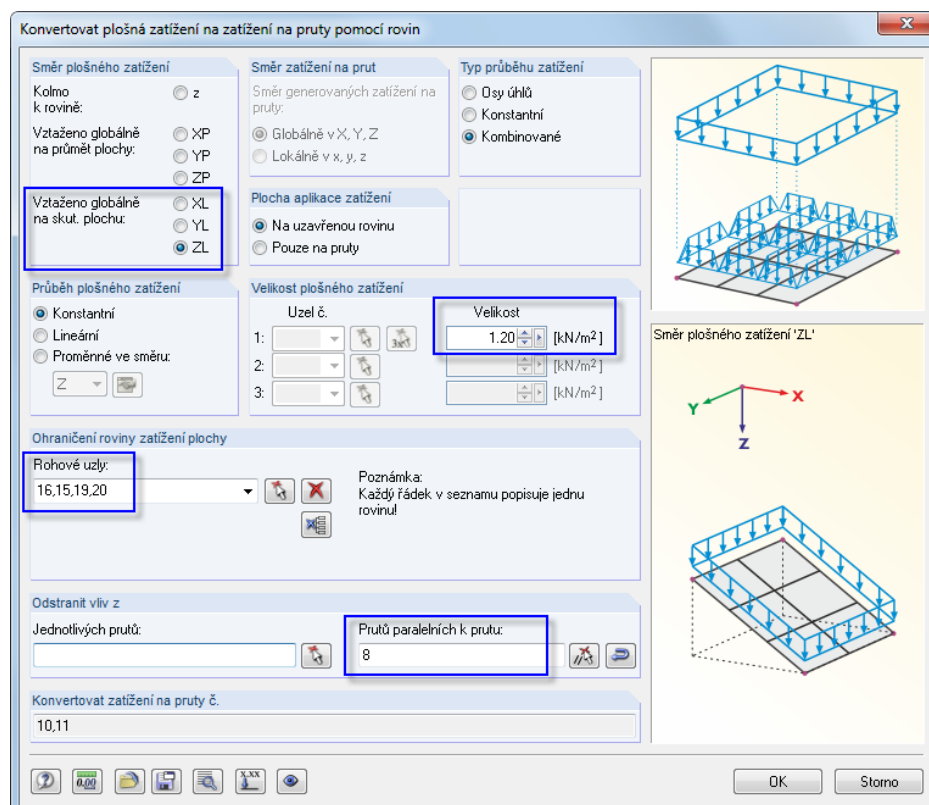
Nástroje → Generovat zatížení → Z plošného zatížení na pruty prostřednictvím roviny...

V dialogu *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin* pak vyplníme následující údaje (viz obr. 5.7): pro *směr plošného zatížení* zvolíme možnost *Vztaženo globálně na skutečnou plochu ZL*, *velikost plošného zatížení* stanovíme na **1,2 kN/m²** (viz kapitola 2.3, strana 7).

Rovinu zatížení plochy definujeme graficky pomocí funkce [Vybrat]: v pracovním okně postupně klikneme na rohové uzly střešní desky **16, 15, 19 a 20** a výběrový dialog, který vidíme na levém okraji, pak zavřeme tlačítkem [OK].

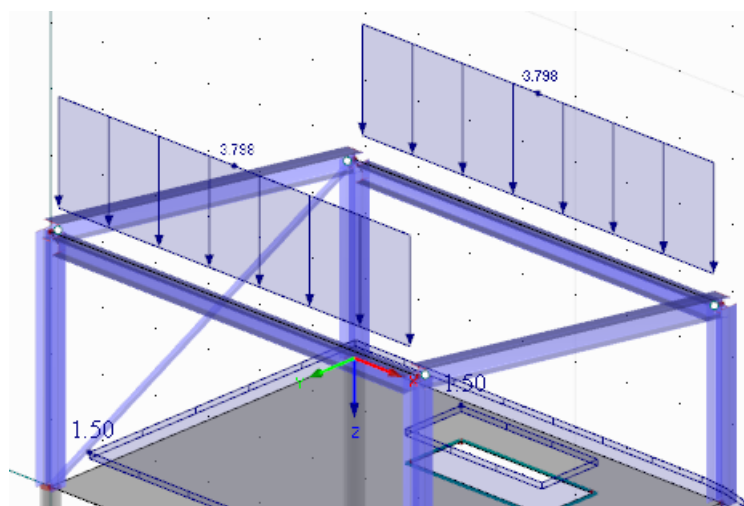
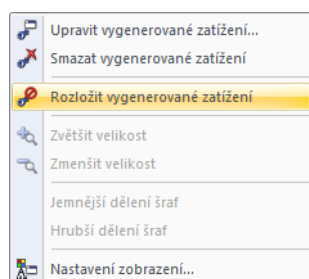
Střešní zatížení se přenáší z nosné konstrukce střechy (v modelu není znázorněna) přes vaznice do nosné konstrukce celého systému. To znamená, že obě příčle pultové střechy se na přenosu zatížení od střešní konstrukce nepodílí, a musíme je proto z generátoru zatížení vyloučit. V sekci *Odstranit vliv z prutů paralelních k prutu* použijeme tlačítko [Vybrat prut], a v pracovním okně graficky vybereme jednu příčel (prut **8** nebo **5**). Jakmile klikneme ve výběrovém dialogu na tlačítko [OK], měl by dialog pro převod plošného na prutové zatížení vypadat následovně:



Obr. 5.7: Dialog *Konvertovat plošná zatížení na zatížení na pruty pomocí rovin*

Po kliknutí na [OK] se zobrazí *informativní* dialog s údaji o konverzi hodnot plošného zatížení na zatížení na pruty a tento dialog také potvrdíme tlačítkem [OK].

Zatížení se zobrazí jako střešní plošné zatížení. Pokud se mají znázornit vygenerovaná zatížení, která působí na obě vaznice, klikneme na dané zatížení pravým tlačítkem myši, a otevřeme tak jeho místní nabídku. V ní vybereme možnost *Rozložit vygenerované zatížení*.



Obr. 5.8: Prutová zatížení působící na vaznice vygenerovaná z plošného zatížení



Tento krok ovšem poté vrátíme [Zpět]: pokud se zatížení rozdělí, údaje zadané v dialogu pro konverzi zatížení se ztratí. Nebylo by pak už například možné při případných změnách dodatečně upravovat velikost zatížení.

Tímto jsme zatěžovací stav *Vlastní tíha* kompletně zadali.

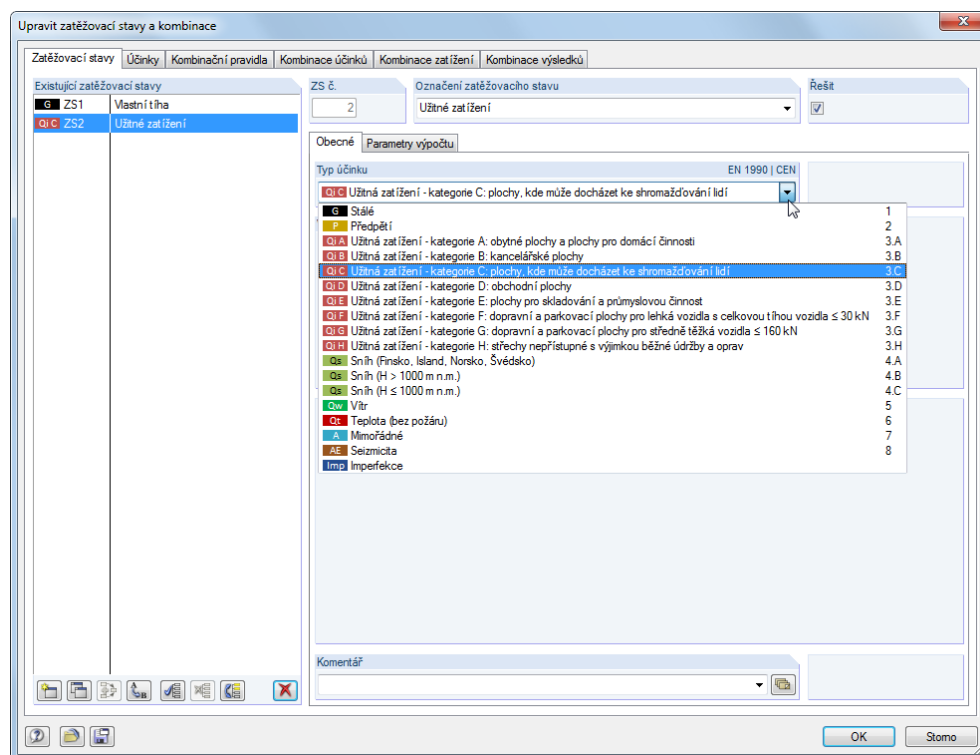
5.2 Zatěžovací stav 2: Užité zatížení



K zadání užitných zatížení vytvoříme nový zatěžovací stav. V hlavní nabídce vybereme položku

Vložit → Zatížení → Nový zatěžovací stav...

nebo klikneme na příslušné tlačítko v panelu nástrojů (nalevo od seznamu zatěžovacích stavů).



Obr. 5.9: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Zatěžovací stavy*

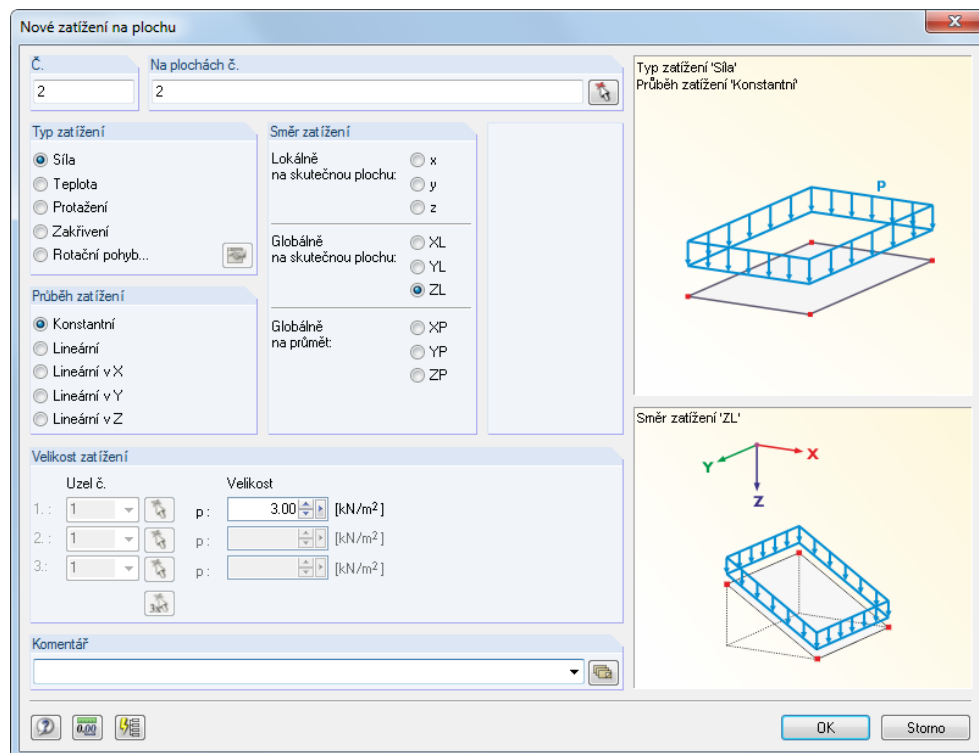
V poli *Označení zatěžovacího stavu* uvedeme **Užité zatížení** nebo danou položku vybereme ze seznamu.

Kategorii účinku je třeba v seznamu změnit na **Q_i Užité zatížení - Kategorie C: plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí** (viz kapitola 2.3, strana 7). Tento údaj je důležitý pro stanovení dílčích a kombinačních součinitelů při skládání zatížení do kombinací.

5.2.1 Stropní deska



Plošné zatížení tentokrát zadáme jiným způsobem: nejdříve plochu č. 1 stropní desky vybereme myší. Pokud nyní otevřeme pomocí tlačítka [Nové zatížení na plochu graficky] příslušný dialog, je v něm číslo plochy již vyplněno.



Obr. 5.10: Dialog *Nové zatížení na plochu*

Užitné zatížení působí jako zatížení typu *Síla*, průběh zatížení je *konstantní*. Ponecháme toto přednastavení stejně jako směr zatížení *Globálně na skutečnou plochu ZL*.

Ve vstupním poli pro *velikost zatížení* uvedeme hodnotu **3,00** kN/m² (viz kapitola 2.3, strana 7) a klikneme na [OK] pro potvrzení zadání.

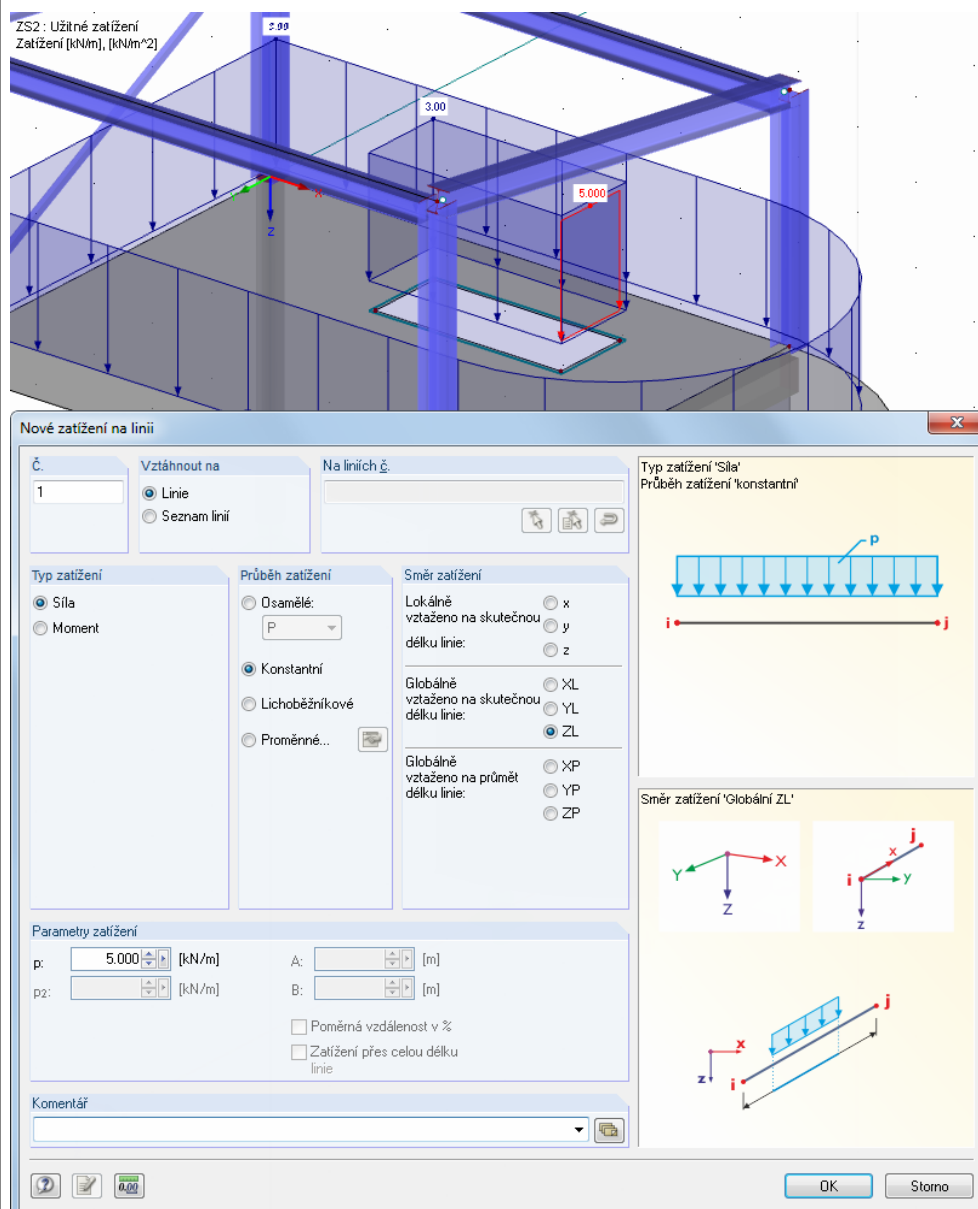
5.2.2 Okraj otvoru



Zadání liniového zatížení na okraj otvoru si usnadníme, pokud danou oblast zvětšíme pomocí tlačítka [Zoom oknem] v panelu nástrojů nebo rolováním kolečka myši.



Pomocí tlačítka [Nové zatížení na linii graficky] (bezprostředně vedle tlačítka pro zadání plošného zatížení) otevřeme dialog *Nové zatížení na linii*.



Obr. 5.11: Dialog *Nové zatížení na linii*

Zatížení na linii působí jako zatížení typu *Síla*, průběh zatížení je *konstantní* ve směru *Globálně vztaheno na skutečnou délku linie* ZL.

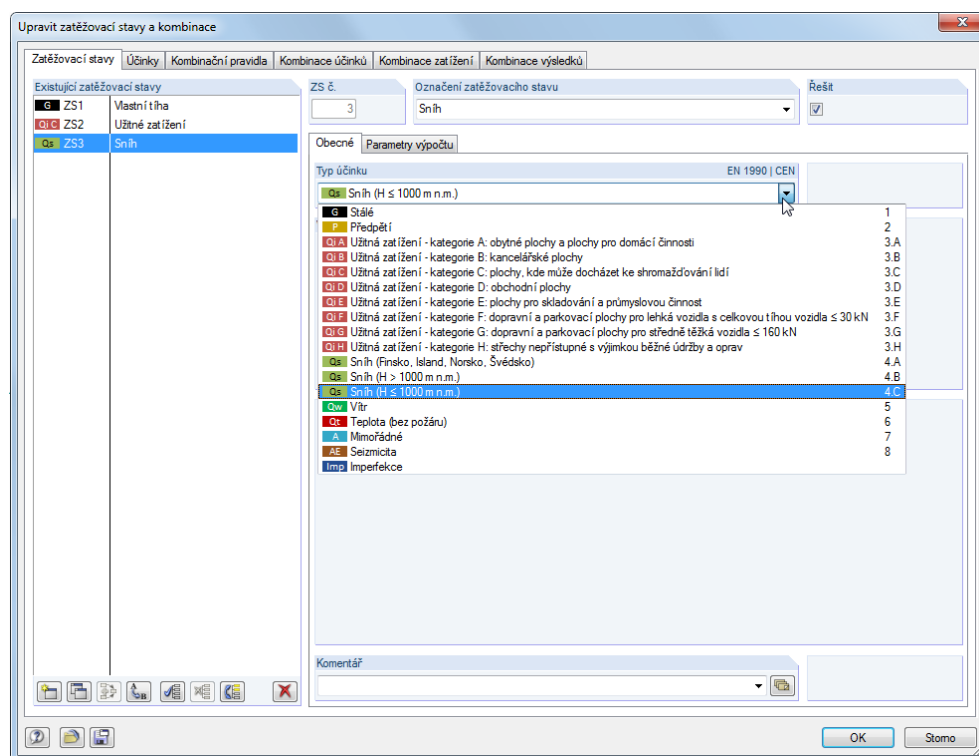


Ve vstupním poli *Parametry zatížení* uvedeme **5,00** kN/m. Po potvrzení zadání tlačítkem [OK] klikneme v grafickém okně na linii **11** na okraji otvoru (číslo linie se nám pro kontrolu zobrazí ve stavovém řádku).

Klávesou [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně ukončíme zadávací režim.

5.3 Zatěžovací stav 3: Sníh

Pro zadání zatížení sněhem je třeba opět vytvořit [Nový zatěžovací stav].



Obr. 5.12: Dialog Upravit zatěžovací stavy a kombinace, záložka Zatěžovací stavy

V poli *Označení zatěžovacího stavu* uvedeme **Sníh** nebo danou položku vybereme ze seznamu. *Kategorii účinku* nastavíme na **Qs Sníh (H ≤ 1000 m.n.m.)**.

5.3.1 Střecha

Při zadání zatížení sněhem na pultovou střechu použijeme opět generátor zatížení. Příslušnou funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje → Generovat zatížení → Ze zatížení sněhem → Plochá/pultová střecha...

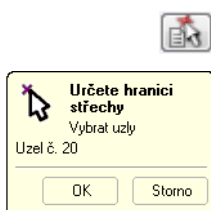
Otevře se dialog *Generovat zatížení sněhem pro plochou/pultovou střechu*, v kterém zadáme následující údaje (viz obr. 5.13):

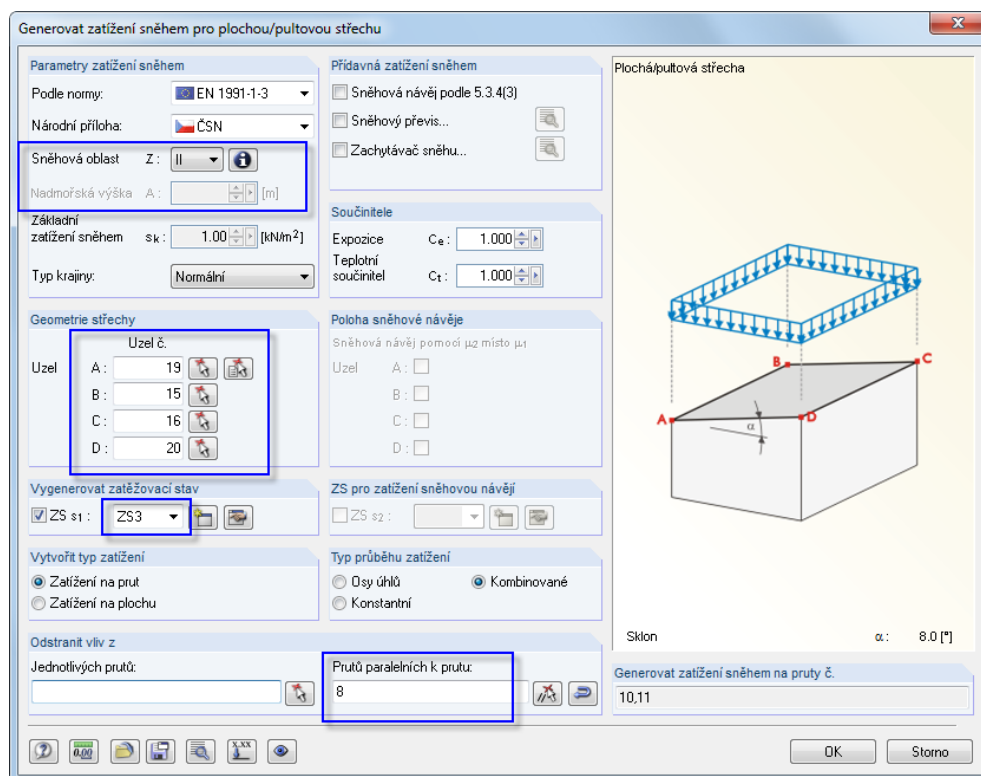
Parametry zatížení sněhem zadáme podle EN 1991-1-3 a národní přílohy platné pro Českou republiku pro sněhovou oblast 1. Typ krajiny je *normální*.

Geometrii střechy zadáme opět v grafickém okně pomocí funkce [Vybrat] tak, že postupně klikneme na všechny rohové uzly střešní desky - na uzly **16, 15, 19 a 20** (viz výběrový dialog vlevo).

Následně zkontrolujeme, jestli je v sekci *Vygenerovat zatěžovací stav* nastaven právě založený stav **ZS3**.

Vytvořit necháme opět *zatížení na prut*, přičemž obě příčle pultové střechy se na přenosu zatížení nepodílí (zatížení sněhem přenáší z nosné konstrukce střechy do spodní nosné konstrukce vaznice). V sekci *Odstranit vliv z prutů paralelních k prutu* použijeme tlačítko [Vybrat prut], a v pracovním okně graficky vybereme jednu příčel (prut **8** nebo **5**).





Obr. 5.13: Dialog *Generovat zatížení sněhem pro plochou/pultovou střechu*

Po kliknutí na [OK] se zobrazí *informativní* dialog s údaji o konverzi hodnot plošného zatížení na zatížení na pruty a tento dialog také potvrdíme tlačítkem [OK]. Zatížení se znázorní jako plošné střešní zatížení o velikosti 1,28 kN/m².

Pokud chceme zobrazit vygenerovaná zatížení, která působí na obě vaznice, můžeme opět použít funkci v místní nabídce zatížení *Rozložit vygenerované zatížení*. Zobrazí se tak obě zatížení na pruty, z nichž každé má hodnotu 4,02 kN/m.

Tento krok bychom ovšem pak měli vrátit [Zpět], aby údaje zadané v dialogu pro generování zatížení zůstaly zachovány.

5.3.2 Strop

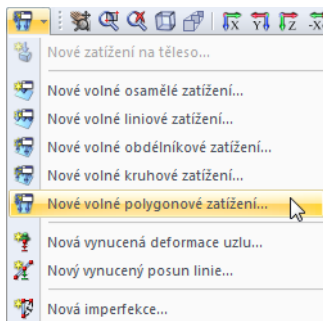
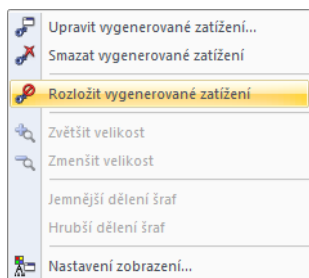
Zatížení sněhem působí také na půlkruhovou oblast stropní desky. Vzhledem k tomu, že je zatížena pouze část plochy 1, nelze použít funkci *Nové zatížení na plochu*. V plné verzi programu RFEM bychom strop rozdělili na dvě plochy, a mohli bychom tak pohodlně zadat plošné zatížení na půlkruhovou plochu. Demoverze ovšem připouští v modelu pouze dvě plochy, a proto musíme zvolit poněkud náročnější postup.

Nejdříve nastavíme pohled ve směru osy [Z]. Jako novou pracovní rovinu vybereme rovinu [XY].

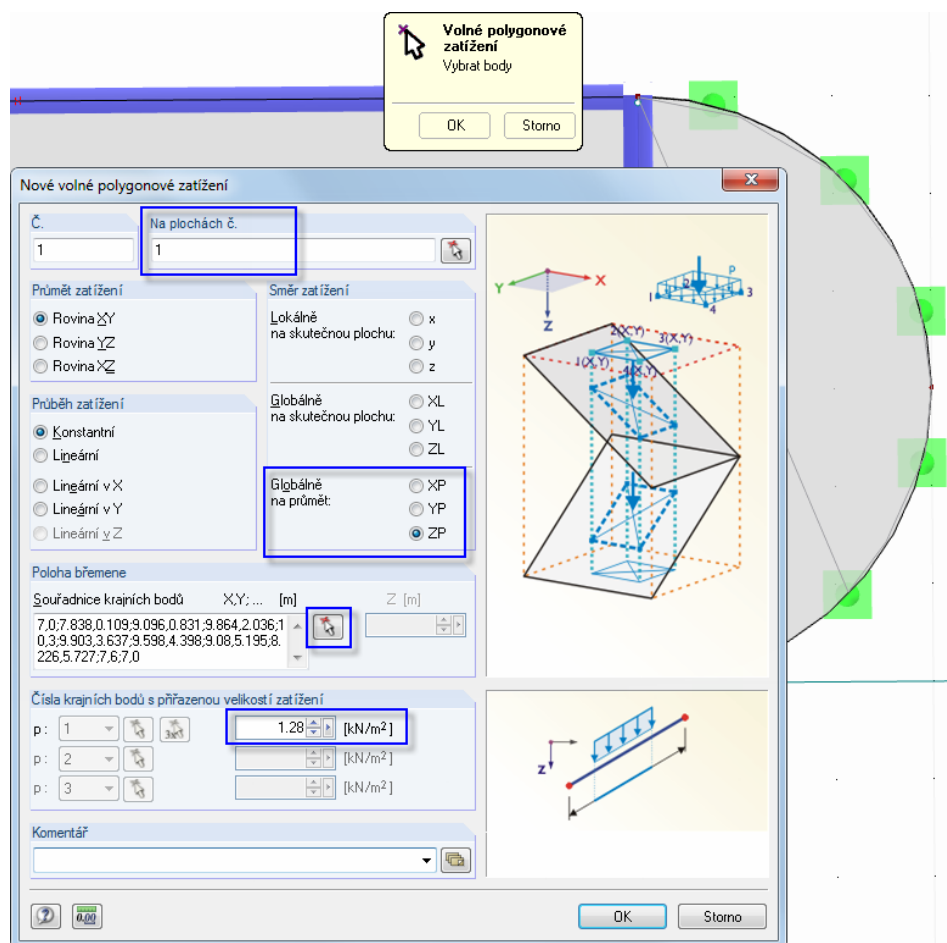
Příslušné zatížení sněhem zadáme jako *volné polygonové zatížení*. Danou funkci najdeme v seznamu ostatních zatížení, který se nachází napravo od tlačítka [Nové zatížení na plochu graficky].

V dialogu *Nové volné polygonové zatížení* (viz obr. 5.14) stanovíme, že zatížení působí *na plochu* č. **1** a je vztaženo *globálně na průmět ZP*. Zatížení sněhem je třeba vztáhnout na průmět půdorysné plochy střechy a nikoli na skutečnou plochu (jako vlastní zatížení). U vodorovných ploch nemá přirozeně toto rozlišení žádný význam.

Zatížení se promítne do roviny XY .



Rozbalovací tlačítko pro zadání zatížení



Obr. 5.14: Zadání nového volného polygonového zatížení výběrem bodů na oblouku v grafickém okně



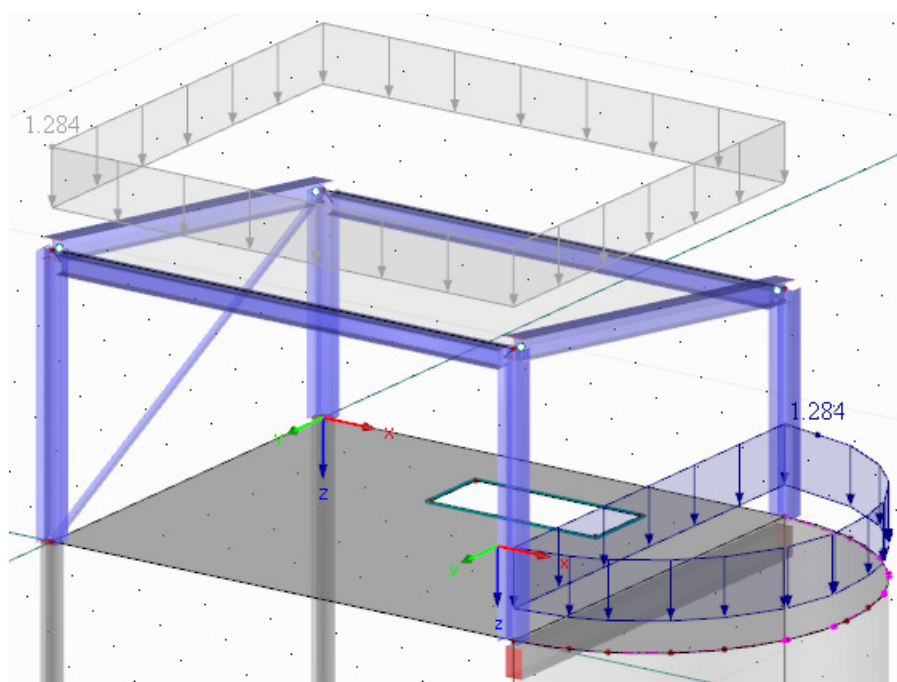
Polohu břemene definujeme pomocí funkce [Vybrat] v pracovním okně: nejdříve klikneme na uzel č. 4 v horní části oblouku a následně na libovolné body ležící na linii oblouku, abychom daným polygonovým pořadem stanovili půlkruhovou plochu. Na závěr vybereme uzel č. 3 na konci oblouku a malý žlutý dialog zavřeme tlačítkem [OK].

V sekci *Číslo krajních bodů s přiřazenou velikostí zatížení* uvedeme hodnotu **1,28** kN/m² – tuto hodnotu stanovil generátor jako hodnotu zatížení střechy sněhem.

Po kliknutí na tlačítko [OK] se zatížení umístí na půlkruhovou plochu.



Zadávací režim ukončíme stisknutím klávesy [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně a následně opět nastavíme [Izometrický pohled].

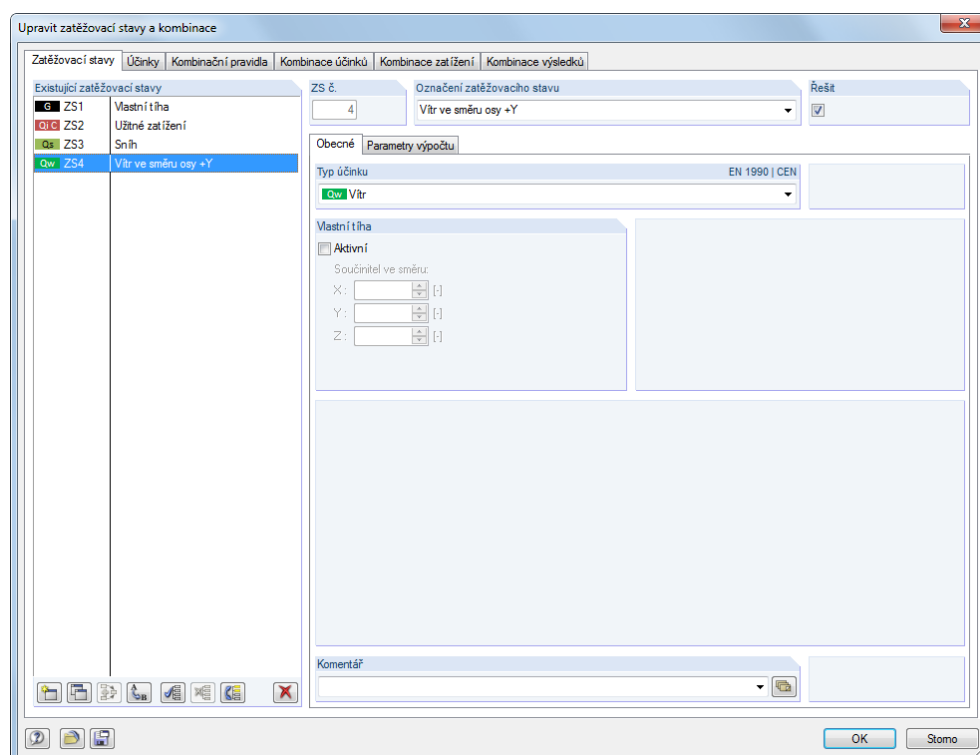


Obr. 5.15: Zatížení sněhem

5.4 Zatěžovací stav 4: Vítr



Pro zatížení větrem ve směru osy Y založíme [Nový zatěžovací stav].



Obr. 5.16: Dialog Upravit zatěžovací stavy a kombinace, záložka Zatěžovací stavy

Jako označení zatěžovacího stavu vybereme ze seznamu **Vítr ve směru osy +Y**. Kategorie účinku se přitom automaticky změní na **Q_w Vítr**.

5.4.1 Zatížení ocelové konstrukce

Pro zadání zatížení větrem, které působí na stěny uzavřené ze všech stran a na pultovou střechu, použijeme opět generátor zatížení. Příslušnou funkci vyvoláme z hlavní nabídky

Nástroje → Generovat zatížení → Ze zatížení větrem → Svislé stěny se střechou...

Otevře se dialog *Generovat zatížení větrem - svislé stěny se střechou*, v kterém zadáme následující údaje:

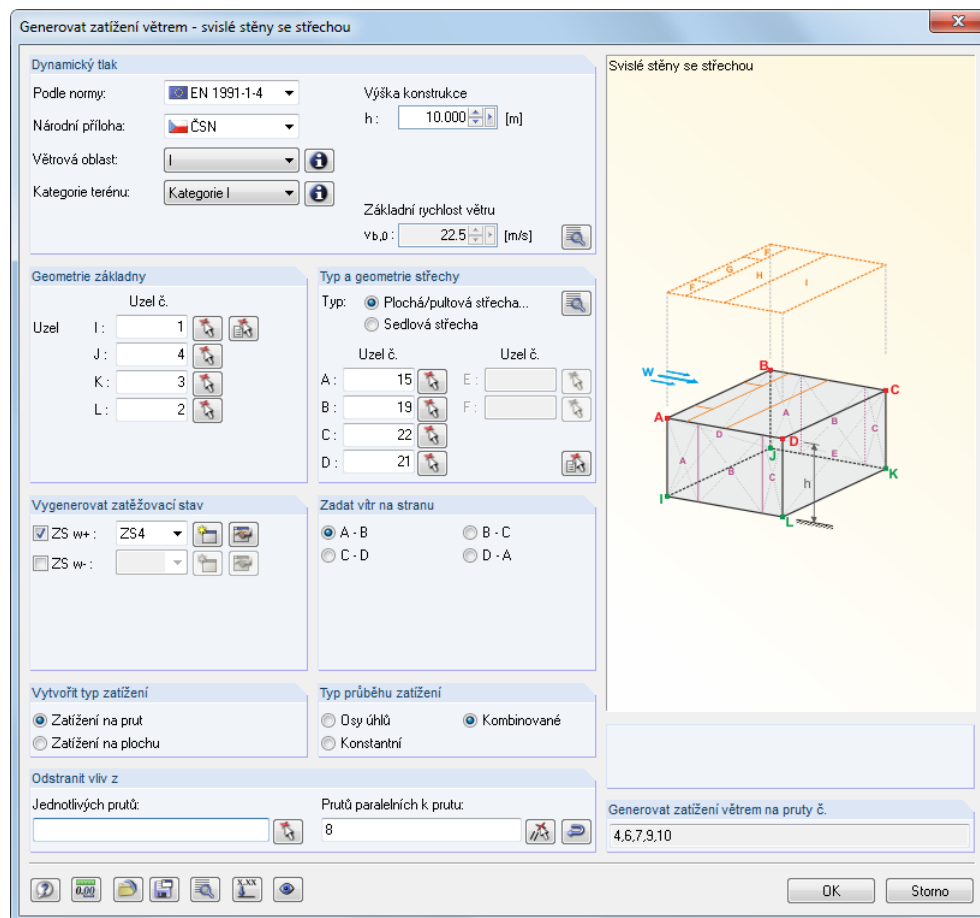
V sekci *Dynamický tlak* vybereme normu *EN 1991-1-4* a národní přílohu platnou pro *Českou republiku*, dále *větrovou oblast 1* a *kategorii terénu III* (viz kapitola 2.3, strana 7). Větrovou oblast a kategorii terénu snáze stanovíme, pokud si pomocí příslušných informačních tlačítek zobrazíme bližší informace. Nakonec upravíme *výšku konstrukce* na **8 m**.

Geometrii základny definujeme pomocí funkce [Vybrat] tak, že klikneme na uzly stropní desky č. **1, 4, 3 a 2** (v pořadí podle náčrtu v daném dialogu). *Geometrii střechy* stanovíme také pomocí funkce [Vybrat]; v grafickém okně přitom klikneme na střešní uzly **15, 19, 20 a 16**.

Poté zkontrolujeme, jestli v sekci *Zadat vítr na stranu* je nastaven směr proudění větru **A - B**.

V sekci *Vygenerovat zatěžovací stavy* deaktivujeme oba zatěžovací stavy *w-* a *w+*. Jak jsme již uvedli v kapitole 2.3 na straně 7, uvažovat se budou pouze kladné součinitele vnějšího tlaku. Zatížení ze *ZS w+* se vygeneruje v zatěžovacím stavu **ZS4**.

Vytvořit necháme opět *zatížení na pruty*, přičemž obě příčle pultové střechy se na přenosu zatížení nepodílí. Pomocí funkce [Vybrat] v sekci *Odstranit vliv z* *prutů paralelních k prutu* vybereme opět jednu příčel v grafickém okně (prut **8** nebo **5**). Diagonální prut 12 bude z přenosu zatížení automaticky vyřazen.



Obr. 5.17: Dialog *Generovat zatížení větrem - svislé stěny se střechou*

Po kliknutí na [OK] se výsledky generování zatížení větrem zobrazí v souhrnném přehledu, který také potvrdíme tlačítkem [OK]. Zatížení větrem se nyní na modelu konstrukce zobrazí jako plošná zatížení.



Pokud vybereme v místní nabídce zatížení volbu *Rozložit vygenerované zatížení*, zobrazíme opět zatížení na pruty. Tento krok bychom ale měli poté znovu vrátit [Zpět].

5.4.2 Zatížení na sloupy

Zatížení na spodní část modelu konstrukce definujeme ručně.

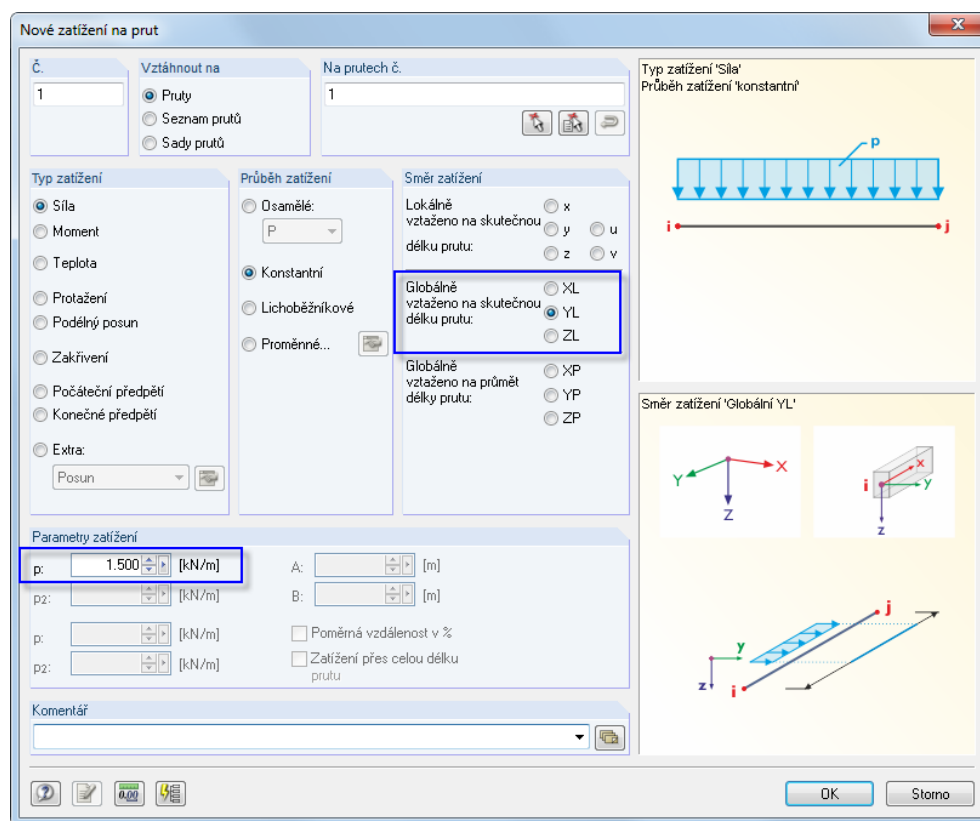
Zadání konstantního zatížení na prut

Sání větru, které působí na sloup na straně horního okraje střechy, má konstantní velikost.



Kliknutím myši vybereme příslušný prut č. 1 a tlačítkem [Nové zatížení na prut graficky] otevřeme dialog pro zadání zatížení.

V sekci *Směr zatížení* označíme možnost **Globálně vztaženo na skutečnou délku prutu YL**. Podíl zatížení větrem, který na sloup připadá, činí **1,5 kN/m**. Tuto hodnotu uvedeme v sekci *Parametry zatížení*.



Obr. 5.18: Zadání sání větru jako konstantního zatížení na prut

Po kliknutí na [OK] se zobrazí prutové zatížení, které působí na daný sloup.

Zadání lichoběžníkového zatížení

V důsledku násypu zeminy v jedné oblasti není plocha působení zatížení tlakem větru na straně spodního okraje střechy symetrická. Průběh zatížení na sloupu je tak proměnný.

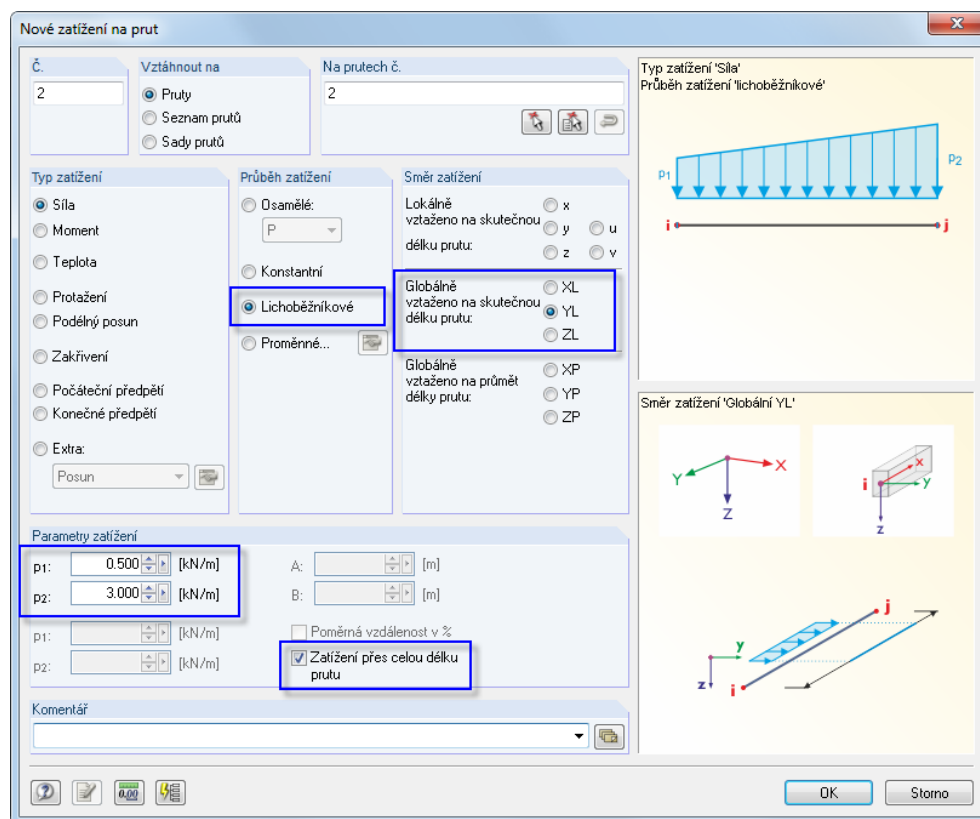


Myší vybereme prut č. 2 a znovu otevřeme dialog *Nové zatížení na prut* tlačítkem [Nové zatížení na prut graficky].

V sekci *Směr zatížení* opět vybereme volbu **Globálně vztaženo na skutečnou délku prutu YL**. *Průběh zatížení* je ovšem **lichoběžníkový**. Zpřístupní se tak políčka pro zadání dvou *parametrů zatížení*: na počátku prutu zadáme hodnotu p_1 **0,5 kN/m** a na konci prutu hodnotu p_2 **3 kN/m**. (Sloupy jsme zadávali odzdoila nahoru; počátek prutu se tak nachází v patě sloupu.)

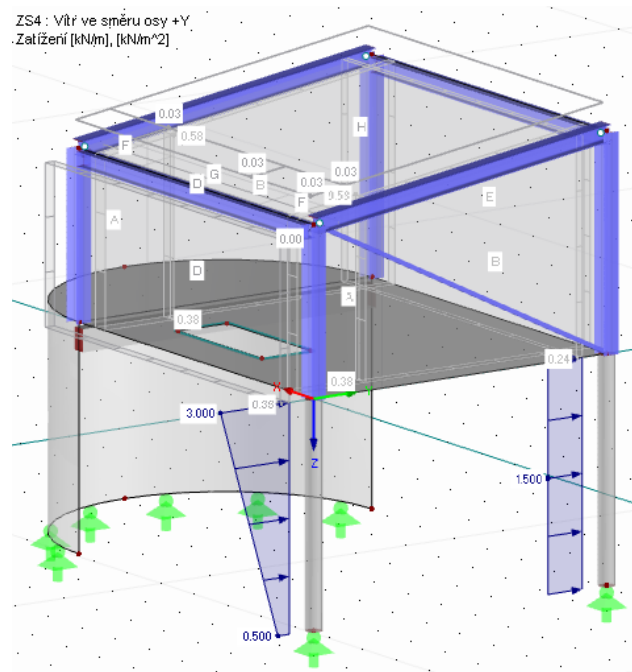
Zatížení působí *přes celou délku prutu*, proto zaškrtneme příslušné políčko.

Po kliknutí na [OK] se zobrazí prutové zatížení, které působí na druhý sloup.



Obr. 5.19: Zadání tlaku větru jako lichoběžníkového zatížení na prut

Vygenerovaná a ručně definovaná zatížení větrem by se měla nyní znázornit v grafickém okně následovně:

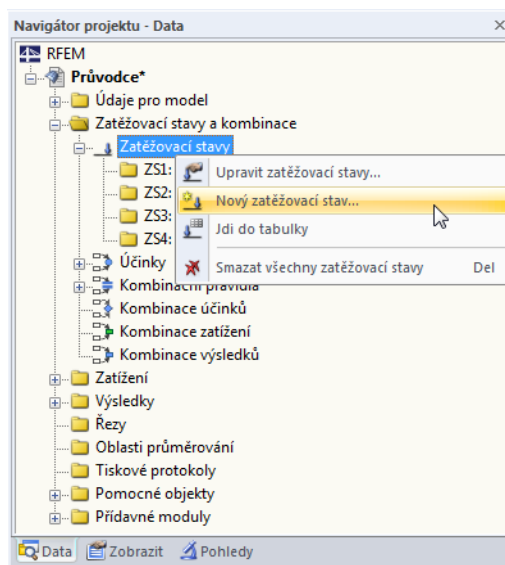


Obr. 5.20: Zatížení větrem

5.5 Zatěžovací stav 5: Imperfekce

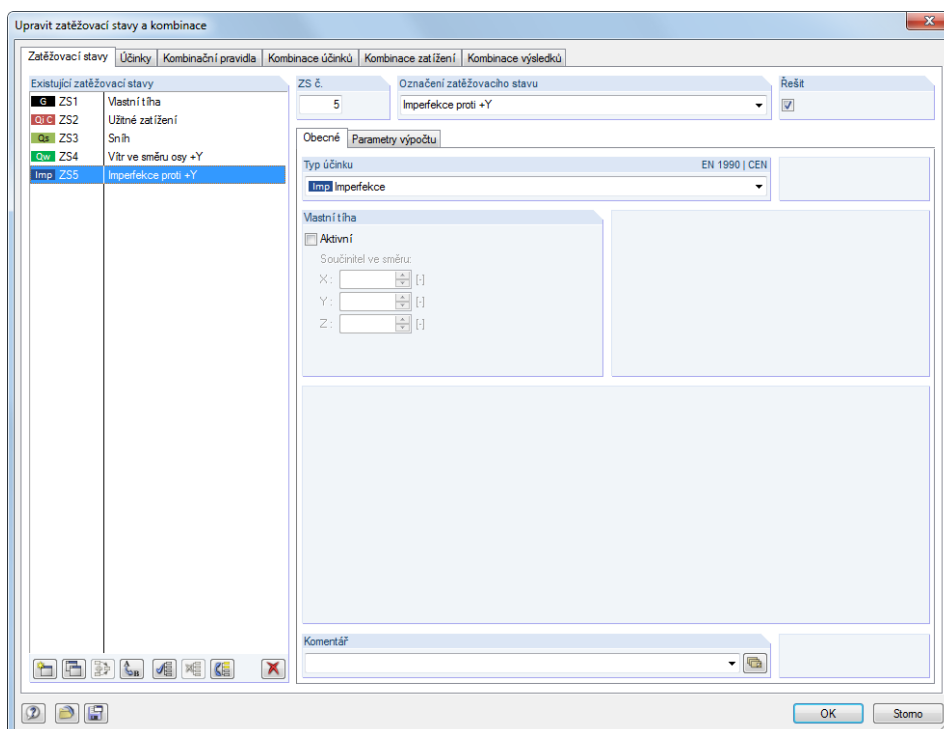
V posledním zatěžovacím stavu zadáme imperfekce u sloupů zatížených normálovou silou.

Tentokrát použijeme k vytvoření nového zatěžovacího stavu navigátor *Data*: pravým tlačítkem myši klikneme na položku *Zatěžovací stavy*, a otevřeme tak místní nabídku, v níž vybereme funkci *Nový zatěžovací stav...*



Obr. 5.21: Místní nabídka položky *Zatěžovací stavy*

Jako označení zatěžovacího stavu vybereme ze seznamu **Imperfekce v +Y**. Kategorie účinku se přitom automaticky změní na **Imp Imperfekce**.

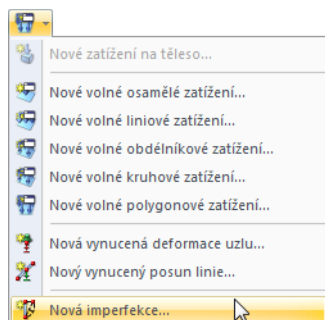


Obr. 5.22: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Zatěžovací stavy*

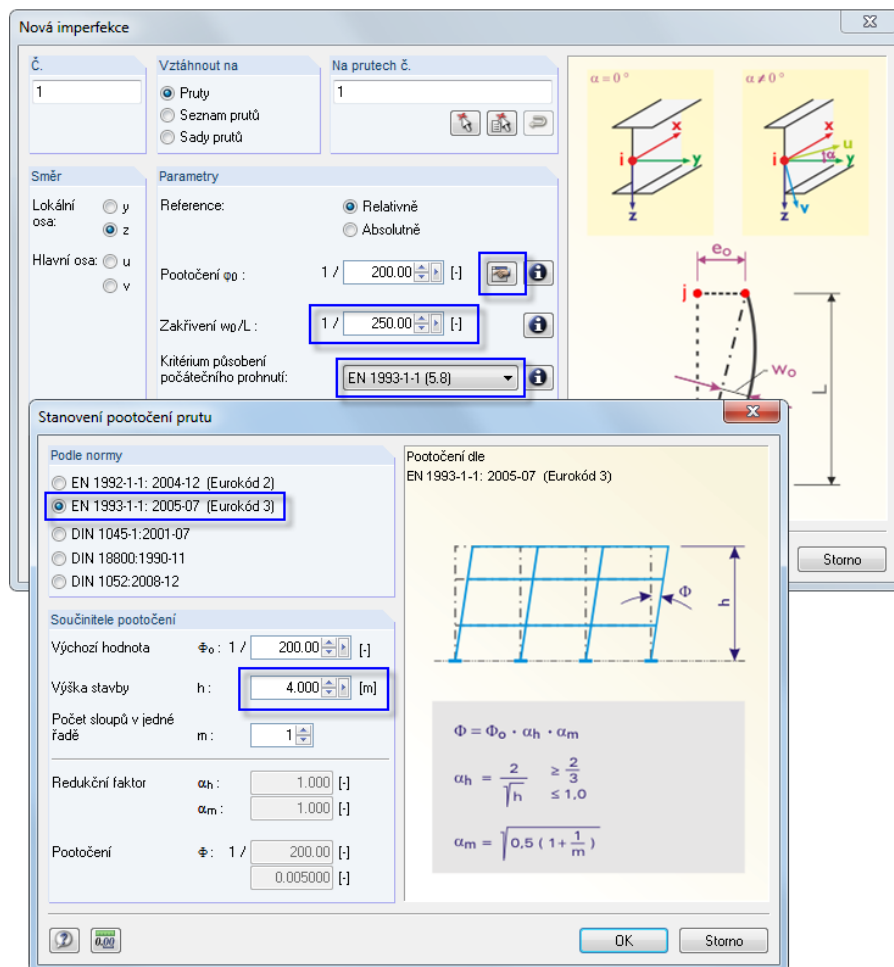
Dialog zavřeme kliknutím na [OK].

5.5.1 Ocelové sloupy

V seznamu u tlačítka [Nové volné polygonové zatížení] vybereme položku *Nová imperfekce...*, a otevřeme tak následující dialog:



Rozbalovací tlačítko pro zadání zatížení



Obr. 5.23: Dialog *Nová imperfekce*

Imperfekci zadáme ve směru os **y** daných sloupů – ve směru ,slabé‘ osy prutů, která je v našem příkladu rovnoběžná s globální osou **Y**.



Pootočení ϕ_0 zadáme pomocí tlačítka [Spočítat naklonění podle normy a načíst hodnotu...], kterým otevřeme dialog *Stanovení pootočení prutu*. V něm nastavíme *normu EN 1993-1-1* a upravíme *výšku modelu* na **4 m**. Po kliknutí na [OK] se vrátíme do výchozího dialogu.

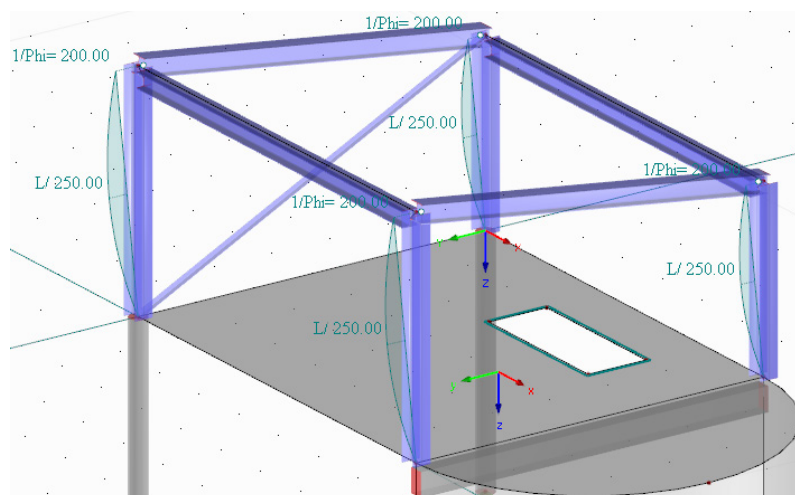
V případě křivky vzpěrné pevnosti *b* průřezů HE A 300 je podle normy EN 1993-1-1, tab. 5.1 třeba uvažovat počáteční *prohnutí* $e_{0,d}/L$ odpovídající **1/250** (viz kapitola 2.3, strana 7).

Kritérium působení počátečního prohnutí změníme na **EN 1993-1-1 (5.8)** a potvrdíme údaje v tomto dialogu tlačítkem [OK].



Nyní myši klikneme na všechny čtyři ocelové sloupy, tj. pruty č. **6, 4, 9 a 7**, a přiřadíme jim tak imperfekce.

Klávesou [Esc] nebo kliknutím pravým tlačítkem myši do prázdné plochy v pracovním okně danou funkci ukončíme.

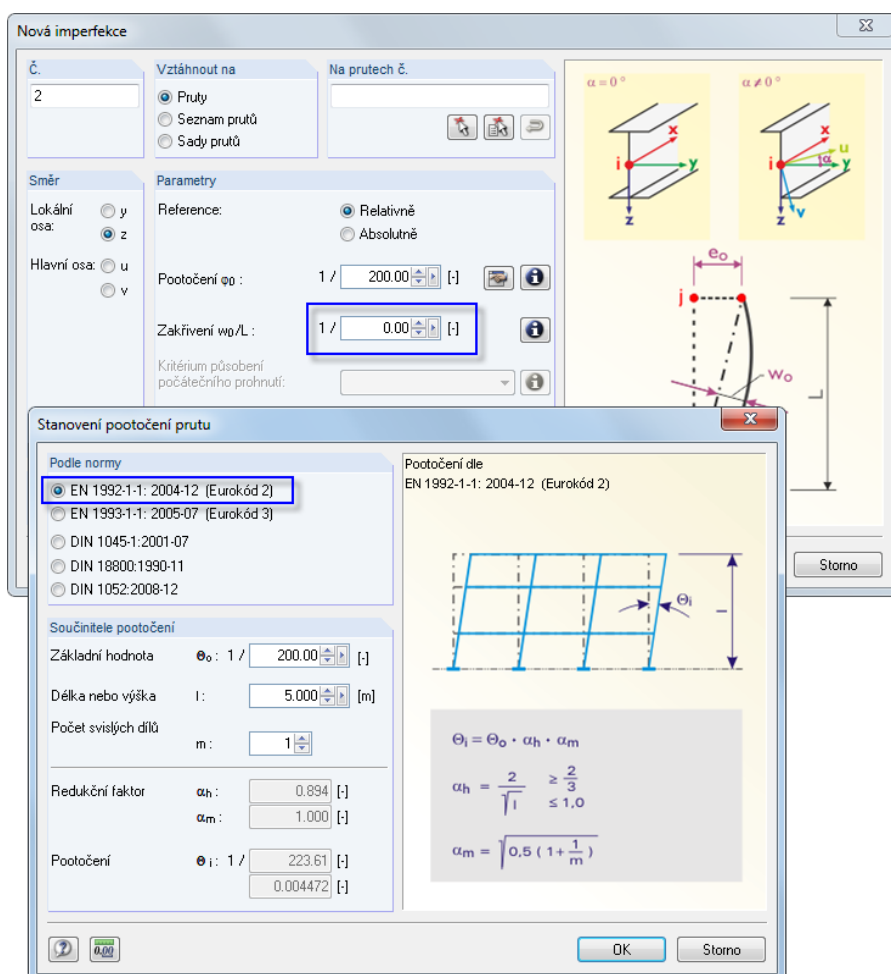


Obr. 5.24: Zadání imperfekcí u ocelových sloupů

5.5.2 Betonové sloupy



Dialog *Nová imperfekce* otevřeme ještě jednou, abychom definovali počáteční naklonění betonových sloupů.

Obr. 5.25: Dialog *Nová imperfekce*



Pootočení φ_0 stanovíme znovu pomocí tlačítka [Spočítat naklonění podle normy a načíst hodnotu...]: v dialogu *Stanovení pootočení prutu*, který se otevře, nyní nastavíme *normu EN 1992-1-1*.

Podle Eurokódu 2 se počáteční prohnutí nemusí zohlednit, a proto nastavíme ve výchozím dialogu *počáteční prohnutí* $e_{0,d}/L$ na nulu (1/0,00).

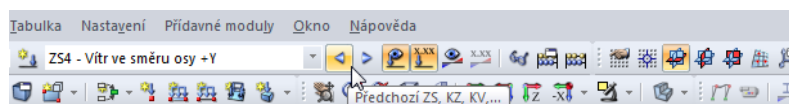


Údaje v dialogu potvrdíme tlačítkem [OK] a následně klikneme na oba betonové sloupy, tj. pruty s číslem **1** a **2**, abychom jim přiřadili imperfekce.

5.6 Kontrola zatěžovacích stavů

Všech 5 zatěžovacích stavů je kompletně zadáno. Nyní doporučujeme údaje znovu [Uložit].

V rychlosti můžeme jednotlivé zatěžovací stavy překontrolovat v grafickém okně: listovat zatěžovacími stavy lze pomocí tlačítek [◀] a [▶] v panelu nástrojů (tlačítka pro předchozí, resp. následující zatěžovací stav).

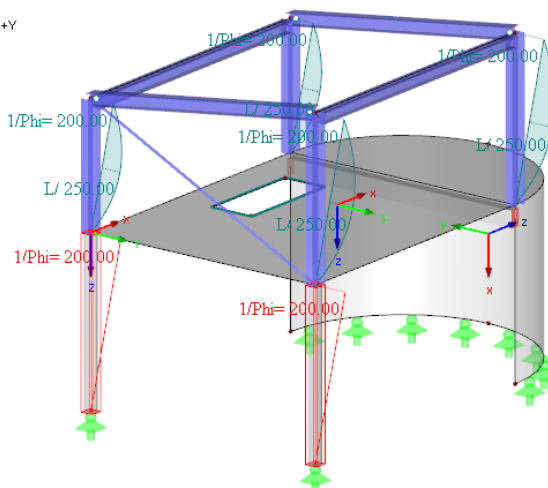


Obr. 5.26: Listování jednotlivými zatěžovacími stavy

Také v případě zatížení se graficky zadané údaje zaznamenají jak do navigátoru *Data* tak do vstupních tabulek.

Příslušné údaje najdeme v tabulce 3. *Zatížení*, kterou můžeme nastavit pomocí vlevo znázorněného tlačítka z panelu nástrojů v okně tabulky. Grafické zobrazení a tabulka jsou přitom opět interaktivní: pokud například hledáme některou imperfekci v tabulce, pak otevřeme tabulku 3.13 *Imperfekce* a v grafickém okně myší vybereme dané zatížení. Kurzor myši se následně přesune do příslušného řádku v tabulce.

ZS5 : Imperfekce proti +Y
Zatížení [-]



3.13 Imperfekce

č.	Vztaženo na	Na prutech č.	Směr	Reference	Pootočení 1/φ₀ [-]	Zakřivení 1/w₀ [-]	Operace Kritérium	w₀ zohlednit od e₀ [-]	Komentář
1	Pruty	4,6,7,9	z	Relativní	200.00	250.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
2	Pruty	1,2	y	Relativní	200.00	0.00			
3									
4									
5									
6									

Volná polygonová zatížení | Vynucené deformace podepřených uzlů | Vynucené posunutí podepřených linií | Imperfekce

Vztaženo na

Obr. 5.27: Propojení mezi grafickým zadáním a tabulkou 3. Zatížení

6. Kombinace účinků

Zatěžovací stavy se budou skládat do kombinací podle EN 1990. Použijeme přitom interní generátor, který složí účinky do kombinací s požadovanými dílčími a kombinačními součiniteli. Předpoklad jsme pro to vytvořili již při zakládání nového modelu v dialogu *Nový model - základní údaje*, když jsme v něm označili volbu *Automaticky vytvořit kombinace* (viz obr. 3.1, strana 8).

Na *kategorii účinku* zatěžovacích stavů (viz obr. 5.22, strana 64) závisí, jak se budou zatěžovací stavy kombinovat v různých návrhových situacích.

6.1 Kontrola účinků

Zatěžovací stavy je třeba přiřadit *účinkům*, které se pak kombinují podle příslušných předpisů. Účinky představují na sobě nezávislé veličiny vlivu různého původu. Vztah mezi nimi lze z hlediska spolehlivosti nosné konstrukce zanedbat.

Zatěžovací stavy, účinky a kombinace se definují v dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* (viz obr. 5.22, strana 64) či v tabulce 2. Tabulku lze otevřít pomocí vlevo znázorněného tlačítka. V tabulce 2.1 *Zatěžovací stavy* je přehledně seřazeno našich 5 zatěžovacích stavů se zvolenými kategoriemi účinků.



2.1 Zatěžovací stavy

Zatěž. stav	zátěž. stavu	Řešit	Kategorie účinků	Aktivní	Vlastní váha - Součinitel ve směru	X	Y	Z	Komentář
ZS1	Vlastní tíha	☒	G Stálé	☒	0.000	0.000	1.000		
ZS2	Užitné zatížení	☒	Q ₁ Užitná zatížení - kategorie C	☐					
ZS3	Sníh	☒	Q _s Sníh (H ≤ 1000 m n.m.)	☐					
ZS4	Větr ve směru osy +Y	☒	Q _w Větr	☐					
ZS5	Imperfekce proti +Y	☒	Imp Imperfekce	☐					
ZS6									

Zatěžovací stavy | Účinky | Kombinační pravidla | Kombinace účinků | Kombinace zatížení | Kombinace výsledků

Označení zatěžovacího stavu

Obr. 6.1: Tabulka 2.1 *Zatěžovací stavy*

Následující tabulka 2.2 *Účinky* podává informaci o tom, které zatěžovací stavy jednotlivé účinky obsahují. V našem příkladu je každý zatěžovací stav přiřazen jinému účinku. Pokud bychom ovšem definovali například několik zatížení větrem v různých směrech, všechna by spadala pod účinek *Větr*.

2.2 Účinky

Účinek	Označení účinku	Kategorie účinků	Působení	Zatěžovací stavy v účinku	ZS.1	ZS.2	ZS.3	Komentář
U1	Stálé	G Stálé			ZS.1			
U2	Užitná zatížení	Q ₁ Užitná zatížení - kategorie C: plochy, kde může			ZS.2			
U3	Sníh	Q _s Sníh (H ≤ 1000 m n.m.)			ZS.3			
U4	Větr	Q _w Větr			ZS.4			
U5								

Zatěžovací stavy | Účinky | Kombinační pravidla | Kombinace účinků | Kombinace zatížení | Kombinace výsledků

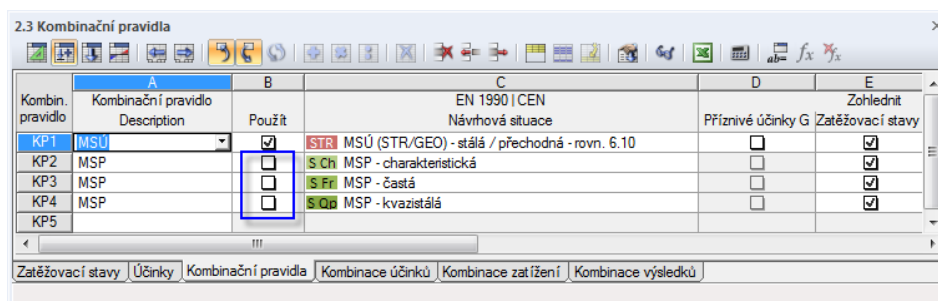
Označení

Obr. 6.2: Tabulka 2.2 *Účinky*

Imperfekce v této tabulce chybí, protože nepředstavují „skutečné“ účinky.

6.2 Stanovení kombinačních pravidel

Podle EN 1990 je třeba účinky při posouzení na mezní stav únosnosti a použitelnosti skládat do kombinací podle určitých pravidel. V následující tabulce 2.3 *Kombinační pravidla* se stanoví, na jaké mezní stavy se má konstrukce vyšetřit.

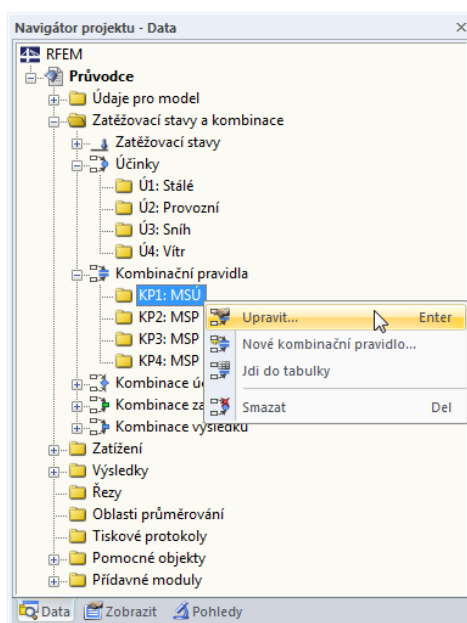


Kombin. pravidlo	Kombinační pravidlo Description	Použít	EN 1990 CEN Návrhová situace	Příznivé účinky G	Zohlednit Zatěžovací stavy
KP1	MSÚ	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná - rovn. 6.10	☐	☒
KP2	MSP	☒	S CH MSP - charakteristická	☐	☒
KP3	MSP	☒	S Fr MSP - častá	☐	☒
KP4	MSP	☒	S Qd MSP - kvazistálá	☐	☒
KP5		☐			

Obr. 6.3: Tabulka 2.3 *Kombinační pravidla*

V našem příkladu je relevantní pouze mezní stav únosnosti (MSÚ). Ve sloupci *Použít* proto zrušíme označení tří políček u kombinačních pravidel pro analýzu v mezním stavu použitelnosti (MSP).

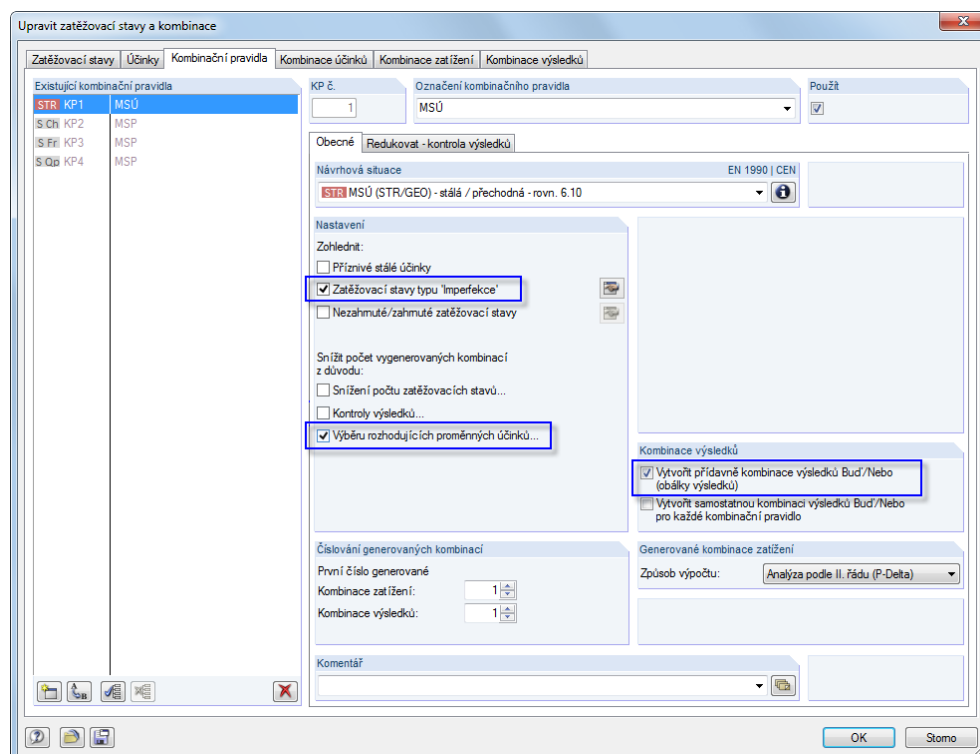
Z místní nabídky položky *Kombinační pravidla* v navigátoru nyní otevřeme dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, abychom upravili parametry kombinačního pravidla KP1.



Obr. 6.4: Místní nabídka položky *Kombinační pravidla* v navigátoru

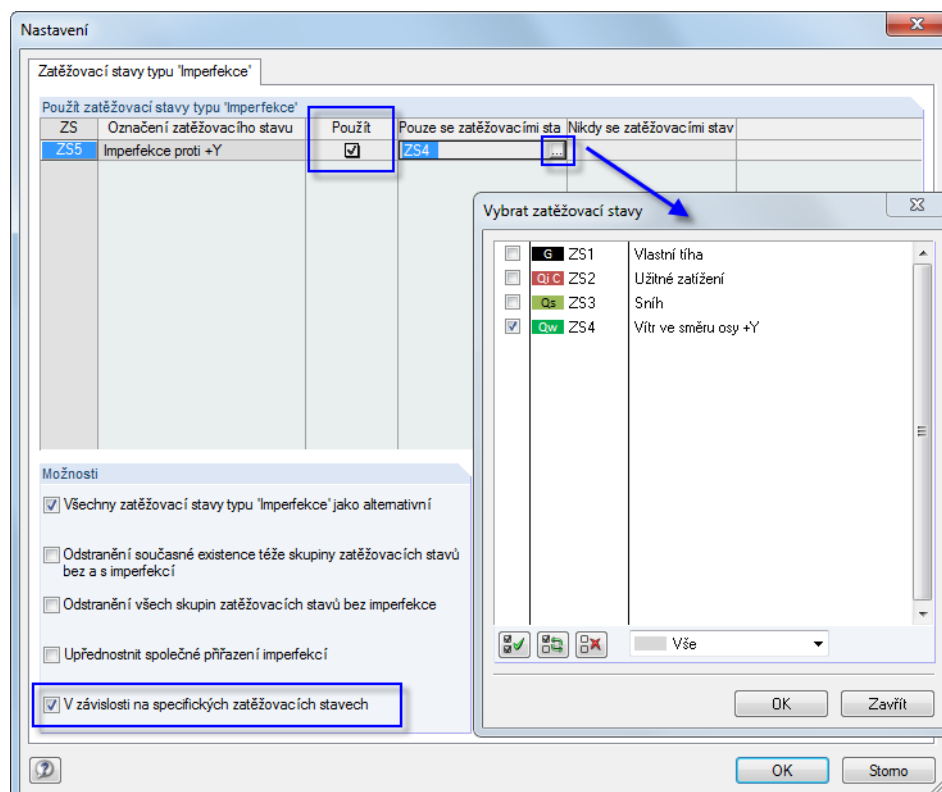


Pomocí informačního tlačítka v tomto dialogu (viz následující obrázek) zobrazíme vysvětlivky ke kombinačnímu pravidlu pro mezní stavy STR a GEO.



Obr. 6.5: Dialog Upravit zatěžovací stavy a kombinace, záložka Kombinační pravidla

V sekci **Nastavení** aktivujeme možnost **Zatěžovací stavy typu 'Imperfekce'**; imperfekce se tak při generování kombinací **zohlední**. Po označení této volby se otevře následující dialog:



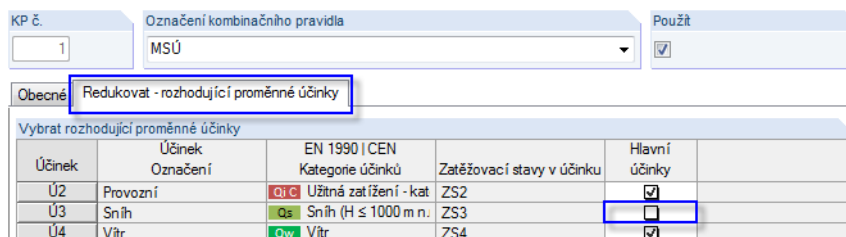
Obr. 6.6: Dialog Nastavení pro zatěžovací stavy typu 'Imperfekce'

Zaškrtneme políčko ve sloupci **Použít**, aby se zohlednil ZS4.

V sekci *Možnosti* aktivujeme funkci **V závislosti na specifických zatěžovacích stavech**. Poté klikneme v horní části dialogu do políčka *Pouze se zatěžovacími stavy*. Na konci pole se zobrazí tlačítko [...]. Otevřeme jím dialog *Vybrat zatěžovací stavy*, v němž označíme **ZS4 Větr ve směru osy +Y**. Imperfekce se tak budou uvažovat pouze v kombinacích, které zahrnují také zatížení větrem.

Následně potvrdíme údaje v obou dialogích, které vidíme na obr. 6.6, tlačítkem [OK].

V sekci *Nastavení* výchozího dialogu (obr. 6.5) můžeme dále snížit počet generovaných kombinací tím, že necháme zohlednit pouze **rozhodující proměnné účinky**. Po označení této volby se dialog rozšíří o další záložku.

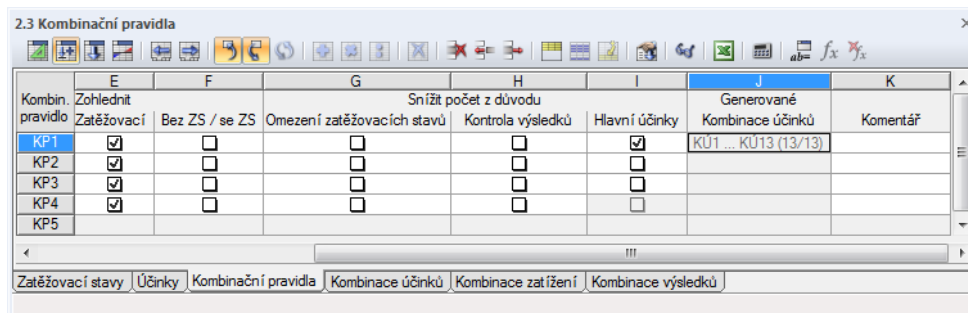


Obr. 6.7: Stanovení rozhodujících účinků v záložce *Redukovat - rozhodující proměnné účinky*

V záložce *Redukovat - rozhodující proměnné účinky* deaktivujeme účinek **Ú3**, protože zatěžovací stav *Sníh* se má v kombinacích uvažovat pouze jako doprovodný účinek. Počet generovaných kombinací se tím sníží.

Předtím, než dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* zavřeme tlačítkem [OK], ověříme, zda je v záložce *Obecné* označena volba **Vytvořit přidavně kombinace výsledků Bud/Nebo**. Výstupem této kombinace jsou extrémní hodnoty všech kombinací zatížení (obálka výsledků).

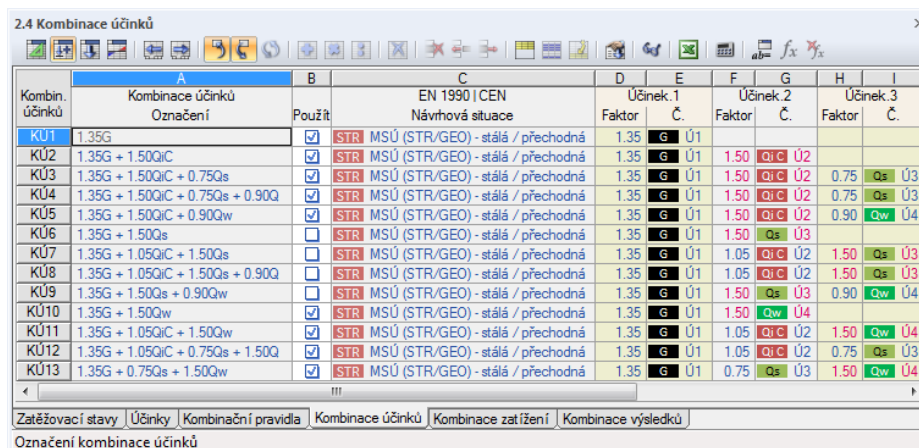
Údaje potvrdíme tlačítkem [OK] a přepneme do následující tabulky 2.4 *Kombinace účinků*. RFEM přitom vytvoří kombinace účinků. Pokud se pak vrátíme do tabulky 2.3 *Kombinační pravidla*, najdeme ve sloupci *Generované kombinace účinků* údaj o vytvoření 13 kombinací.



Obr. 6.8: Tabulka 2.3 *Kombinační pravidla*, sloupec *Generované kombinace účinků*

6.3 Vytvoření kombinací účinků

RFEM vytvoří 13 kombinací účinků (viz obr. 6.8). Tyto kombinace se zobrazí v tabulce 2.4 *Kombinace účinků* seřazené podle jednotlivých účinků.



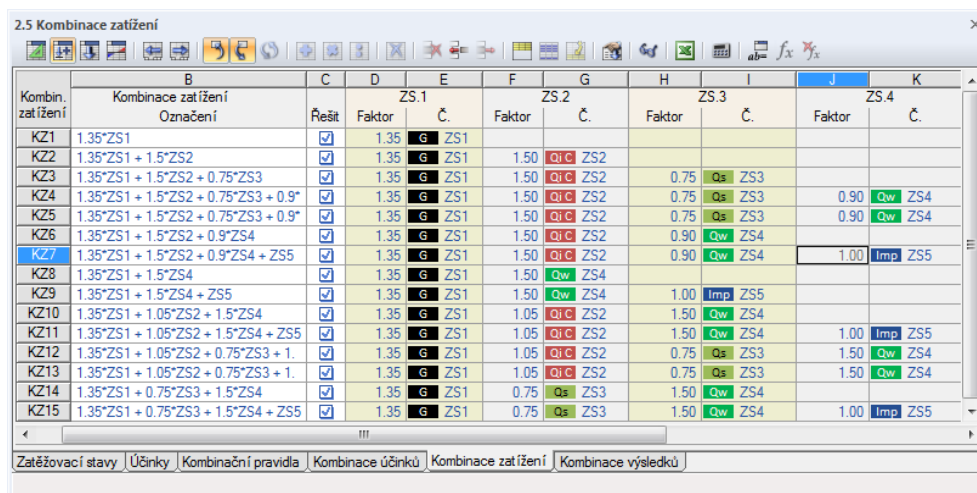
Kombin. účinků	Kombinace účinků Označení	Použit	EN 1990 CEN Návrhová situace	Účinek 1 Faktor	Účinek 2 Faktor	Účinek 3 Faktor
KU1	1.35G	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU2	1.35G + 1.50Q _{iC}	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU3	1.35G + 1.50Q _{iC} + 0.75Q _s	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU4	1.35G + 1.50Q _{iC} + 0.75Q _s + 0.90Q	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU5	1.35G + 1.50Q _{iC} + 0.90Q _w	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU6	1.35G + 1.50Q _s	☐	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU7	1.35G + 1.05Q _{iC} + 1.50Q _s	☐	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU8	1.35G + 1.05Q _{iC} + 1.50Q _s + 0.90Q	☐	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU9	1.35G + 1.50Q _s + 0.90Q _w	☐	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU10	1.35G + 1.50Q _w	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU11	1.35G + 1.05Q _{iC} + 1.50Q _w	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU12	1.35G + 1.05Q _{iC} + 0.75Q _s + 1.50Q	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1
KU13	1.35G + 0.75Q _s + 1.50Q _w	☒	STR MSÚ (STR/GEO) - stálá / přechodná	1.35	G	Ú1

Obr. 6.9: Tabulka 2.4 *Kombinace účinků*

Daný přehled odpovídá způsobu, jakým účinky upravují normy. Ve sloupci *Použit* lze stanovit, které kombinace účinků budou připadat v úvahu pro vytvoření kombinací zatížení. Vzhledem k tomu, že účinek Q_s (sníh) jsme označili pouze za doprovodný účinek, nejsou aktivovány kombinace účinků, v nichž je účinek Q_s hlavním účinkem.

6.4 Vytvoření kombinací zatížení

Pokud přepneme do následující tabulky 2.5 *Kombinace zatížení*, vytvoří se automaticky z devíti relevantních kombinací účinků (viz obr. 6.9) 15 kombinací zatížení.



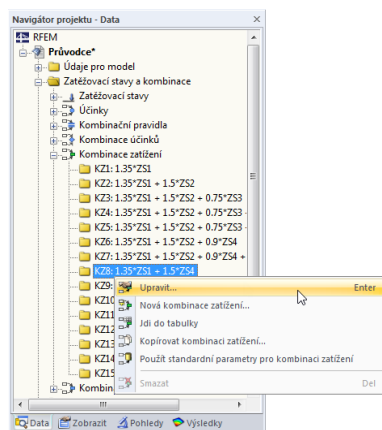
Kombin. zatížení	Kombinace zatížení Označení	Řešit	Faktor	ZS.1 Č.	Faktor	ZS.2 Č.	Faktor	ZS.3 Č.	Faktor	ZS.4 Č.
KZ1	1.35*ZS1	☒	1.35	G	ZS1					
KZ2	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2		
KZ3	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.75*ZS3	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2	0.75	Q _s ZS3
KZ4	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2	0.75	Q _s ZS3
KZ5	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2	0.75	Q _s ZS3
KZ6	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2	0.90	Q _w ZS4
KZ7	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4 + ZS5	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _{iC}	ZS2	0.90	Q _w ZS4
KZ8	1.35*ZS1 + 1.5*ZS4	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _w	ZS4		
KZ9	1.35*ZS1 + 1.5*ZS4 + ZS5	☒	1.35	G	ZS1	1.50	Q _w	ZS4	1.00	Imp ZS5
KZ10	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.5*ZS4	☒	1.35	G	ZS1	1.05	Q _{iC}	ZS2	1.50	Q _w ZS4
KZ11	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 1.5*ZS4 + ZS5	☒	1.35	G	ZS1	1.05	Q _{iC}	ZS2	1.50	Q _w ZS4
KZ12	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.	☒	1.35	G	ZS1	1.05	Q _{iC}	ZS2	0.75	Q _s ZS3
KZ13	1.35*ZS1 + 1.05*ZS2 + 0.75*ZS3 + 1.	☒	1.35	G	ZS1	1.05	Q _{iC}	ZS2	0.75	Q _s ZS3
KZ14	1.35*ZS1 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS4	☒	1.35	G	ZS1	0.75	Q _s	ZS3	1.50	Q _w ZS4
KZ15	1.35*ZS1 + 0.75*ZS3 + 1.5*ZS4 + ZS5	☒	1.35	G	ZS1	0.75	Q _s	ZS3	1.50	Q _w ZS4

Obr. 6.10: Tabulka 2.5 *Kombinace zatížení*

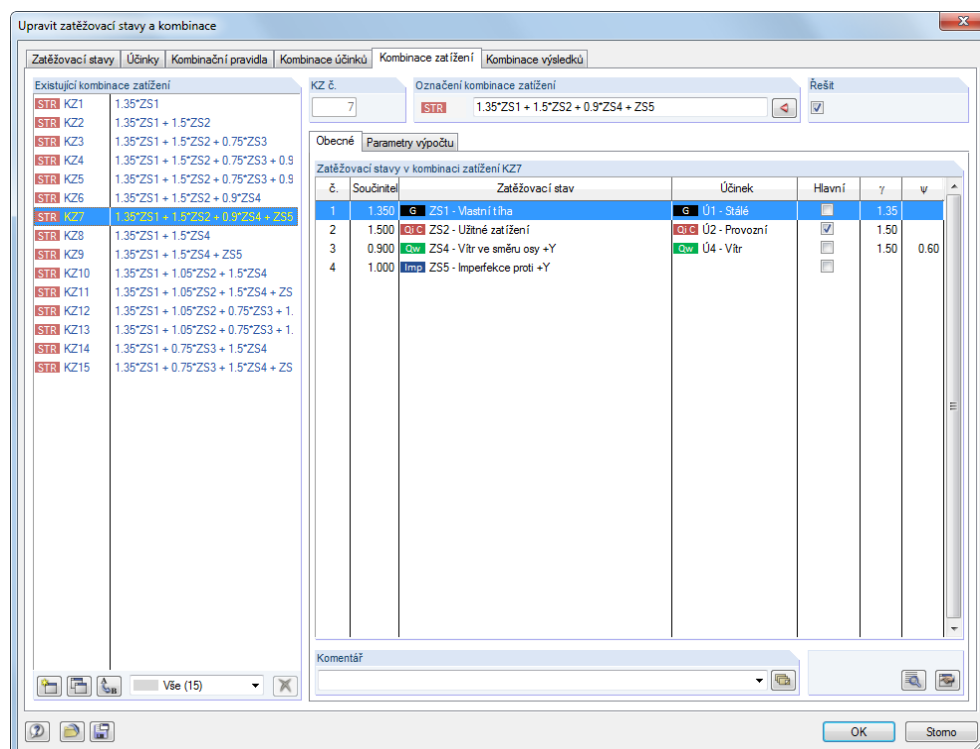
Ve sloupcích D až M jsou uvedeny zatěžovací stavy s příslušnými dílčími a kombinačními součiniteli, které se v každé kombinaci zatížení zohledňují.

Imperfekce jsou v souladu se zadáním obsaženy pouze v kombinacích, které zahrnují i účinky větru Q_w.

Z místní nabídky v navigátoru, kterou vidíme na levém okraji, otevřeme opět dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, abychom si v něm prohlédli vytvořené kombinace zatížení.



Místní nabídka položky *Kombinace zatížení*

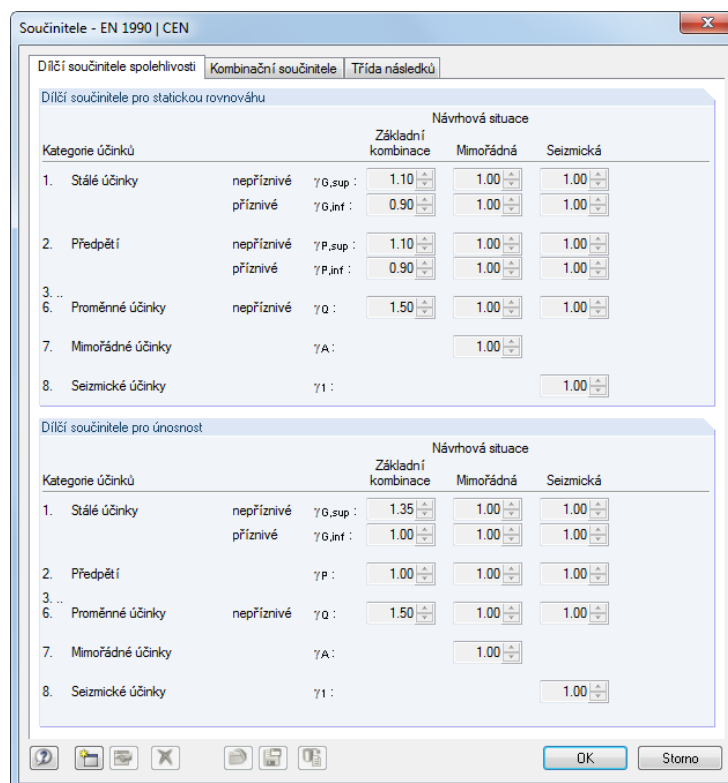


Obr. 6.11: Dialog Upravit zatěžovací stavy a kombinace, záložka Kombinace zatížení

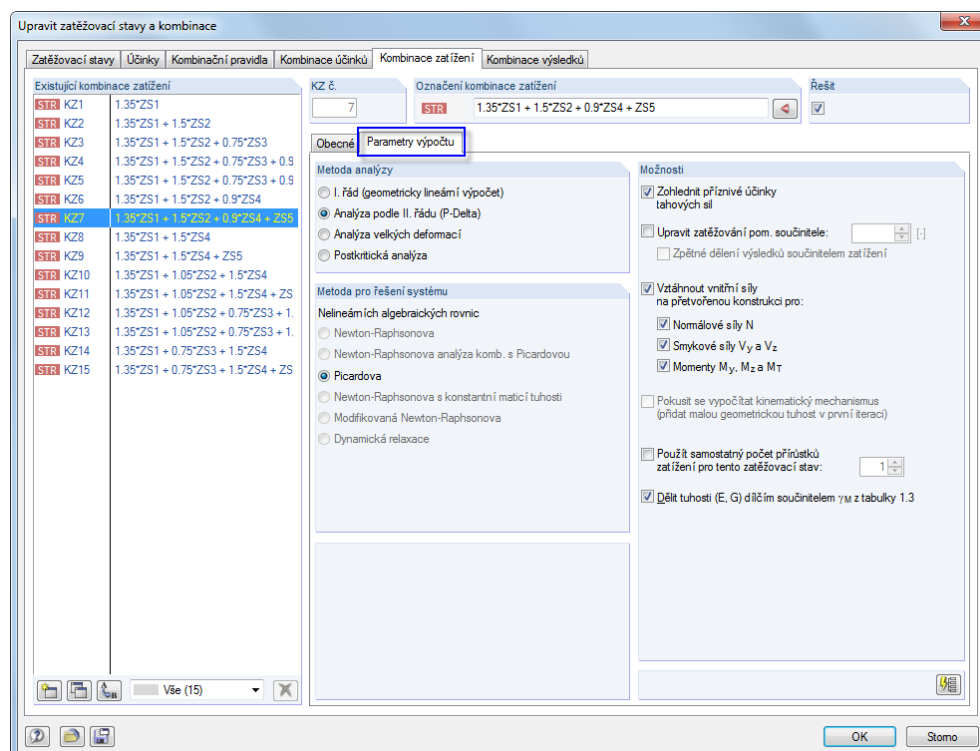
Pokud vybereme v seznamu *Existující kombinace zatížení* některou kombinaci, zobrazí se nám v pravé části dialogu příslušné zatěžovací stavy i s dílčími a kombinačními součiniteli. Označeny tu jsou zatěžovací stavy, které v kombinaci působí jako *hlavní*.



Tlačítko [Kombinační součinitele...] slouží k zobrazení dílčích a kombinačních součinitelů podle vybrané normy.

Obr. 6.12: Dialog *Součinitele*, záložka *Dílčí součinitele spolehlivosti*

V záložce *Parametry výpočtu* můžeme překontrolovat údaje, z nichž RFEM vychází při výpočtu jednotlivých kombinací zatížení.

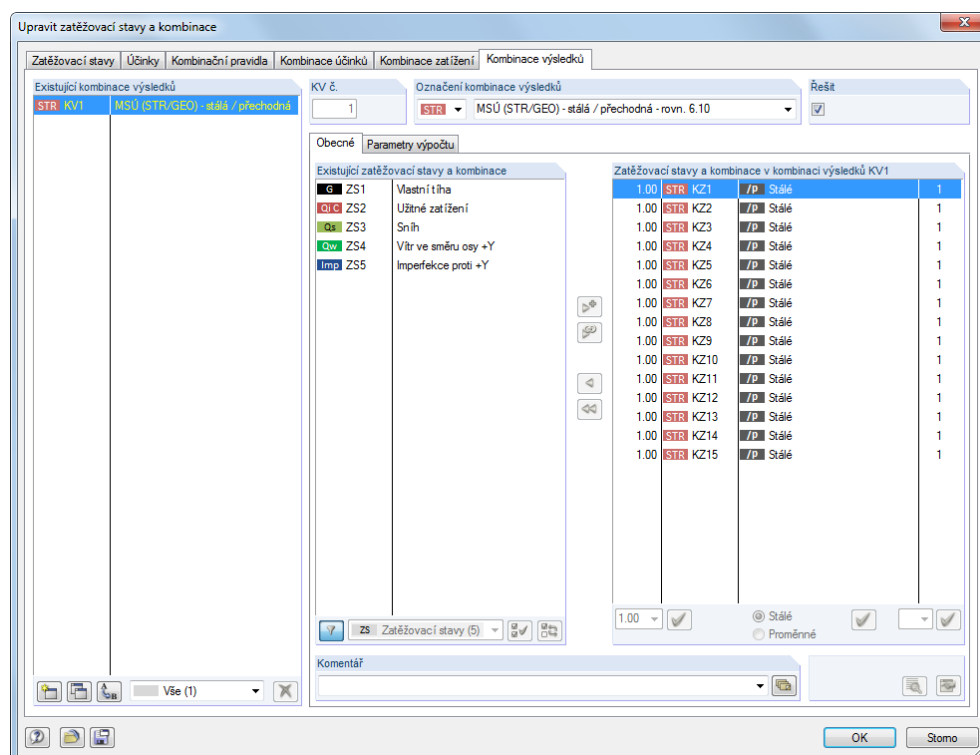
Obr. 6.13: Kontrola *parametrů výpočtu* vybrané kombinace zatížení

Kombinace zatížení se zásadně vyšetřují nelineárně *analýzou II. řádu (P-Delta)*.

6.5 Kontrola kombinace výsledků

V okamžiku, kdy bylo potřeba stanovit kombinační pravidla, označili jsme možnost *Vytvořit přídatně kombinace výsledků Bud/Nebo (obálky výsledků)* (viz obr. 6.5, strana 70), abychom určili extrémní hodnoty všech kombinací zatížení.

RFEM vytvoří z kombinací zatížení obálku hodnot. Kritérium kombinace výsledků se uvádí v příslušné záložce dialogu *Upravit zatěžovací stavy a kombinace* či v tabulce 2.6 *Kombinace výsledků*.



Obr. 6.14: Dialog *Upravit zatěžovací stavy a kombinace*, záložka *Kombinace výsledků*

Všechny kombinace zatížení vstupují do kombinace se součinitelem 1,00 a kritériem *Stálé*. Všechny se řadí do skupiny 1, tzn. že jejich působení je alternativní.



Kombinační kritéria jsme tak kompletně definovali. Zadané údaje můžeme v tomto stavu znovu [Uložit].

7. Výpočet

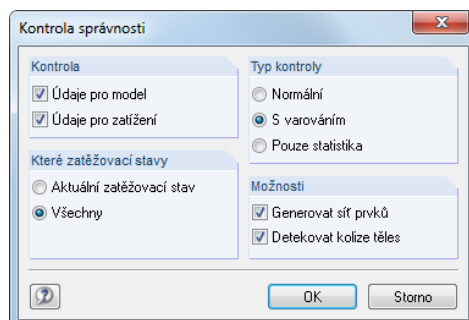
7.1 Kontrola vstupních dat



Před spuštěním výpočtu ještě necháme provést kontrolu, zda ve vstupních datech nejsou chyby. Z hlavní nabídky

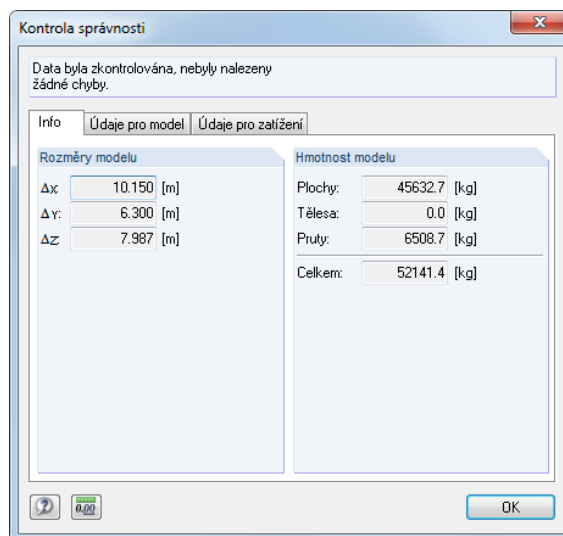
Nástroje → Kontrola správnosti...

vyvoláme dialog *Kontrola správnosti* a v něm nastavíme:



Obr. 7.1: Dialog *Kontrola správnosti*

Klikneme na [OK]. Pokud nebudou odhaleny žádné nesrovnalosti, objeví se příslušné hlášení a bilance zadaných dat o konstrukci a zatížení.



Obr. 7.2: Výsledek kontroly správnosti

Další nástroje pro kontrolu zadání máme k dispozici v hlavní nabídce

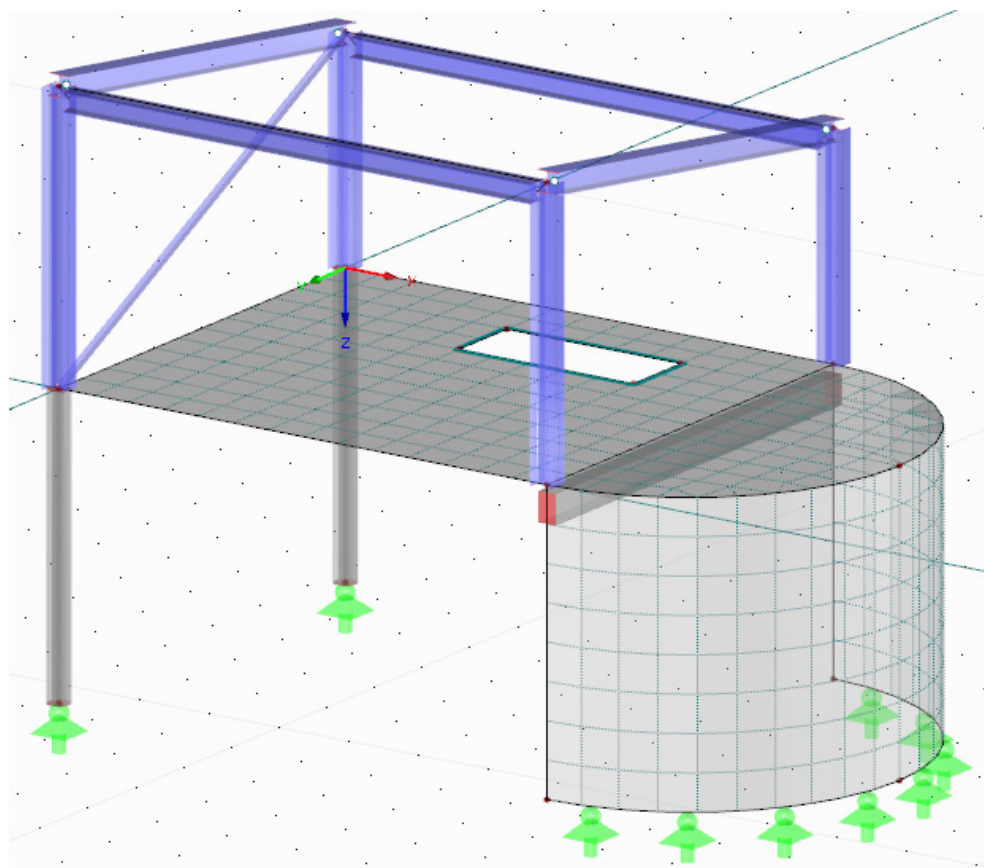
Nástroje → Kontrola modelu,

které můžeme podle potřeby aplikovat na náš model konstrukce.

7.2 Vytvoření sítě konečných prvků

Vygenerování sítě konečných prvků

Vzhledem k tomu, že jsme v dialogu *Kontrola správnosti* označili možnost *Generovat síť prvků* (viz obr. 7.1), automaticky se vytvořila síť prvků, mezi nimiž je standardní vzdálenost 0,5 m. Tato síť se zobrazí v grafickém okně (předem nastavenou vzdálenost mezi prvky lze upravit z hlavní nabídky *Výpočet* → *Nastavení sítě prvků...*).



Obr. 7.3: Model s vygenerovanou sítí konečných prvků

Zahuštění sítě prvků

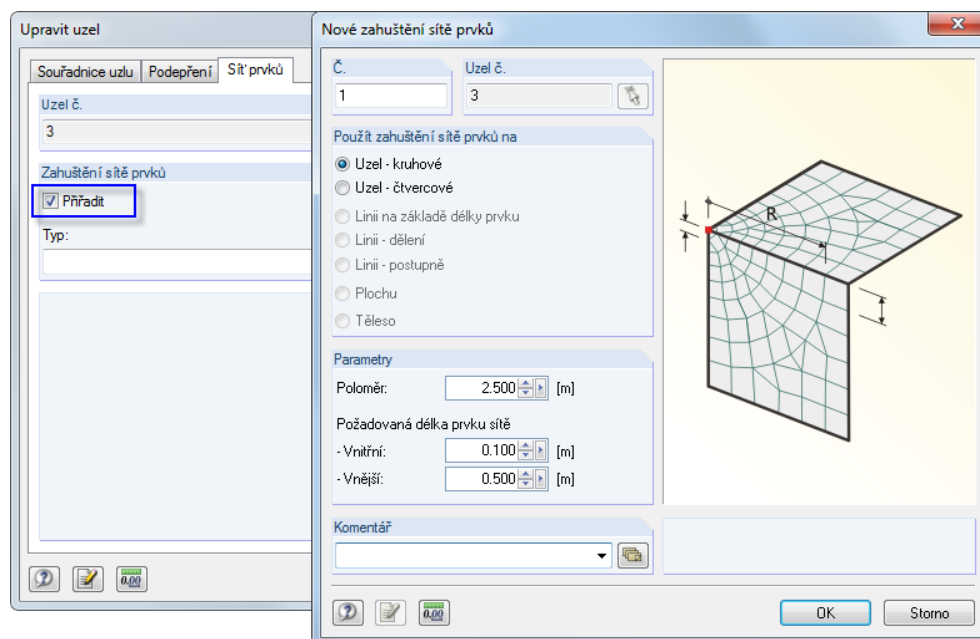
Na obou koncích průvlaku definujeme zahuštění sítě prvků, mezi konečnými prvky tak budou v daných oblastech menší vzdálenosti.

Dvakrát klikneme na uzel č. 3, a otevřeme tak dialog *Upravit uzel*. V záložce *Síť prvků* označíme v sekci *Zahuštění sítě prvků* možnost **Přiřadit** (viz obr. 7.4).

Dosud nebyl definován žádný typ zahuštění sítě prvků. Proto se automaticky zobrazí dialog pro zadání *nového zahuštění sítě prvků*.

V našem případě můžeme ponechat přednastavený typ zahuštění *Uzel - kruhové* i ostatní navržené *parametry* beze změny. Následně potvrdíme údaje v obou dialogích tlačítkem [OK] a síť prvků se smaže.

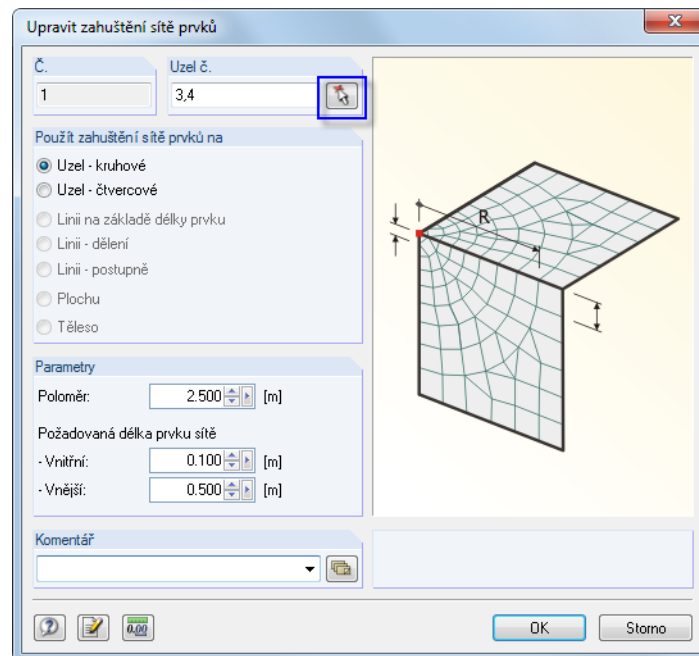
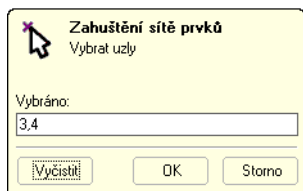
Na vybraném uzlu se zobrazí kruhová oblast zahuštění.



Obr. 7.4: Dialogy Upravit uzel a Nové zahuštění sítě prvků

Zahuštění sítě nyní přeneseme na druhý koncový uzel průvlaku. Použijeme přitom navigátor *Data*. Dvakrát klikneme na položku 1 pod *Zahuštěním sítě prvků*, a otevřeme tak dialog *Upravit zahuštění sítě prvků*.

Pokud klikneme na tlačítko [Vybrat uzly] v sekci *Uzel č.*, můžeme druhý uzel na žebří vybrat myší v grafickém okně.



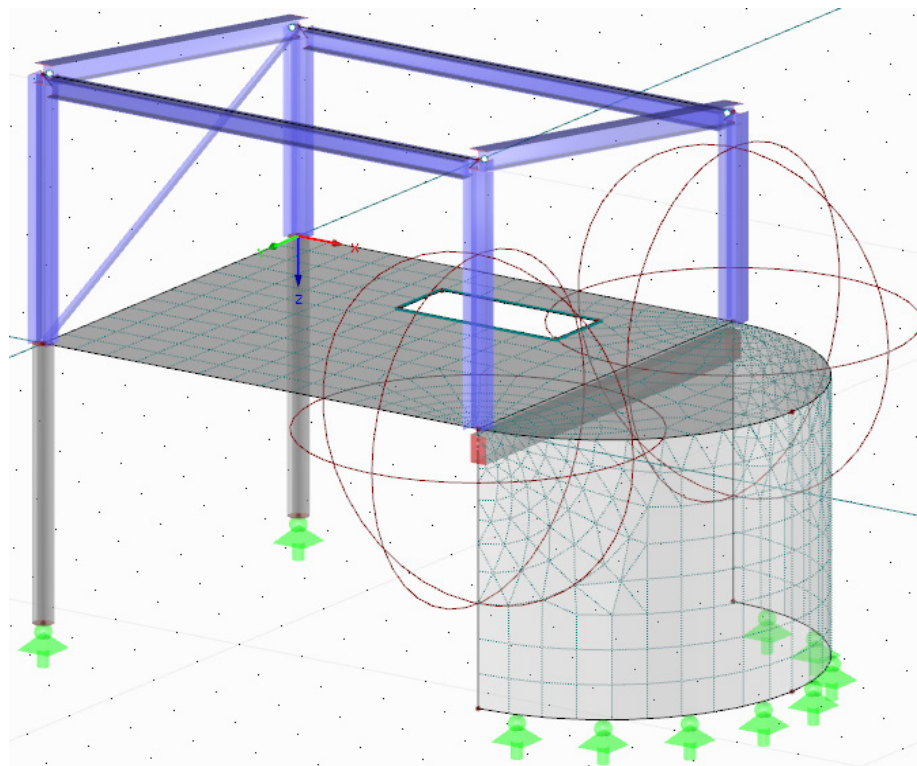
Obr. 7.5: Určení druhého uzlu v grafickém okně pomocí funkce [Vybrat uzly]

Všechny dialogy opět zavřeme tlačítkem [OK].

Nyní znovu vytvoříme síť konečných prvků příkazem z hlavní nabídky

Výpočet → Generovat síť prvků

a následně zkontrolujeme oblasti zahuštění.



Obr. 7.6: Síť prvků s oblastmi zahuštění

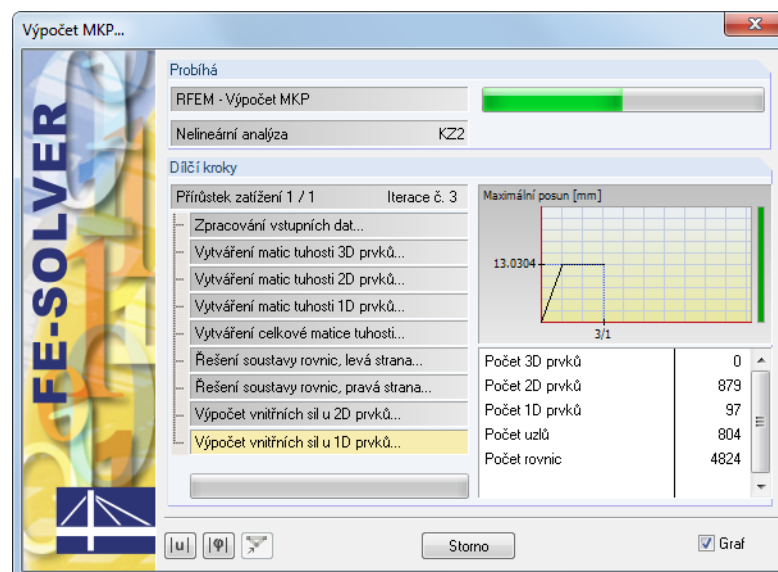
7.3 Výpočet modelu



Výpočet nyní spustíme z hlavní nabídky

Výpočet → Spočítat vše

nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.



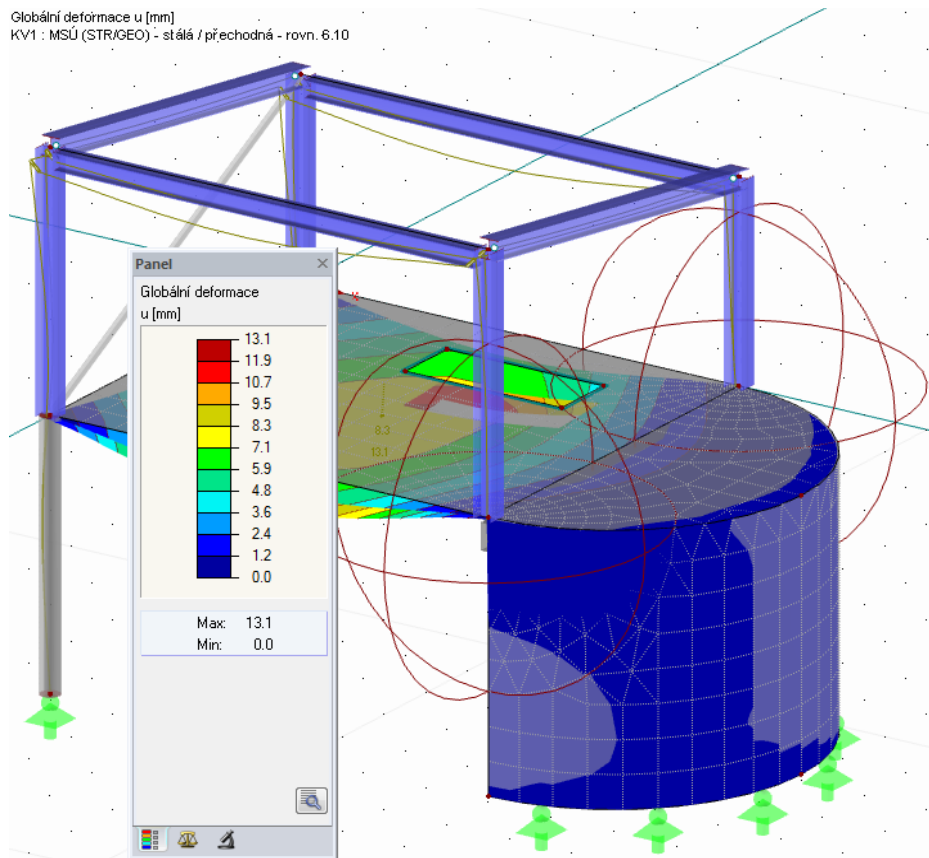
Obr. 7.7: Průběh výpočtu

8. Výsledky

8.1 Grafické zobrazení výsledků



Po výpočtu se v grafickém okně zobrazí deformace aktuálního zatěžovacího stavu.

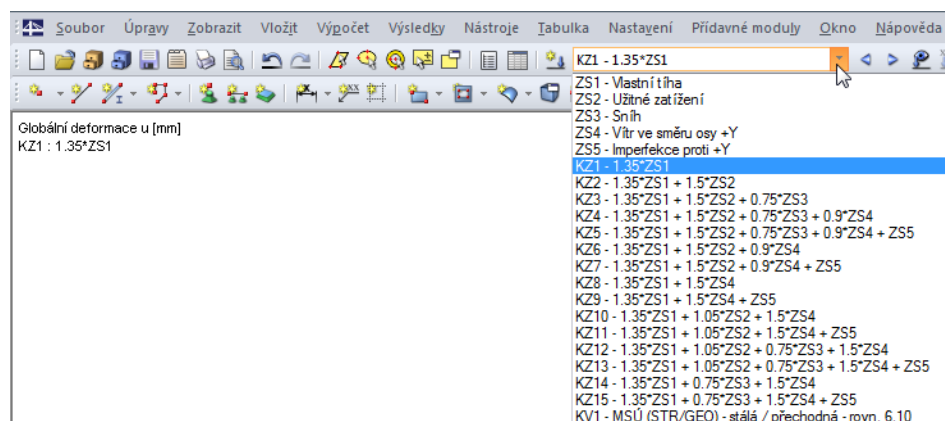


Obr. 8.1: Grafické zobrazení deformací v případě kombinace výsledků KV1

Výběr zatěžovacích stavů a kombinací zatížení



Pomocí tlačítek [◀] a [▶] v panelu nástrojů (vpravo vedle seznamu zatěžovacích stavů) lze přepínat mezi výsledky jednotlivých zatěžovacích stavů, kombinací zatížení i kombinace výsledků, stejně jako jsme v předchozím kroku kontrolovali zadání zatěžovacích stavů. Konkrétní zatěžovací stav či kombinaci lze samozřejmě vybrat i v seznamu.

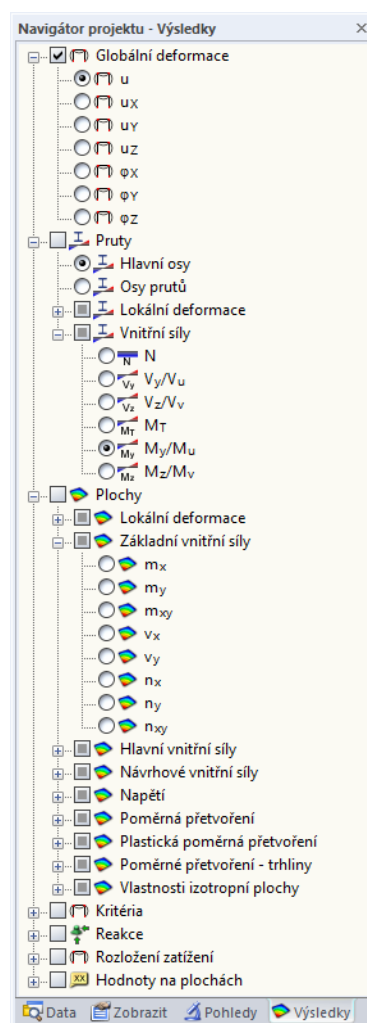


Obr. 8.2: Seznam zatěžovacích stavů v panelu nástrojů

Výběr výsledků v navigátoru



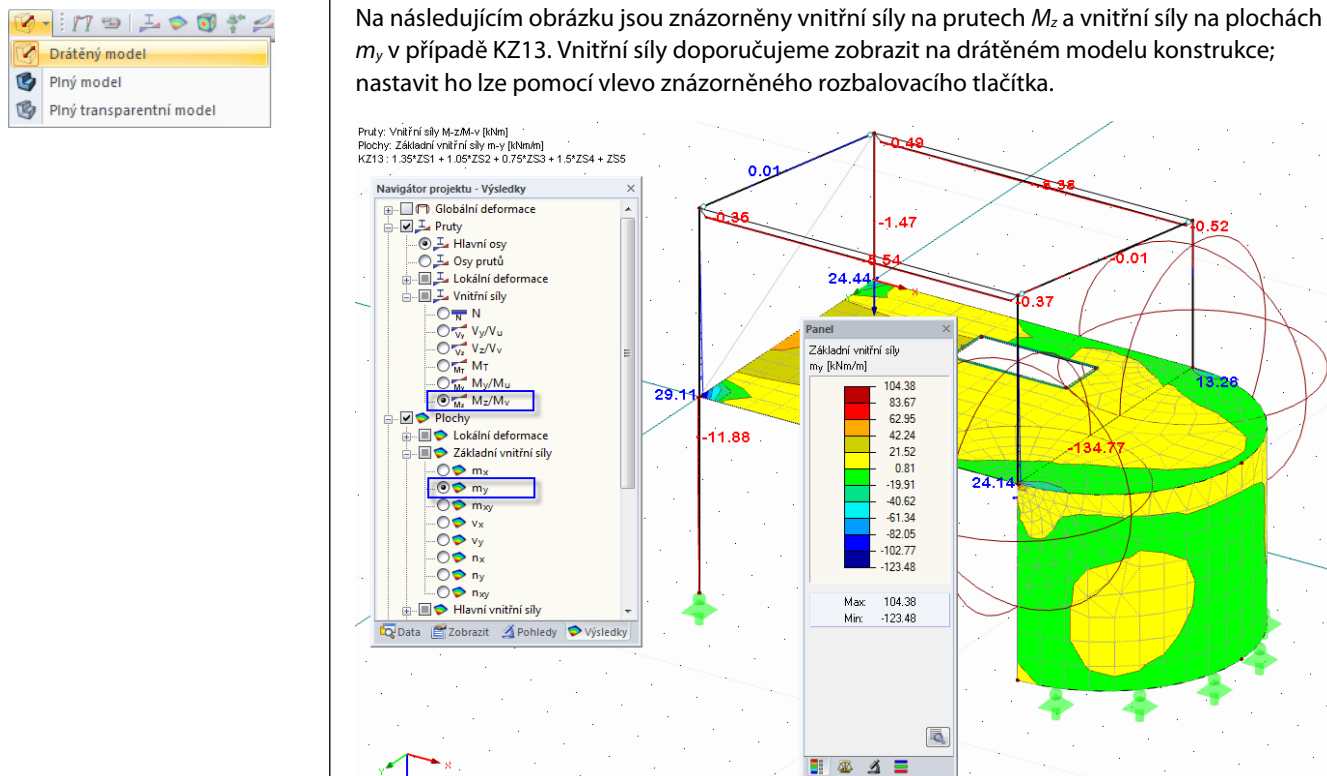
Jednotlivé typy výsledků jsou přehledně seřazeny ve čtvrtém navigátoru, z něhož je můžeme zobrazit v grafickém okně. Pokud má být navigátor *Výsledky* přístupný, je třeba aktivovat zobrazení výsledků. Výsledky lze zapínat, příp. vypínat v navigátoru *Zobrazit* nebo pomocí tlačítka [Zobrazit výsledky] v panelu nástrojů.

Obr. 8.3: Navigátor *Výsledky*

Před kategoriemi výsledků (např. *globální deformace*, *pruty*, *plochy*, *reakce*) se nacházejí zaškrťovací políčka. Pokud některé z nich aktivujeme, zobrazí se příslušné výsledky. Před položkami v rámci těchto kategorií jsou další políčka, pomocí nichž lze konkrétně nastavit, jaký typ výsledků si přejeme zobrazit.

Nyní si můžeme prolistovat jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace zatížení. Různé kategorie výsledků umožňují uživateli prohlédnout si deformace, vnitřní síly na prutech či plochách, napětí nebo reakce.

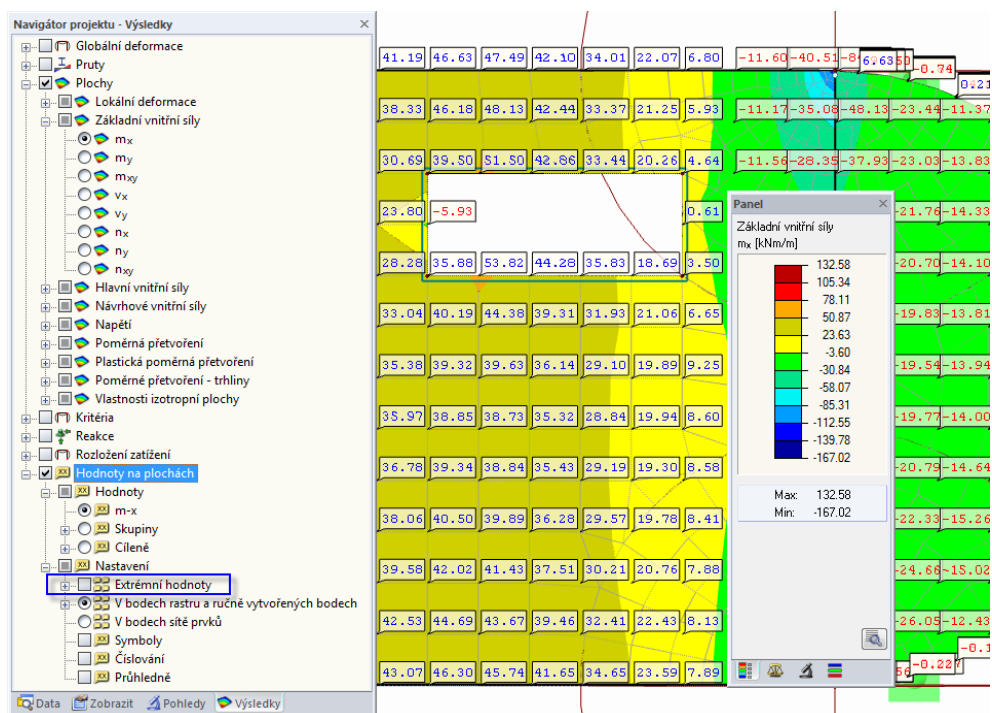
Na následujícím obrázku jsou znázorněny vnitřní síly na prutech M_z a vnitřní síly na plochách m_y v případě KZ13. Vnitřní síly doporučujeme zobrazit na drátěném modelu konstrukce; nastavit ho lze pomocí vlevo znázorněného rozbalovacího tlačítka.



Obr. 8.4: Zobrazení vnitřních sil na prutech a plochách

Zobrazení hodnot

Přiřazení výsledků do barevných oblastí se řídí stupnicí barev nastavenou v řídicím panelu. Na určitých místech však budeme potřebovat zobrazit přesné číselné hodnoty. Pak stačí zaškrtnout zcela dole v navigátoru *Výsledky* položku **Hodnoty na plochách**. Pokud si přejeme zobrazit všechny hodnoty v uzlech sítě konečných prvků nebo v bodech rastru, je třeba navíc deaktivovat volbu *Extrémní hodnoty*.

Obr. 8.5: Momenty m_x v bodech rastru na stropní desce v pohledu ve směru osy Z (KZ13)

8.2 Tabulky výsledků

Výsledky si lze prohlédnout také v tabulkách.

Zobrazení tabulek

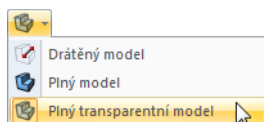
Po výpočtu se automaticky zobrazí tabulky s výsledky. Stejně jako v případě číselných vstupů jsou i jednotlivé typy výsledků uspořádány do různých tabulek. Tabulka 4.0 *Souhrn* poskytuje celkový přehled o průběhu výpočtu a údaje řadí podle zatěžovacích stavů a kombinací zatížení.

4.0 Souhrn

KZ13 - 1.35*ZS1 + 1.05

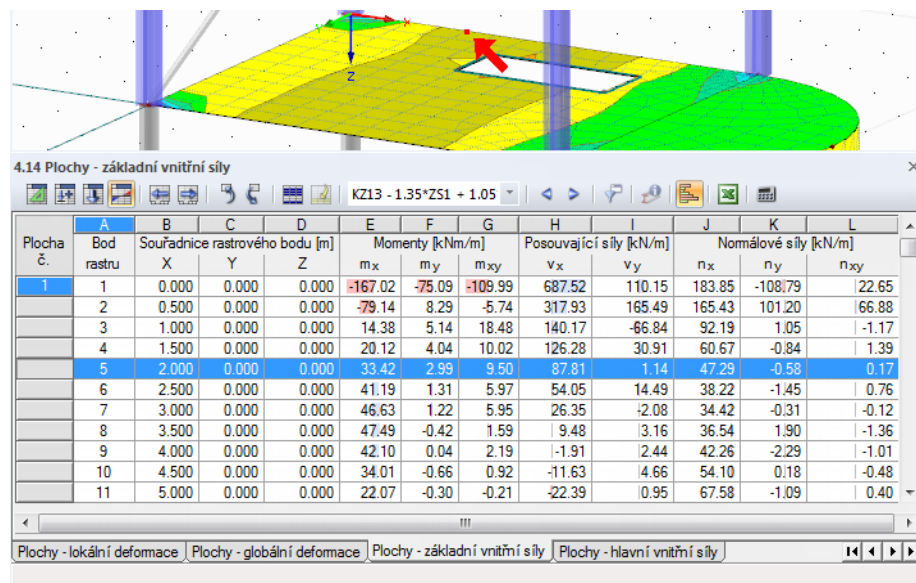
Tabulka 4. Výsledky	B	C	D
Označení	Hodnota	Jednotky	Komentář
ZS1 - Vlastní tíha			
Součet zatížení ve směru X	-768.00	kN	
Součet podporových sil ve směru X	-768.00	kN	Odchylka: 0.00 %
Součet zatížení ve směru Y	0.00	kN	
Součet podporových sil ve směru Y	0.00	kN	
Součet zatížení ve směru Z	652.10	kN	
Součet podporových sil ve směru Z	652.11	kN	Odchylka: 0.00 %
Výslednice reakcí okolo X	-0.167	kNm	V těžišti modelu (X: 6.078, Y: 3.045, Z: 0.587 m)
Výslednice reakcí okolo Y	-1350.130	kNm	V těžišti modelu
Výslednice reakcí okolo Z	-34.189	kNm	V těžišti modelu
Maximální posun ve směru X	-0.7	mm	Prut č. 1, x: 2.667 m
Maximální posun ve směru Y	1.0	mm	Prut č. 5, x: 3.029 m
Maximální posun ve směru Z	6.1	mm	Uzel sítě prvků č. 56 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
Maximální posun (vektorový)	6.1	mm	Uzel sítě prvků č. 56 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)

Souhrn | Uzly - podporové síly | Uzly - deformace | Linie - podporové síly | Pruty - lokální deformace

Obr. 8.6: Tabulka 4.0 *Souhrn*

Ostatní tabulky lze navolit pomocí záložek dole. Pokud v tabulce hledáme například vnitřní síly na stropní desce, otevřeme tabulku 4.14 *Plochy - základní vnitřní síly* a klikneme na příslušnou plochu myši v grafickém okně (při zobrazení konstrukce jako *plného transparentního modelu* je výběr ploch snazší). V tabulce výsledků se okamžitě vyhledají základní vnitřní síly vybrané

plochy. Aktuální bod rastru, tzn. poloha kurzoru v řádku tabulky, se v grafickém okně vyznačí šipkou.



Obr. 8.7: Vnitřní síly na plochách v tabulce 4.14 a vyznačení aktuálního bodu rastru v modelu konstrukce

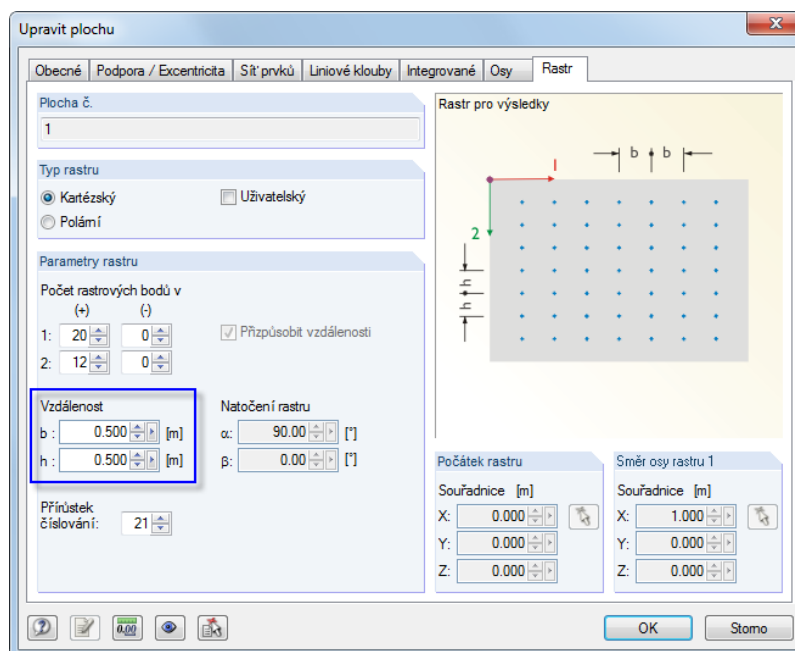


Nejen v grafickém okně, ale i v tabulkách lze pomocí tlačítek [◀] a [▶] listovat jednotlivými zatěžovacími stavy nebo lze ve výběrovém seznamu zvolit zatěžovací stav, jehož výsledky si chceme prohlédnout.

Úprava rastru pro zobrazení výsledků

Vnitřní síly na ploše se zobrazí v bodech rastru dané plochy. Standardně jsou body výsledného rastru vzdáleny od sebe 0,5 m stejně jako body v síti konečných prvků.

Pokud chceme rastr pro zobrazení výsledných hodnot na ploše 1 zjemnit, dvakrát na stropní desku v pracovním okně (nebo v navigátoru *Data*) klikneme. Otevře se dialog *Upravit plochu*, v jehož záložce *Rastr* upravíme některé parametry: jako novou vzdálenost mezi body rastru stanovíme pro b i h **0,250 m**.



Obr. 8.8: Úprava rastru pro zobrazení výsledných hodnot

Po kliknutí na [OK] se výsledné hodnoty v tabulce aktualizují. Nemusí přitom proběhnout nový výpočet, protože výsledky v bodech rastru se spočítají z hodnot v uzlech sítě konečných prvků.

4.14 Plochy - základní vnitřní síly

KZ13 - 1.35*ZS1 + 1.05

Plocha č.	Bod rastru	Souřadnice rastrového bodu [m]			Momenty [kNm/m]			Posouvající síly [kN/m]		Normálové síly [kN/m]		
		X	Y	Z	m_x	m_y	m_{xy}	v_x	v_y	n_x	n_y	n_{xy}
1	1	0.000	0.000	0.000	-167.02	-75.09	-109.99	687.52	110.15	183.85	-108.79	22.65
	2	0.500	0.000	0.000	-79.14	8.29	-5.74	317.93	165.49	165.43	101.20	66.88
	3	1.000	0.000	0.000	14.38	5.14	18.48	140.17	-66.84	92.19	1.05	-1.17
	4	1.500	0.000	0.000	20.12	4.04	10.02	126.28	30.91	60.67	-0.84	1.39
	5	2.000	0.000	0.000	33.42	2.99	9.50	87.81	1.14	47.29	-0.58	0.17
	6	2.500	0.000	0.000	41.19	1.31	5.97	54.05	14.49	38.22	-1.45	0.76
	7	3.000	0.000	0.000	46.63	1.22	5.95	26.35	-2.08	34.42	-0.31	-0.12
	8	3.500	0.000	0.000	47.49	-0.42	1.59	9.48	3.16	36.54	1.90	-1.36
	9	4.000	0.000	0.000	42.10	0.04	2.19	-1.91	2.44	42.26	-2.29	-1.01
	10	4.500	0.000	0.000	34.01	-0.66	0.92	-11.63	4.66	54.10	0.18	-0.48
	11	5.000	0.000	0.000	22.07	-0.30	-0.21	-22.39	0.95	67.58	-1.09	0.40
	12	5.500	0.000	0.000	6.80	-0.09	-1.13	-39.47	1.78	82.63	1.73	0.04
	13	6.000	0.000	0.000	-11.60	-0.33	-1.54	-63.01	-0.09	82.53	1.95	2.80

Pruty - parametry pro vzpěr | Štíhlosti prutů | Průřezy - vnitřní síly | Plochy - lokální deformace | Plochy - globální deformace

Obr. 8.9: Výsledné hodnoty na ploše 1 s jemnějším rastrem

8.3 Filtrování výsledků

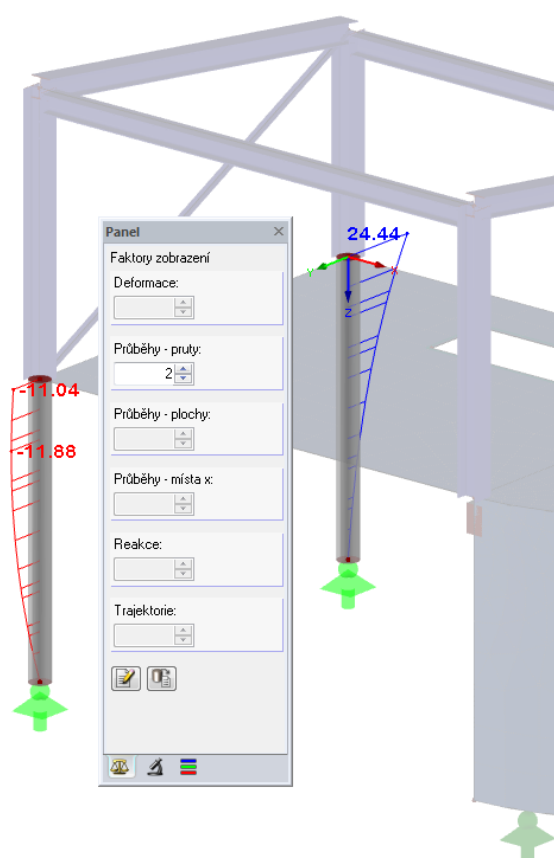
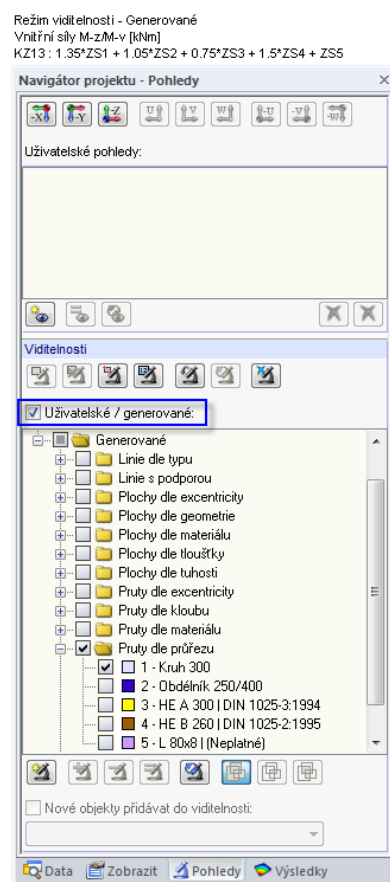
Pokud při zobrazování a vyhodnocování výsledků chceme zachovat přehlednost dat, můžeme využít řadu funkcí pro filtrování údajů, které nám program nabízí. Tyto nástroje můžeme použít i při zpracování naší úlohy.

8.3.1 Uživatelské viditelnosti

Již při zadávání ocelového rámu jsme pracovali s viditelností (viz kapitola 4.5.1, strana 32). Funkce viditelnosti je užitečná i při vyhodnocování výsledků.

Zobrazení výsledků pro betonové sloupy

V navigátoru nastavíme záložku *Pohledy*. Z *viditelností*, které RFEM vygeneroval automaticky na základě zadaných údajů, vybereme *Pruty dle průřezu* a označíme položku *Kruh 300*.



Obr. 8.10: Momenty M_z na betonových sloupech v nadvýšení (KZ13)

Zobrazí se oba betonové sloupy s výslednými hodnotami. Ostatní části modelu konstrukce se zobrazí pouze na pozadí a bez výsledných hodnot.

Úprava faktoru nadvýšení

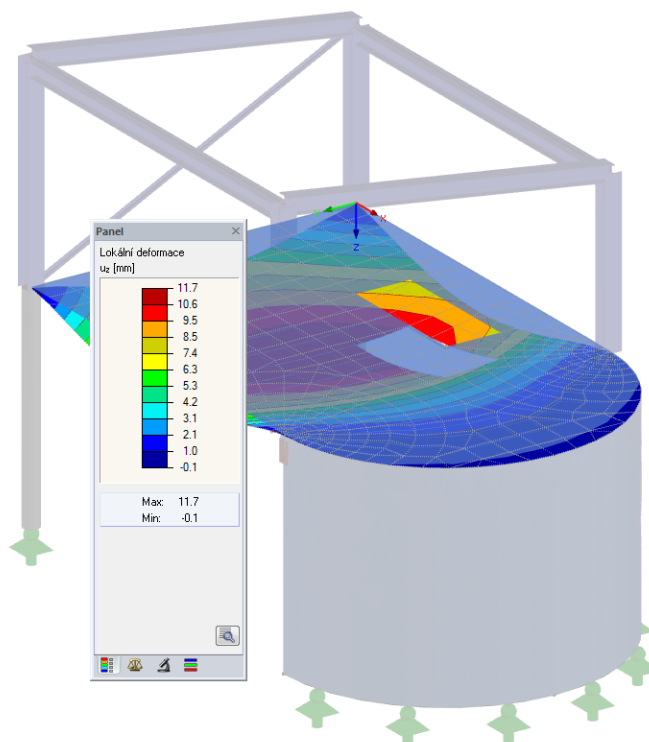
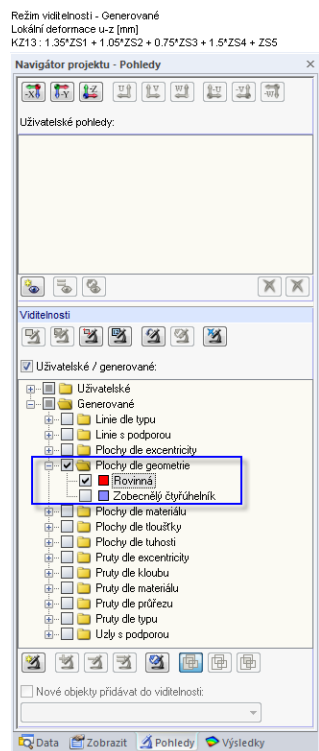
Pokud si chceme průběh vnitřních sil na renderovaném modelu konstrukce lépe prohlédnout, můžeme v řídicím panelu nastavit nadvýšení v záložce *Faktory zobrazení*. U *průběhů* na prutech upravíme faktor na **2** (viz obrázek výše).

Zobrazení výsledků pro stropní desku

Stejně tak lze v navigátoru *Pohledy* nastavit filtrování výsledků pro plochy. Nejdříve zrušíme označení položky *Pruty dle průřezu* a místo ní vybereme *Plochy dle geometrie*. V dané položce označíme podpoložku *Rovinná*.



Pokud pomocí tlačítka [Deformace] v panelu nástrojů změníme typ výsledků, upraví se zobrazení v grafickém okně.

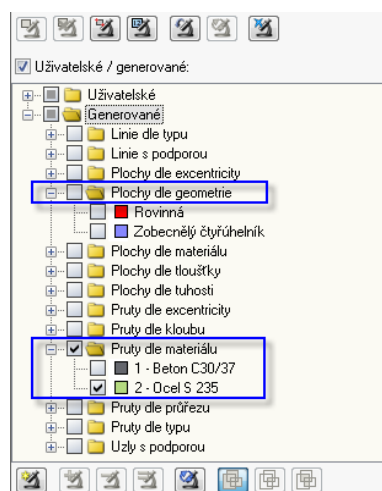


Obr. 8.11: Deformace stropu (KZ13)

Jak jsme se již zmínili, v navigátoru *Výsledky* (viz obr. 8.3, strana 81) můžeme přepínat mezi zobrazením různých typů výsledků (deformace, vnitřní síly, napětí atd.).

Zobrazení deformací ocelové konstrukce

V navigátoru *Pohledy* zrušíme označení položky *Plochy dle geometrie* a vybereme nyní *Pruty dle materiálu*. Zde označíme podpoložku *Ocel S 235*.

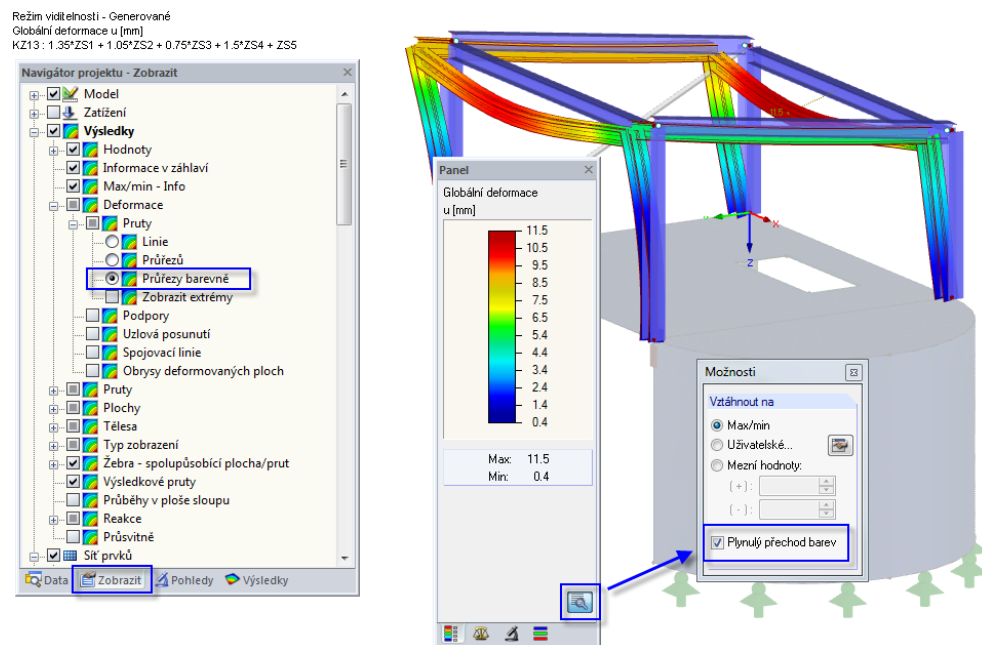


Obr. 8.12: Filtrování ocelových prutů v navigátoru *Pohledy*

V grafickém okně se nyní jako linie zobrazí deformace ocelové konstrukce.

Uživatel také může zobrazit deformace průřezů: přepneme do navigátoru *Zobrazit* a v něm aktivujeme položku

Výsledky → Deformace → Pruty → Průřezy barevně.



Obr. 8.13: Deformace ocelových průřezů (KZ13)



Pomocí tlačítka [Možnosti...] v řídicím panelu můžeme aktivovat volbu *Plynulý přechod barev*.

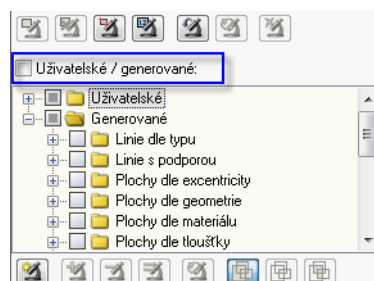
Deformace L průřezu se např. v KZ13 nezobrazí. Tento prut jsme definovali jako tahový prut. Z tvaru deformace je ovšem zřejmé, že tu tlakové síly působí. Důsledkem je vypadnutí diagonály, tzn. daný prut není v konstrukci účinný.

8.3.2 Výsledky na objektech



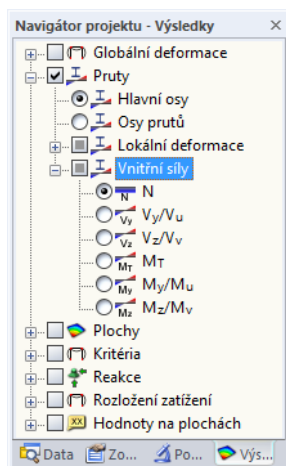
Další možnost filtrování nabízí poslední záložka řídicího panelu: můžeme v ní zadat čísla právě těch prutů nebo ploch, jejichž výsledky si přejeme v grafickém okně zobrazit. Na rozdíl od funkce výřezu se zobrazí celý model konstrukce.

Nejdříve zrušíme v navigátoru *Pohledy* označení volby *Uživatelské / generované* viditelnosti.



Obr. 8.14: Obnovení celkového náhledu na model konstrukce v navigátoru *Pohledy*

V navigátoru *Výsledky* následně vybereme zobrazení normálových sil *N* na prutech. Výsledky *ploch* můžeme deaktivovat.

Obr. 8.15: Zobrazení normálových sil N na prutech z navigátoru *Výsledky*

Podrobný výběr

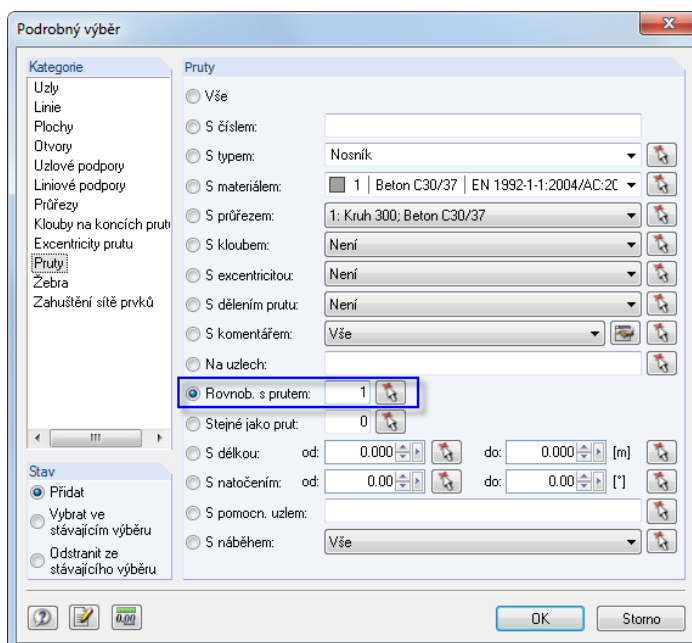
Pokud chceme zobrazit pouze normálové síly na sloupech, vybereme nejdříve všechny pruty ve svislé poloze. Použijeme přitom zvláštní výběrovou funkci z hlavní nabídky



Úpravy → Vybrat → Podrobně...

nebo příslušné tlačítko v panelu nástrojů.

Zvolíme kategorii *Pruty* a v ní možnost *Rovnoběžné s prutem*.



Obr. 8.16: Výběr rovnoběžných prutů



Pomocí funkce [Vybrat prut] vybereme některý ze sloupů v pracovním okně. Jakmile příslušné dialogy zavřeme tlačítkem [OK], jsou všechny pruty ve svislé poloze vybrány.

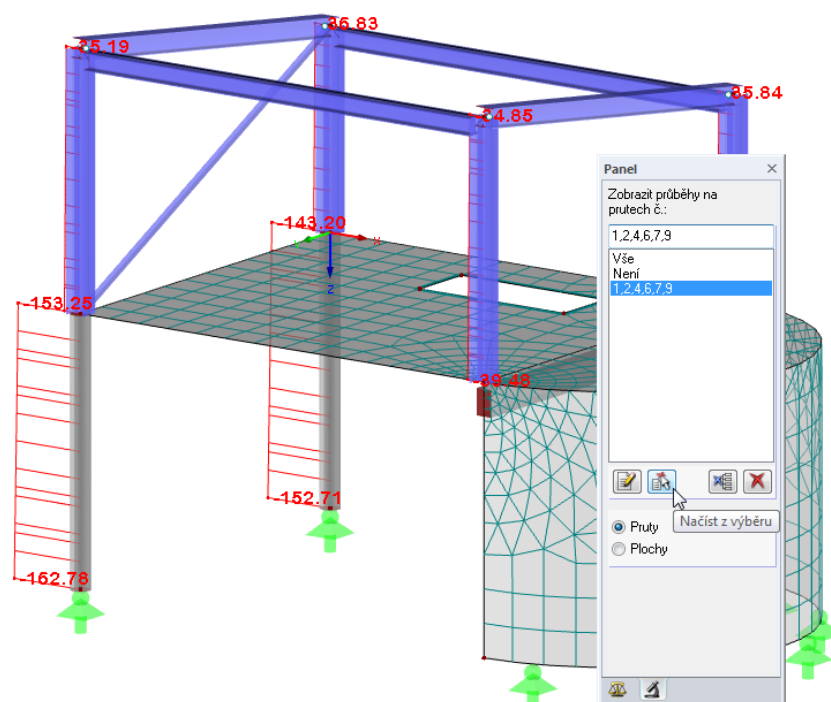
Zobrazení normálových sil na sloupech



V řídicím panelu přepneme do záložky *Filtr*. V ní aktivujeme výběrové políčko *Zobrazit průběhy na prutech*.



Pokud klikneme na tlačítko [Načíst z výběru], čísla všech sloupů se vyplní do zadávacího políčka nahoře. V grafickém okně zmizí údaje o normálových silách na žebro a také na příčlích a vaznicích.

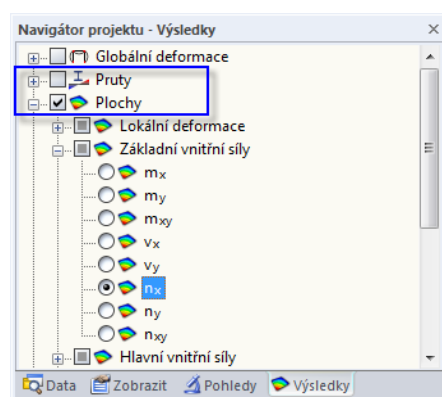


Obr. 8.17: Normálové síly na sloupech (KZ13)

8.3.3 Rozmezí hodnot

Záložka *Stupnice barev* v řídicím panelu umožňuje filtrovat výsledky podle zadaného rozsahu hodnot.

Nejdříve zrušíme v navigátoru *Výsledky* zobrazení výsledků pro pruty a místo toho označíme základní vnitřní síly n_x na plochách. Jedná se o normálové síly, které působí ve směru lokální osy x daných ploch. V případě zakřivené stěny směřuje osa x dolů.

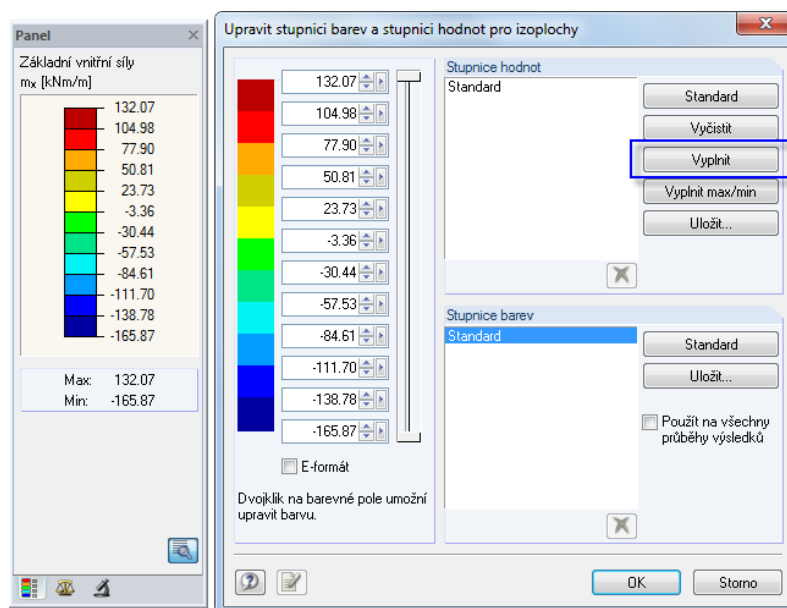


Obr. 8.18: Zobrazení základních vnitřních sil n_x

U plochy dané stěny jsou v oblasti horního koncového uzlu na oblouku patrné vyšší tlakové síly, které se např. v KZ13 přenáší z obou ocelových sloupů přes žebro. Vznikají tak singularity.



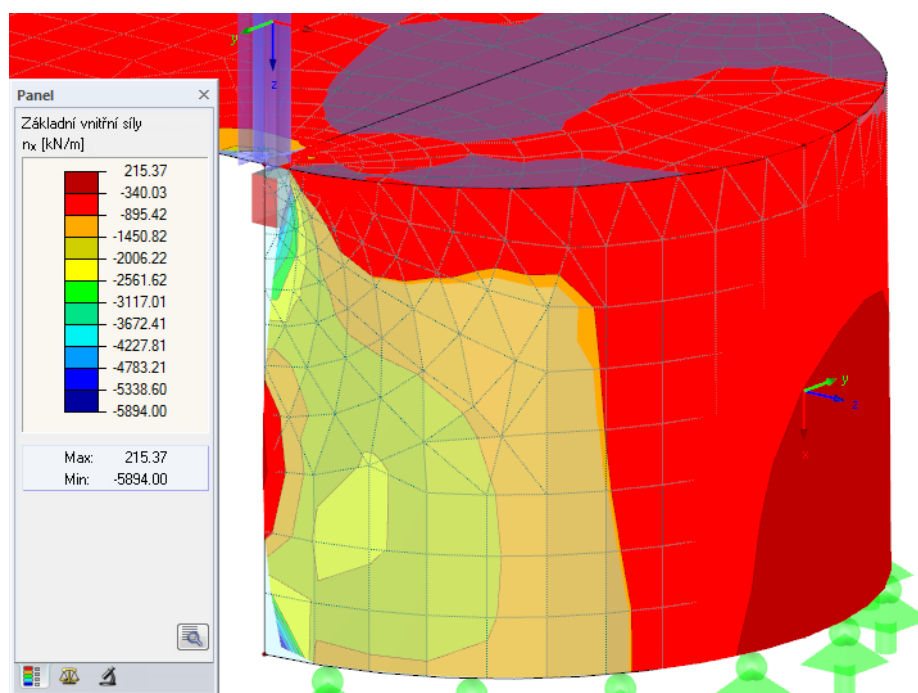
Mají-li se tyto extrémní hodnoty vyloučit z hodnocení výsledků, přepneme v řídicím panelu do záložky *Stupnice barev*. V ní dvakrát klikneme na stupnici barev (nikoli na hodnoty!), a otevřeme tak dialog *Upravit stupnici barev a stupnici hodnot pro izoplochy*.



Obr. 8.19: Úprava extrémní hodnoty pro grafické zobrazení a funkce [Vyplnit] stupnici hodnot

Extrémní hodnotu tlakových sil zmenšíme tak, jak je znázorněno na obrázku výše např. pro KZ13 (**-570** kN/m místo -5665,30 kN/m). Tlačítkem [Vyplnit] pak stupnici hodnot necháme rozčlenit do stejných úseků mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou.

Po kliknutí na [OK] se průběh sil zobrazí s větším rozlišením. Oblast odlehčujících sil je nyní dobře patrná. Singularity, které stupnice barev nepokrývá, se barevně nezobrazí.



Obr. 8.20: Průběh normálových sil na stěně s upravenou stupnicí hodnot (vyloučené extrémy, tlaková a tahová oblast)

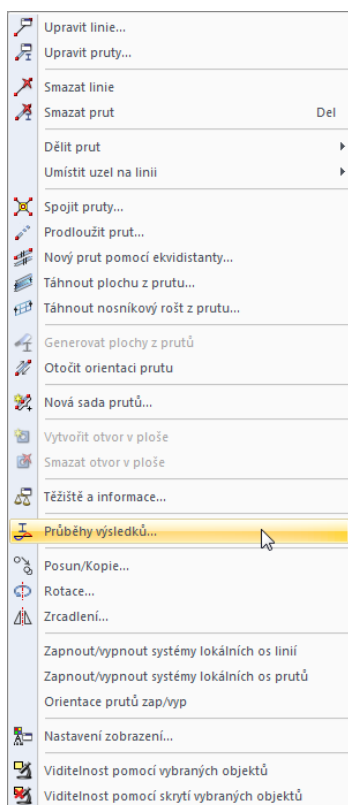
8.4 Zobrazení průběhu výsledků

Pokud si chce uživatel prohlédnout detailní výsledky určitého objektu (např. linie, prutu, liniové podpory nebo řezu), nabízí mu program diagram výsledků (viz kapitola 8.5). Tuto funkci použijeme k vyhodnocení průběhu výsledků v průvlaku.

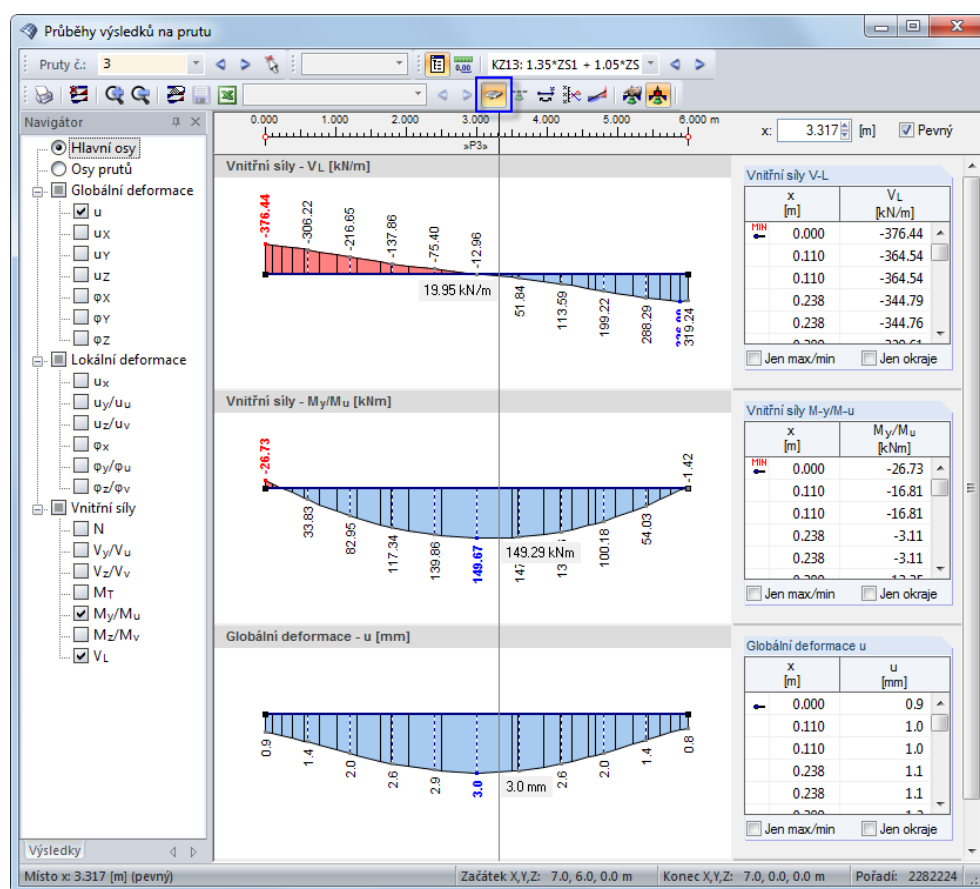
Vypneme zobrazení výsledků na plochách. Následně v záložce *Filtr* řídicího panelu opět nastavíme možnost **Vše** pro průběhy na *prutech* (viz obr. 8.17, strana 90).

Pravým tlačítkem myši klikneme na prut č. 3 a následně vybereme v místní nabídce položku *Průběhy výsledků...*

Otevře se nové okno, v němž jsou znázorněny průběhy výsledků na žebře.



Místní nabídka prutu



Obr. 8.21: Zobrazení průběhu výsledků v průvlaku

V navigátoru označíme globální deformace u a dále vnitřní síly M_y a V_L . Poslední z nich představují podélnou smykovou sílu mezi plochou a prutem. Síly se zobrazí, pokud je v panelu nástrojů aktivováno tlačítko [Výsledky s komponentami žebří]. Pokud toto tlačítko zapneme a vypneme, bude patrný rozdíl mezi prostými vnitřními silami na prutu a vnitřními silami na žebře s příspěvkem ploch.

Velikost zobrazení průběhu výsledků můžeme upravovat pomocí tlačítek $[+]$ a $[-]$.

Také v tomto okně můžeme listovat jednotlivými zatěžovacími stavy pomocí tlačítek $[\leftarrow]$ a $[\rightarrow]$ nebo můžeme určitý zatěžovací stav nastavit ve výběrovém seznamu.

Funkci pro zobrazení *průběhu výsledků* ukončíme zavřením daného okna.

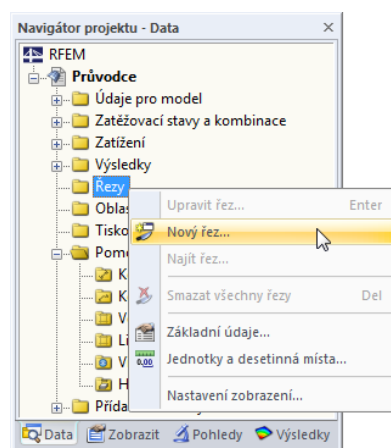
8.5 Vytvoření řezu

Vyhodnocení výsledků usnadňují řezy, které se vedou po rovině modelem. V navigátoru se řezy uvádí jako samostatné objekty.

Nový řez vytvoříme příkazem v hlavní nabídce

Vložit → Řezy...

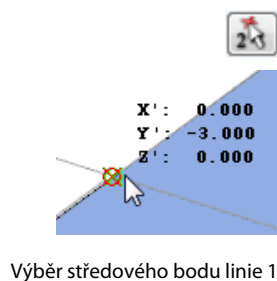
nebo v místní nabídce položky **Řezy** v navigátoru *Data*.



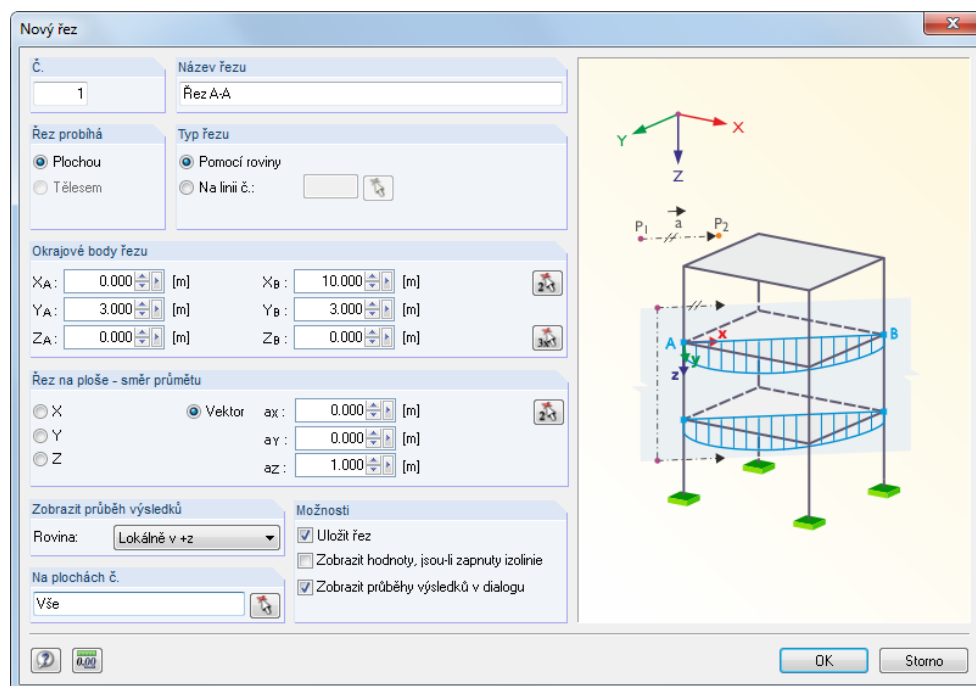
Obr. 8.22: Místní nabídka položky **Řezy** v navigátoru *Data*

V dialogu *Nový řez* uvedeme jako *název řezu* **Řez středem**, protože řez má být veden podélně středem desky.

Okrajové body řezu stanovíme pomocí funkce [Vybrat] v grafickém okně: klikneme na bod ve středu linie 1 (globální souřadnice: 0,000;3,000;0,000) a na uzel 5 ležící na oblouku.



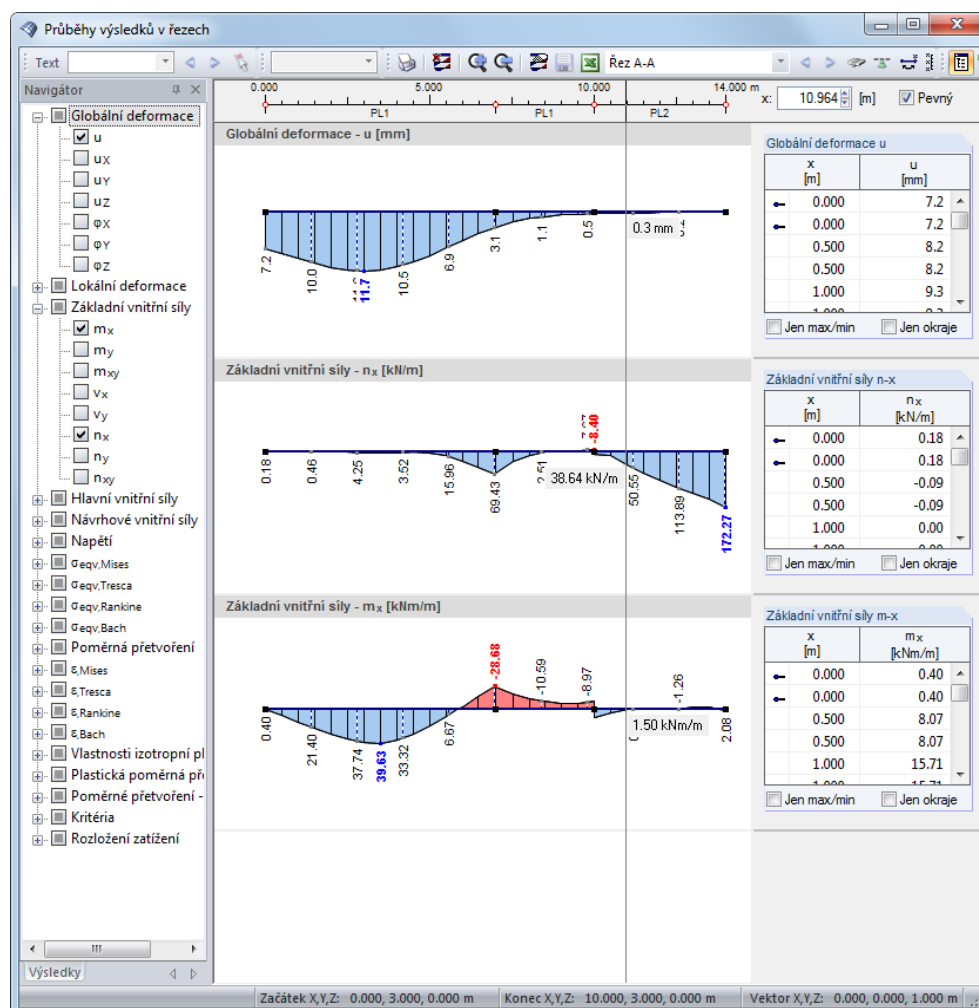
Výběr středového bodu linie 1



Obr. 8.23: Zadání řezu

Ostatní předem nastavené údaje ponecháme beze změny a dialog zavřeme kliknutím na [OK].

Následně se nám zobrazí již známý dialog *Průběhy výsledků*. V navigátoru označíme globální deformace u a dále základní vnitřní síly m_x a n_x . Výsledky ploch $P1$ a $P2$, kterými řez prochází, se zobrazí průběžně na linii.

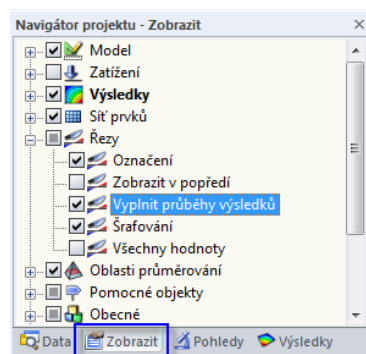


Obr. 8.24: Zobrazení řezu v okně *Průběhy výsledků*

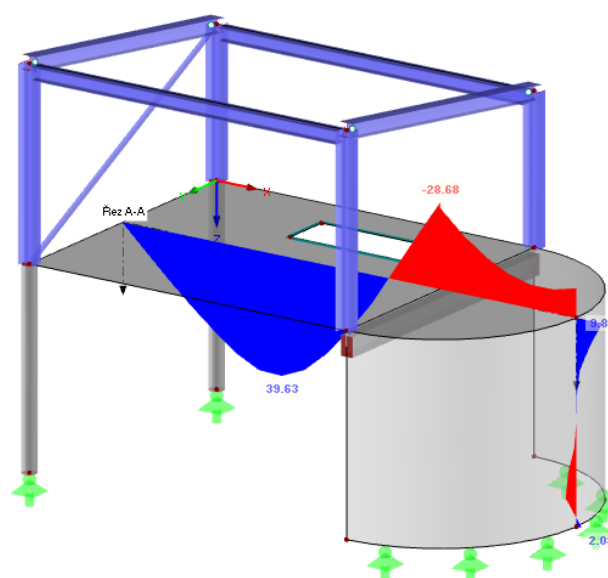
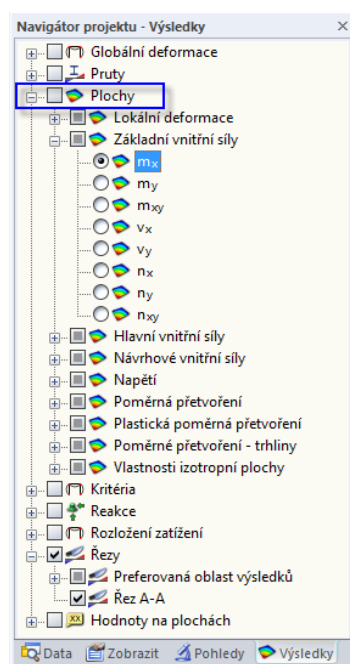
Jakmile zavřeme okno *Průběhy výsledků*, bude možné řez vidět i v pracovním okně RFEMu. Nastavíme v něm základní vnitřní síly m_x .

Vypneme zobrazení výsledků pro plochy, aby se nám znázornily pouze průběhy výsledků na řezu (viz obr. 8.26).

Pomocí volby *Vyplnit průběhy výsledků*, kterou máme k dispozici pod položkou *Řezy* v navigátoru *Zobrazit*, můžeme zvýraznit průběh momentů na modelu konstrukce.



Obr. 8.25: Možnosti zobrazení řezů v navigátoru Zobrazit



Obr. 8.26: Zobrazení řezu na modelu konstrukce

9. Dokumentace

9.1 Vytvoření výstupního protokolu

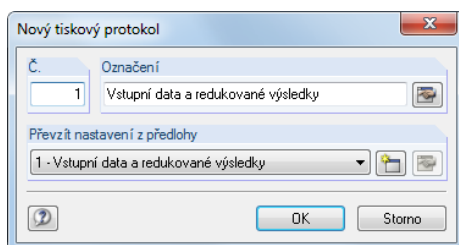
Objemné výsledky výpočtu konstrukce metodou konečných prvků nedoporučujeme poslat přímo na tiskárnu. Ze vstupních a výstupních dat se v RFEMu nejdříve vytvoří náhled pro tisk, takzvaný výstupní protokol. Po zhlédnutí tohoto náhledu může uživatel rozhodnout, které údaje se vytisknou. Do protokolu lze zařadit i grafická zobrazení, komentáře nebo naskenované obrázky.



Výstupní protokol otevřeme z hlavní nabídky

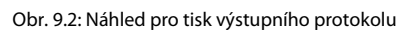
Soubor → Otevřít protokol...

nebo kliknutím na příslušné tlačítko v panelu nástrojů. Otevře se dialog, v němž můžeme vybrat určitý vzorový protokol jako *předlohu*.



Obr. 9.1: Dialog *Nový tiskový protokol*

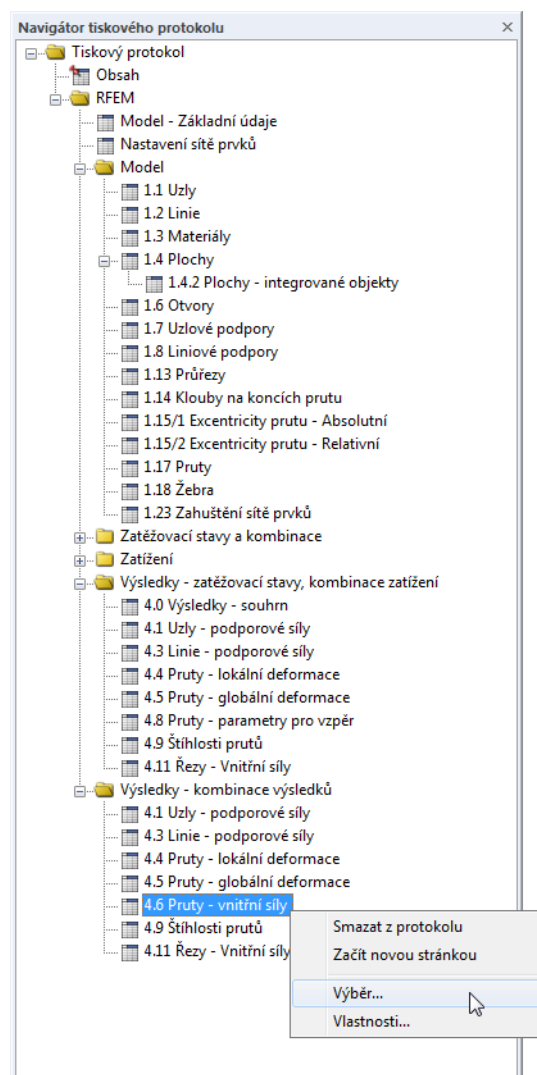
V našem případě převezmeme nastavení z předlohy 1 - *Vstupní data a redukované výsledky*. Po kliknutí na [OK] se vytvoří náhled pro tisk.



9.2 Úprava výstupního protokolu

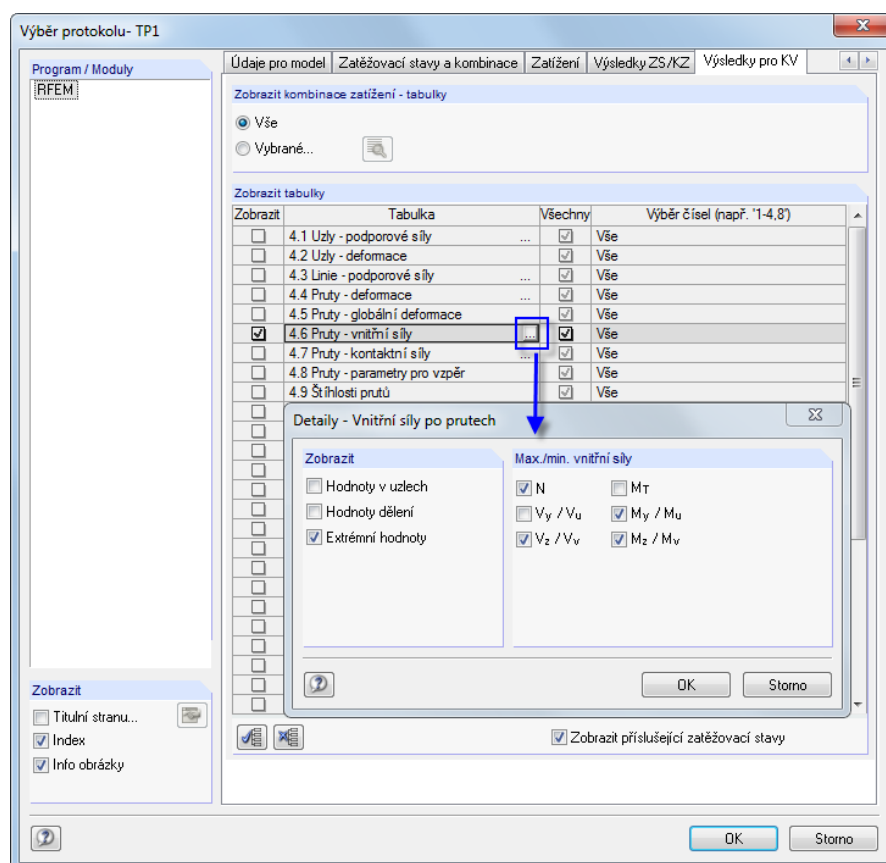
Také výstupní protokol má navigátor, který obsahuje všechny vybrané kapitoly. Pokud klikneme na některou položku v navigátoru, zobrazí se po pravé straně její obsah.

Daný obsah můžeme podrobně upravovat. V našem případě pozměníme nastavení u vnitřních sil na prutech: v kapitole *Výsledky - kombinace výsledků* klikneme pravým tlačítkem myši na položku *Pruty - vnitřní síly* a v místní nabídce zvolíme *Výběr...*



Obr. 9.3: Místní nabídka *Pruty - vnitřní síly*

Otevře se dialog s možností podrobného výběru výsledků pro pruty u kombinace výsledků (viz následující obrázek).

Obr. 9.4: Zúžení výběru výstupních dat v dialogu *Výběr protokolu*

Umístíme kurzor myši do řádku 4.6 *Pruty - vnitřní síly* ve sloupci *Tabulka*. Tím se zpřístupní tlačítko [...], jímž otevřeme dialog *Detaily - Vnitřní síly po prutech*. Zde omezíme zobrazení výsledků ve výstupu pouze na **extrémní hodnoty** vnitřních sil na prutech **N**, **V_z**, **M_y** a **M_z**.

Pokud nyní ukončíme oba dialogy tlačítkem [OK], zařadí se do protokolu vnitřní síly pouze v omezeném výběru podle našeho nastavení.

Tiskový protokol - TP1: Vstupní data a redukované výsledky*

Soubor Zobrazit Úpravy Nastavení Vložit Nápověda

4.6 Pruty - vnitřní síly

Prut č.	KV	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			
					N	V _u	V _v	M _T	M _u	M _v	
6	KV1	Max N	3.459	Max N	-24.68	5.56	-18.08	0.02	-19.99	2.13	KZ2
		2	0.000	Min N	-39.99	7.95	-21.38	-0.03	33.68	24.00	KZ14
		Max V _z	3.459	Max V _z	-25.56	5.48	-11.96	-0.01	-20.49	1.79	KZ9
		2	0.000	Min V _z	-39.69	9.26	-24.14	-0.04	42.71	29.11	KZ13
		2	0.000	Max M _y	-39.44	8.08	-23.69	-0.03	46.04	27.32	KZ4
		Min M _y	3.459	Min M _y	-35.60	6.86	-18.05	0.00	-30.04	2.33	KZ12
7	KV1	2	0.000	Max M _z	-29.21	9.82	-21.50	-0.04	43.72	31.08	KZ11
		16	3.843	Min M _z	-24.76	4.06	-14.59	-0.02	-19.11	1.55	KZ1
		Max N	3.000	Max N	-25.36	1.45	16.15	0.02	24.31	-0.48	KZ8
		4	0.000	Min N	-39.22	-0.19	28.91	0.05	-47.90	-3.93	KZ5
		Max V _z	0.000	Max V _z	-39.22	-0.19	29.11	0.05	-47.90	-3.93	KZ5
		Min V _z	3.000	Min V _z	-25.36	1.45	16.15	0.02	24.31	-0.48	KZ8
8	KV1	Max M _y	3.000	Max M _y	-35.48	-4.21	28.30	-0.00	37.66	-0.00	KZ3
		4	0.000	Min M _y	-39.22	-0.19	28.91	0.05	-47.90	-3.93	KZ5
		4	0.000	Max M _z	-39.07	3.95	23.85	0.07	-33.37	6.37	KZ15
		4	0.000	Min M _z	-39.09	-4.14	28.28	-0.00	-47.29	-12.57	KZ3
		20	6.059	Max N	-1.61	-0.00	-3.59	-0.00	0.00	0.00	KZ9
		19	0.000	Min N	-4.75	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ3
		19	0.000	Max V _z	-4.72	0.00	3.59	-0.00	0.00	0.00	KZ2
		20	6.059	Min V _z	-3.72	-0.00	-3.59	-0.00	0.00	0.00	KZ2
		Max M _y	3.029	Max M _y	-4.22	0.00	-0.00	-0.00	5.44	-0.00	KZ2
		19	0.000	Min M _y	-3.14	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ1
		19	0.000	Max M _z	-3.14	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	KZ1
		Min M _z	3.029	Min M _z	-2.14	0.00	-0.00	0.00	5.44	-0.01	KZ14

4.9 Štíhlosti prutů

Prut	Délka	Součinitele vzpěrné délky [-]	Štíhlost [-]

Stránky: 326 Stránka: 275

Obr. 9.5: Extrémní hodnoty vnitřních sil na prutech N, V_z, M_y a M_z pro kombinaci výsledků KV1 ve výstupním protokolu

Stejným způsobem lze pro tisk upravovat jakoukoli kapitolu.

Pokud chceme změnit polohu kapitoly v protokolu, stačí ji myší přesunout na požadované místo (Drag & Drop). Odstranit kapitolu z protokolu lze příkazem v místní nabídce (viz obr. 9.3) nebo klávesou [Delete].

9.3 Včlenění obrázků do protokolu

Zpravidla se pro názornost zařazují do dokumentace grafická zobrazení.

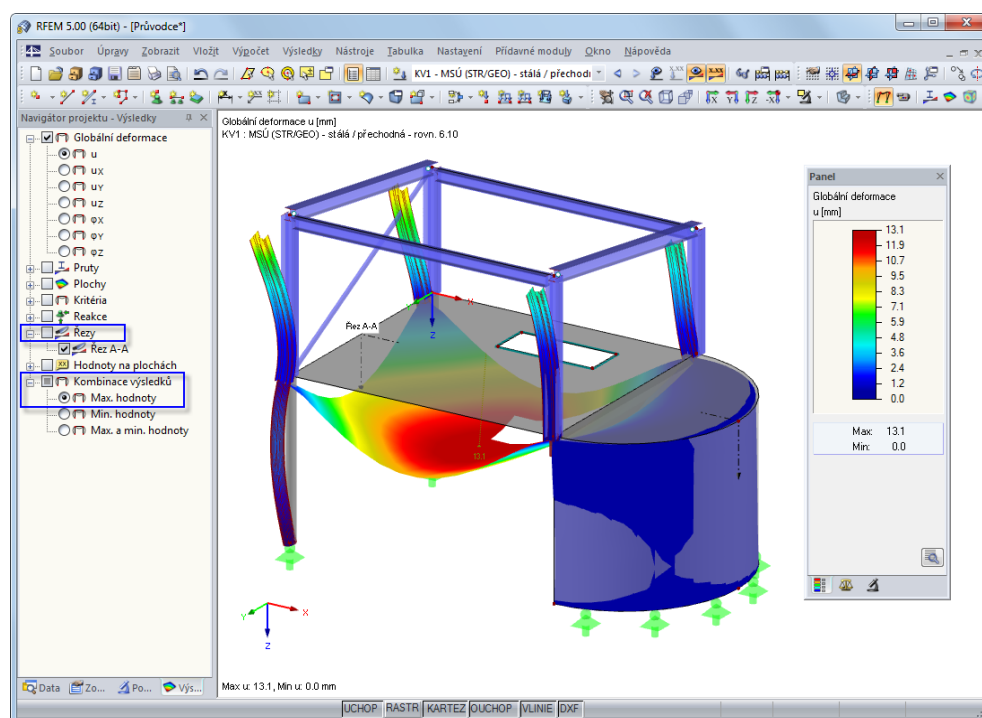
Tisk grafického znázornění deformace

Výstupní protokol zavěříme kliknutím na [X]. Zobrazí se dotaz *Chcete uložit protokol?* Potvrdíme ho tlačítkem [Ano] a vrátíme se do pracovního okna RFEMu.

Na obrazovce nastavíme *deformace* u **KV1 - MSÚ (STR/GEO)** a zobrazení si podle potřeby uspořádáme. Položku *Řezy* v navigátoru *Výsledky* opět vypneme.

Pro každou kombinaci výsledků jsou k dispozici dva výsledky - maximální a minimální extrémní hodnoty. Tyto hodnoty se v obrázku zobrazí současně. Náš obrázek má ovšem obsahovat pouze *maximální hodnoty*.





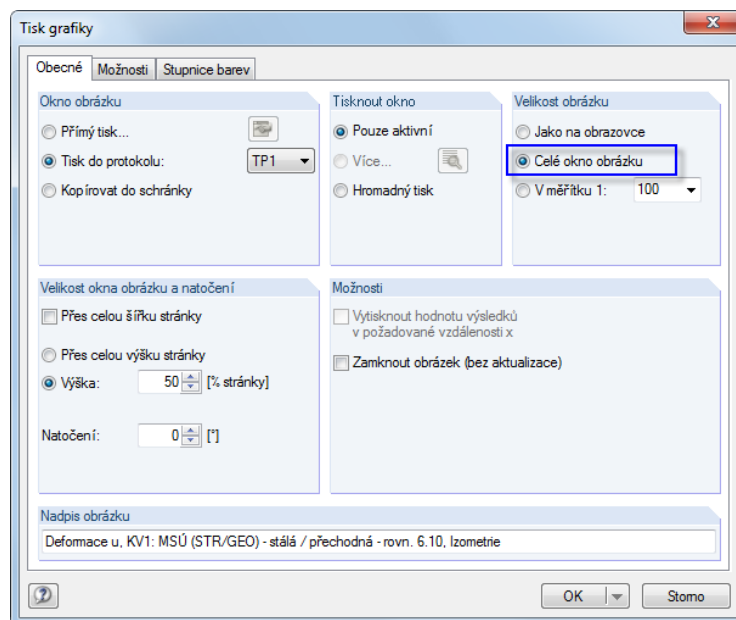
Obr. 9.6: Zobrazení maximálních hodnot deformací u KV1

Obrázek nyní zařadíme do protokolu příkazem v hlavní nabídce

Soubor → Tisk grafiky...

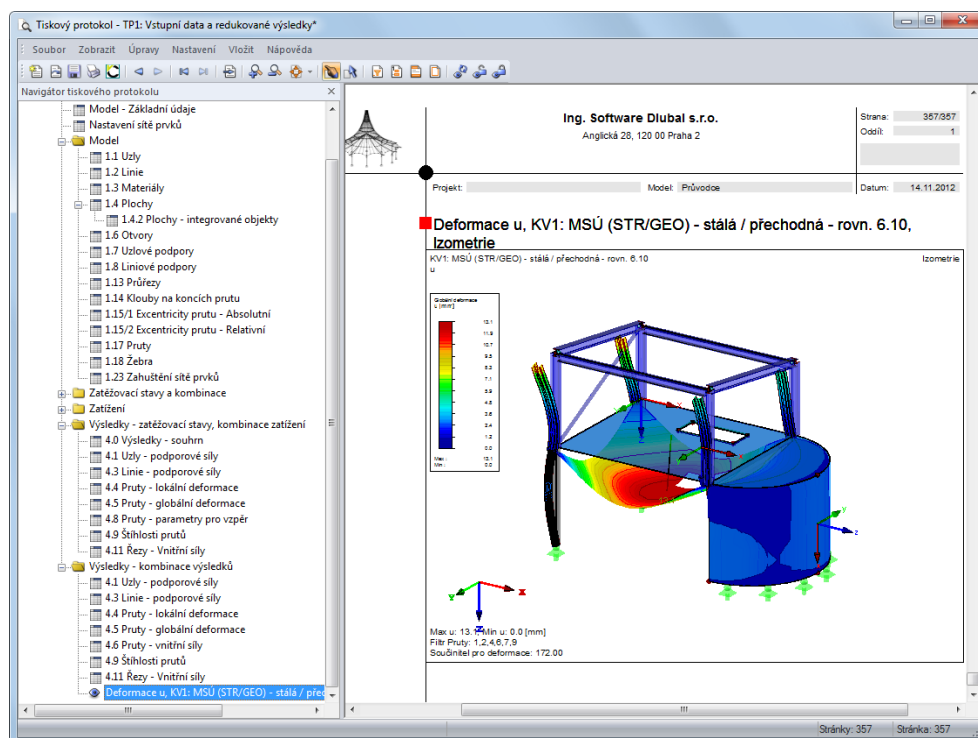
nebo pomocí příslušného tlačítka v panelu nástrojů.

Otevře se dialog *Tisk grafiky* (viz následující obrázek).

Obr. 9.7: Dialog *Tisk grafiky*

Nastavíme parametry pro tisk tak, jak vidíme na obr. 9.7. V záložkách *Možnosti* a *Stupnice barev* můžeme ponechat předem nastavené zadání beze změny.

Po kliknutí na [OK] se grafické zobrazení deformací zařadí do protokolu. Obrázek se včlení do protokolu na konci kapitoly *Výsledky - kombinace výsledků*.

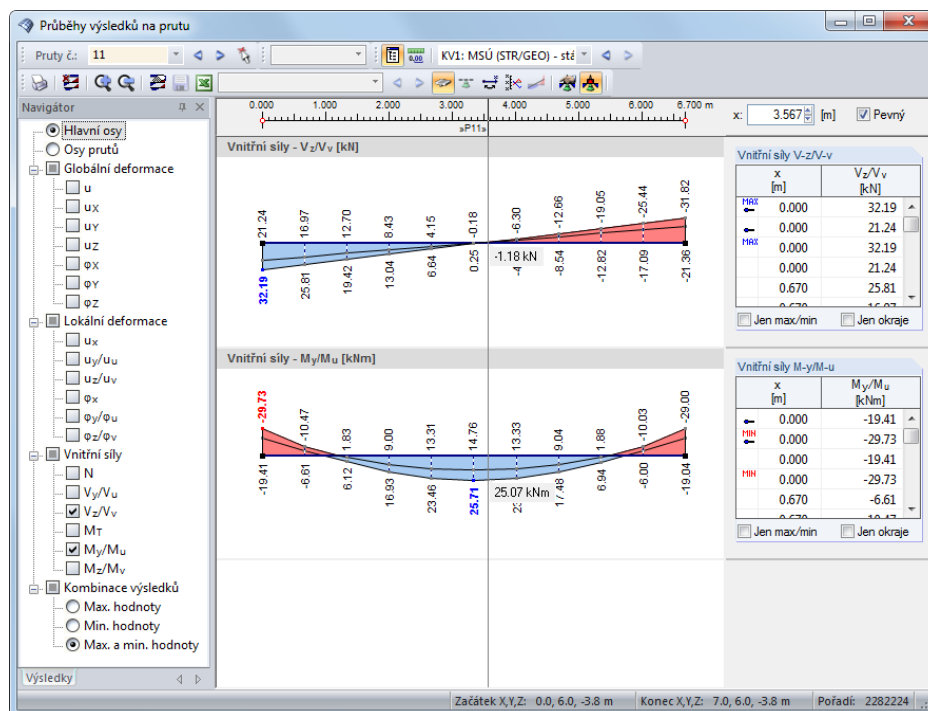


Obr. 9.8: Grafické zobrazení deformací v protokolu

Tisk průběhu výsledků

Nakonec zařadíme do výstupního protokolu také průběh vnitřních sil na ocelové vaznici. Protokol opět zavřeme kliknutím na [X].

V pracovním okně RFEMu klikneme pravým tlačítkem myši na prut č. 11 (vaznice na horním okraji střechy). V místní nabídce prutu (viz strana 92) pak vybereme funkci *Průběhy výsledků...*, a otevřeme tak výsledný diagram.

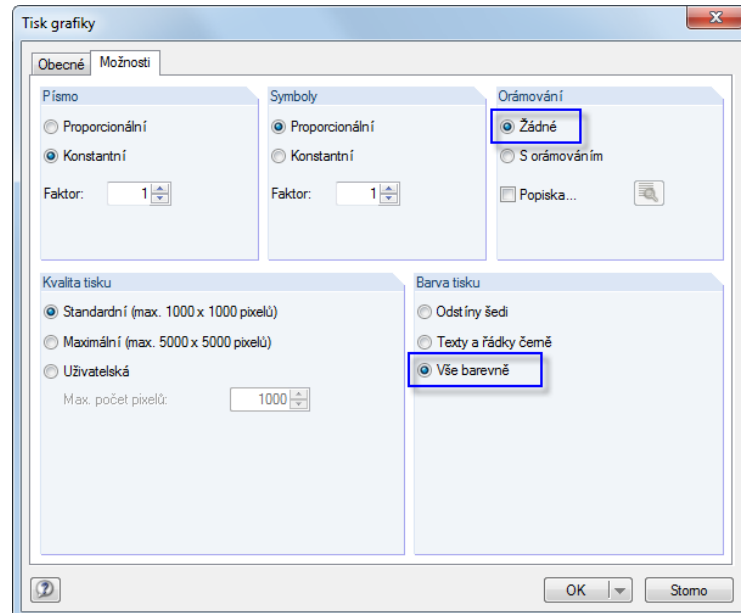


Obr. 9.9: Průběh posouvající síly a momentu na vaznici

V okně se znázorní průběhy výsledků v případě KV1. Pro tisk označíme pouze vnitřní síly V_z/V_v a M_y/M_u . Diagram výsledků znázorňuje *maximální a minimální hodnoty*.

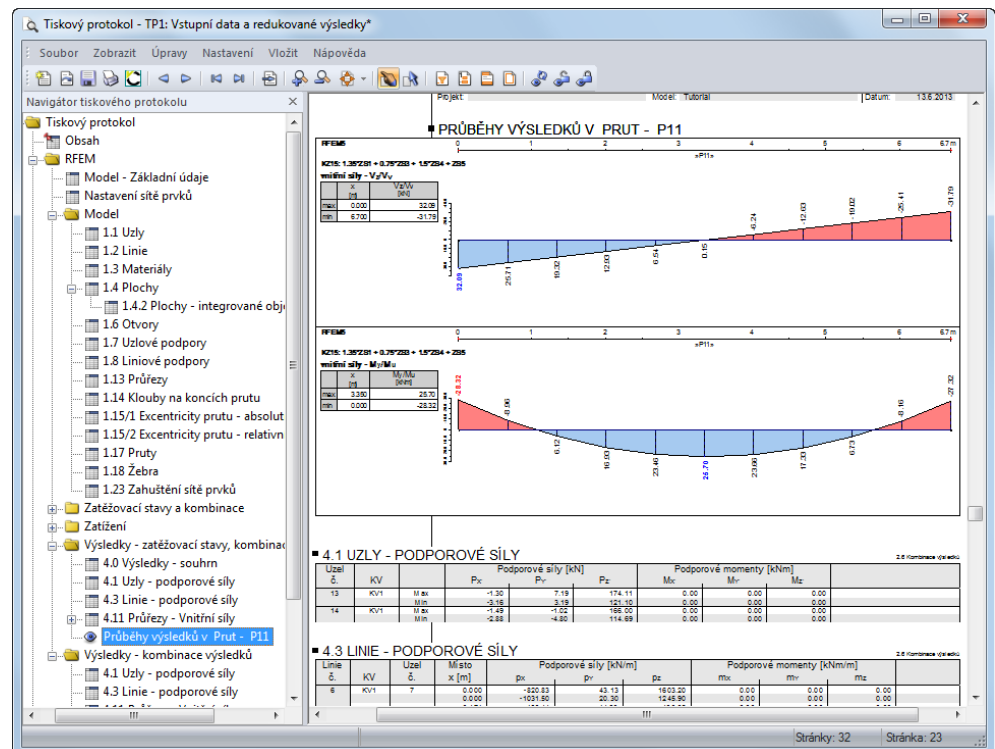


Kliknutím na tlačítko [Tisk] otevřeme dialog *Tisk grafiky*. V záložce *Obecné* ponecháme přednastavené údaje beze změny. V záložce *Možnosti* provedeme dvě drobné změny.



Obr. 9.10: Dialog *Tisk grafiky*, záložka *Možnosti*

Po kliknutí na [OK] se diagram zařadí do protokolu.

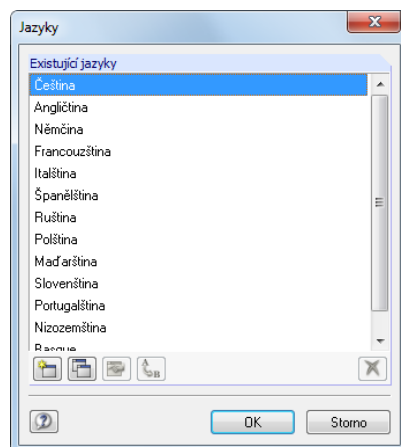


Obr. 9.11: Průběhy vnitřních sil na vaznici v protokolu

Změna nastavení jazyka v protokolu

Nastavení jazyka v protokolu je nezávislé na jazyku nastaveném v uživatelském prostředí RFEMu. Lze tak například v české verzi programu RFEM vytisknout protokol v angličtině. Použijeme přitom funkci z hlavní nabídky v okně protokolu

Nastavení → Jazyk....



Obr. 9.12: Změna nastavení jazyka v protokolu

V dialogu *Jazyky* vybereme ze seznamu **angličtinu** (případně jiný jazyk). Změny můžeme po kliknutí na [OK] zkontrolovat v náhledu protokolu.

Údaje, které uvedl sám uživatel, např. názvy zatěžovacích stavů nebo komentáře, zůstanou nepřeloženy.

Tisk protokolu

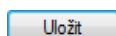


Jakmile je protokol hotov, můžeme ho tlačítkem [Tisknout protokol] poslat na tiskárnu.

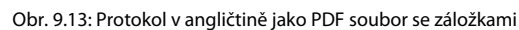
Integrovaná tiskárna pro tisk do formátu PDF umožňuje uložit protokol jako PDF soubor. Danou funkci máme k dispozici v hlavní nabídce protokolu

Soubor → Export do PDF....

Otevře se standardní dialog Windows *Uložit jako*, v němž zadáme místo uložení a název souboru.



Po kliknutí na tlačítko [Uložit] se vytvoří PDF soubor se záložkami, pomocí nichž se lze snáze orientovat v digitálním dokumentu.



10. Na závěr

Příklad jsme tak kompletně dokončili. Doufáme, že Vám tento cvičný příklad pomůže snáze si osvojit práci s RFEMem a také že jsme ve Vás probudili zvědavost, jaké další, dosud neznámé funkce Vám náš program nabízí. Podrobný popis programu Vám předkládáme v uživatelské příručce k RFEMu, kterou si lze stáhnout na naší webové adrese <http://www.dlubal.cz/Stahnout-manualy.aspx>.

Z hlavní nabídky programu **Nápověda** nebo stisknutím klávesy [F1] můžeme vyvolat online nápovědu programu RFEM, v které lze vyhledat různé informace a pojmy. Nápověda vychází z příručky, bývá však aktuálnější než tištěná verze.

S dotazy se samozřejmě můžete obracet i na naši hotline podporu prostřednictvím emailu nebo faxu.



Tento příklad lze použít i v demoverzích přídatných modulů, např. pro posouzení ocelových a železobetonových konstrukcí (RF-STEEL Pruty, RF-CONCRETE Plochy/Pruty, RF-STABILITY atd.). Pouze nahradíme profily přípustnými typy průřezů, např. v modulu RF-STEEL EC3 použijeme pro nosník profil IPE 300. Posouzení tak bude možné provést a Vy se dobře seznámíte s funkcionalitami daných modulů. Výsledky posouzení lze obvyklým způsobem vyhodnotit v pracovním okně RFEMu.