Návrh stropní desky v programu SCIA Engineer

Podklad pro předmět Navrhování betonových konstrukcí na počítači (133YBKC)

Zpracoval: doc. Ing. Petr Bílý, Ph.D.

Datum vydání: 15. července 2021

Dokument smí kdokoliv bez omezení využívat pro vlastní potřebu (sebevzdělávání). Autor si však nepřeje, aby byl bez jeho předchozího výslovného souhlasu dokument jako celek anebo jeho části jakýmkoliv způsobem využíván pro veřejnou prezentaci. ***Zakázáno je zejména neautorizované použití pro jakékoliv kurzy komerčního i nekomerčního charakteru****, včetně interních firemních kurzů a školní výuky. Souhlas autora lze v případě potřeby získat na mailu petr.bily@fsv.cvut.cz. Tamtéž je možno směřovat veškeré náměty na opravy či vylepšení dokumentu.*

Obsah

Úloha 4
Uživatelské prostředí 6
Zadání geometrie konstrukce 8
Zadání zatížení 14
Nastavení sítě MKP a parametrů výpočtu 16
Kontrola hustoty sítě MKP 18
Kontrola výpočtu 21
Výsledky na plochách 25
Nastavení pro návrh výztuže 33
Návrh podélné výztuže desky na MSÚ 35
Ruční návrh podélné výztuže 35
Stanovení potřebných ploch výztuže v programu 35
Porovnání vnitřních sil a ploch výztuže: Výsledky vs. Beton 39
Výztuž spodního povrchu 43
Výztuž horního povrchu 49
Návrh podélné výztuže desky na MSÚ+MSP 55
Posouzení desky na protlačení 56
Posouzení desky na MSP – trhliny 58
Posouzení desky na MSP – průhyby 61
Úprava geometrie konstrukce – přidání žeber a hlavic 63
Stanovení nových rozměrů 63
Zadání žeber 64
Zadání hlavic 71
Porovnání správného a nesprávného způsobu zadání žeber 72
Shrnutí postupu pro zadání žeber 73
Kontrola upravené konstrukce 74
Návrh podélné výztuže upravené desky na MSÚ 76
Návrh výztuže upravené desky na protlačení 80
Nastavení pro návrh výztuže žeber 84
Návrh výztuže žeber na MSÚ 85
Normálová síla v žebru 85
Vnitřní síly v žebru 86
Potřebné plochy podélné výztuže 89

Zadání smykové výztuže *90*
Zadání podélné výztuže *94*
Další žebra *96*
Posouzení žeber na MSÚ 100
Posudek odezvy *100*
Posudek kapacity *101*
Posudek smyku a kroucení *102*
Posudek konstrukčních zásad *104*
Posouzení upravené desky na MSP – trhliny 108
Posouzení žeber na MSP – trhliny 112
Posouzení konstrukce na MSP – průhyby 117
Posouzení konstrukce na MSP – omezení napětí 120

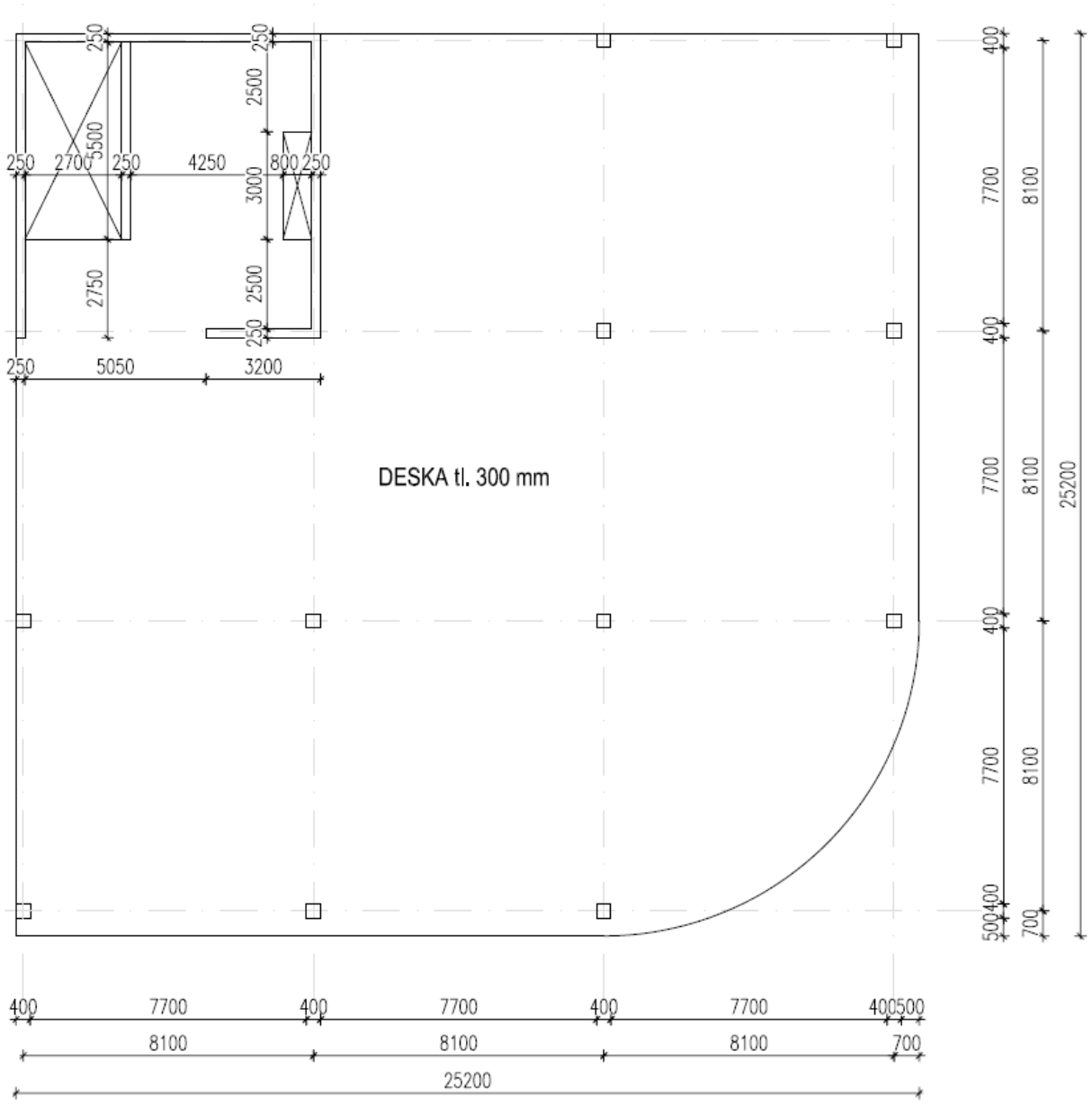
Úloha

Předmětem tohoto dokumentu bude návrh stropní desky typického podlaží administrativní budovy. Předpokládá se znalost základní práce s programem (tvorba prutového modelu, zadávání zatížení, zobrazování výsledků, základy práce s modulem Beton) z předchozích úloh probíraných v kurzu a znalost navrhování nosných konstrukcí na úrovni ukončeného 3. ročníku oboru C. Cílem bude naučit se:

- Zadat geometrii deskové konstrukce včetně různých komponent.
- Pracovat s kombinacemi zatížení.
- Nastavit síť MKP a parametry výpočtu.
- Vykreslovat a analyzovat výsledky výpočtu, kontrolovat jejich správnost.
- Navrhnout výztuž desky na ohyb a na protlačení.
- Navrhnout výztuž trámu na ohyb a na smyk.
- Posoudit konstrukci z hlediska šířky trhlin a velikosti průhybů.

Dokument není primárně koncipován jako výukový materiál pro samostudium, pro plné pochopení úlohy je nutné absolvovat předmět Navrhování betonových konstrukcí na počítači (133YBKC).

Schéma řešené konstrukce:



Popis konstrukce:

V prvním kroku je uvažována lokálně podepřená stropní deska tloušťky 300 mm (tloušťka vychází z empirie s přihlédnutím k podmínce ohybové štíhlosti). Ukáže se, že taková konstrukce nevyhoví všem požadavkům, a stropní deska proto bude v průběhu řešení úlohy upravena.

Délka sloupů uvažovaná pro výpočty (konstrukční výška podlaží) je 3850 mm, průřez je 400x400 mm.

Stropní deska a stěny jsou z betonu třídy C25/30, sloupy z betonu C35/45. Použita je výztuž B500B. Uvažována je třída agresivity prostředí XC1.

Stropní deska je kromě vlastní tíhy zatížena ostatním stálým zatížením o velikosti 1,5 kN/m^2 a užitným zatížením o velikosti 2,5 kN/m^2. Na obvodu stropní desky navíc působí liniové zatížení od obvodového pláště – na překonzolovaných okrajích má velikost 3,9 kN/m (lehký obvodový plášť), na nepřekonzolovaných okrajích 11,5 kN/m (zdivo Porotherm tl. 400 mm).

Poznámka k verzi:

Příklad je vytvořen a funguje v release **21.0.0030 64bit** – ke stažení na adrese níže. Při použití jiné verze se mohou vyskytnout odlišnosti v položkách menu či funkcionalitě.
https://cdnstore.scia.net/sen/21.0.0030/SCIAEngineer_21.0.0030_setup.exe

Nápověda:

Pokud Vám něco nebude jasné, zkuste použít nápovědu k programu. Ta je dostupná buď přes Spotlight po zadání vyhledávaného příkazu nebo na adrese:
http://help.scia.net/webhelplatest/cs/

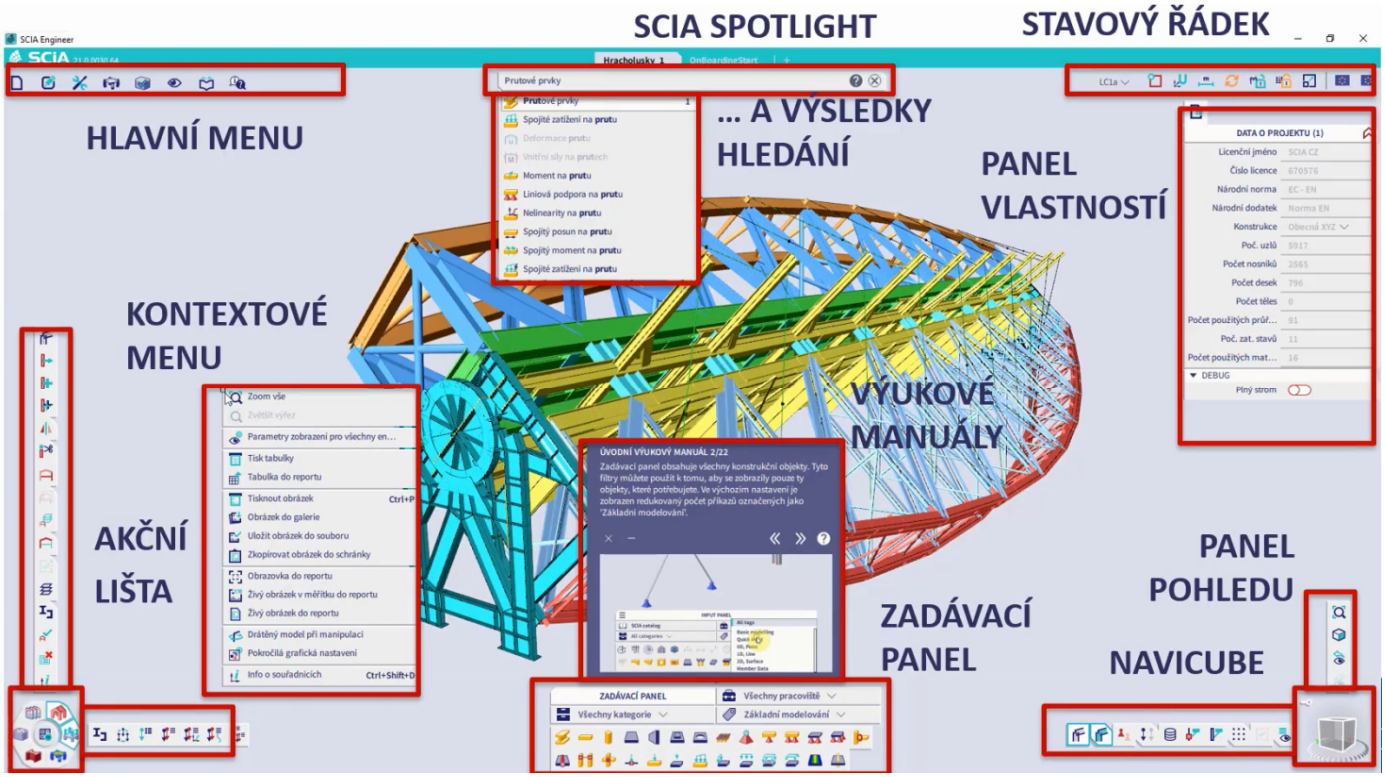
Své znalosti a dovednosti v konkrétních oblastech si můžete rozšířit studiem řady existujících manuálů nebo webinářů k programu:
https://www.scia.net/cs/support/downloads/scia-engineer-manuals
https://www.scia.net/cs/support/past-webinars
https://www.youtube.com/user/nemetschekscia

Řadu cenných informací lze najít také v často kladených dotazech (pro zobrazení některých je nutno se zdarma zaregistrovat):
https://www.scia.net/cs/support/faq

Důležité upozornění: Kurz Vám může ukázat, co program umí a jak s ním pracovat. Abyste se skutečně naučili program používat, je potřeba věnovat spoustu dalšího času samostudiu. Zkoušejte si řešit různé konstrukce (pro projekty nebo jiné předměty), porovnávejte výsledky s ručními výpočty a s inženýrským úsudkem. Pokud budete potřebovat poradit, zeptejte se.

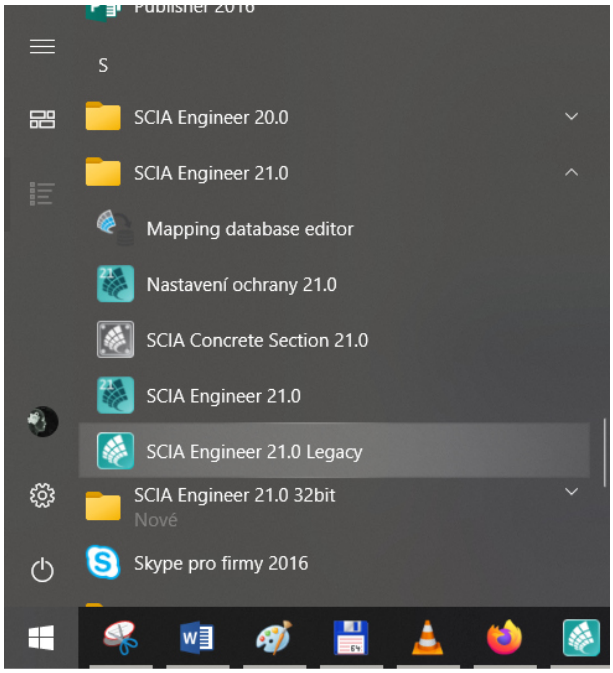
Uživatelské prostředí

Od verze 21 bylo v 64bitové verzi programu Scia zavedeno nové uživatelské prostředí. Jeho základní komponenty jsou představeny na následujícím obrázku.



Při prvním spuštění programu si projděte výukový manuál, který Vám představí základní principy práce v novém pracovním prostředí. Zabere Vám to zhruba 10 minut a bohatě se Vám to vyplatí.

Staré uživatelské prostředí je prozatím zachováno. V 64bitové verzi jej lze spustit z nabídky Start pod odkazem Scia Engineering 21 Legacy a je použito též v 32bitové verzi programu.



V tomto manuálu je použita 64bitová verze s novým prostředím zejména z toho důvodu, že toto prostředí bude do budoucna autory softwaru rozvíjeno. Staré pracovní prostředí bude časem opuštěno a pro studenty, kteří se softwarem začínají pracovat, by proto nebylo perspektivní si na něj zvykat.

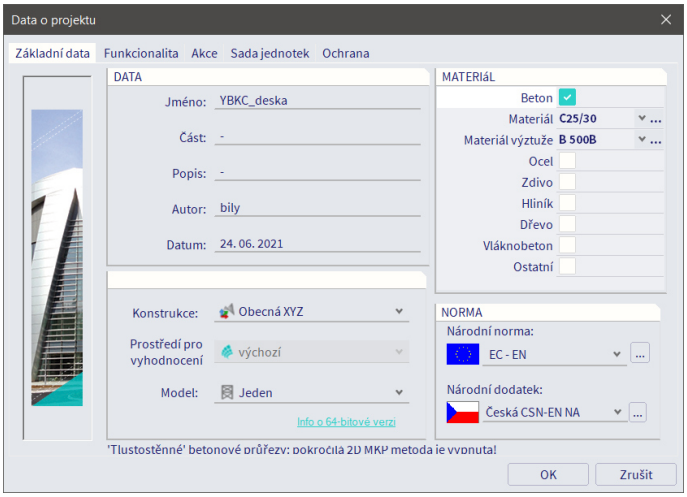
Nevýhodou 64bitové verze je, že prozatím neobsahuje některé pokročilé funkcionality (fáze výstavby, časově závislou analýzu, pohyblivé zatížení, některé funkce pro předpjatý beton). Tyto funkcionality v rámci předmětu nevyužijeme a naprostá většina studentů je nevyužije ani jindy během studia. V případě jejich potřeby by bylo nutno nainstalovat a použít 32bitovou verzi programu.

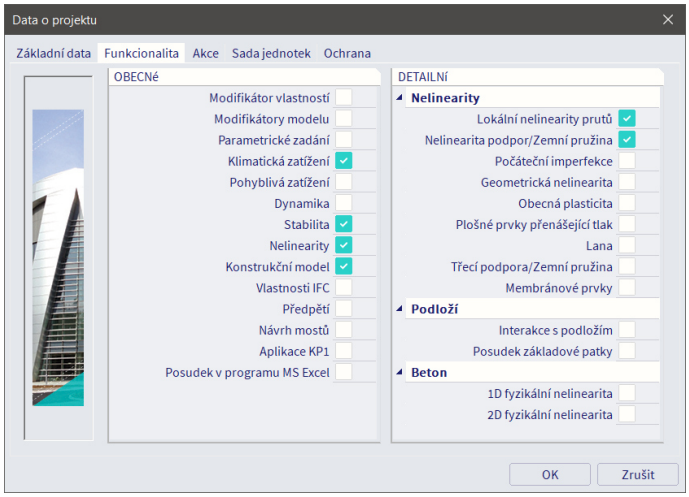
Základními prvky nového uživatelského prostředí jsou:

- Spotlight je de facto vylepšená příkazová řádka. Psaní se aktivuje kliknutím nebo mezerníkem. Slouží pro zadávání příkazů, souřadnic a také jako vyhledávač, který nabídne veškeré pojmy související s určitým textovým řetězcem. Funkce „Ukaž mi“ uživateli napoví umístění vyhledávaného příkazu v uživatelském prostředí.
- Zadávací panel (dále jen Panel) umožňuje zadat jednotlivé komponenty modelu (prvky modelu, zatížení, podpory…).
- Akční lišta (dále jen Akce) umožňuje provádět s modelem různé operace (manipulace s prvky, nastavení zatěžovacích stavů a kombinací, vykreslení výsledků…).
- Stavový řádek obsahuje vybrané položky nastavení.
- Panel pohledu obsahuje možnosti zobrazení modelu.
- Panel vlastností (dále jen Vlastnosti) zobrazuje vlastnosti aktuálně vybraných entit. Umožňuje zkrácené nebo plné zobrazení.

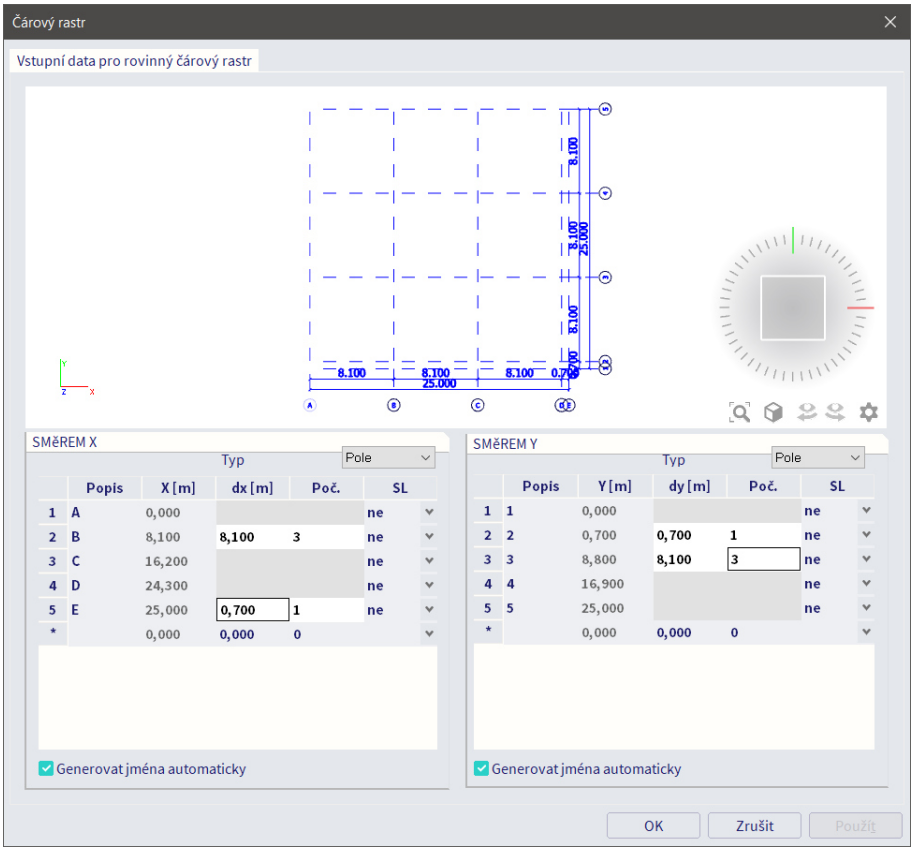
Zadání geometrie konstrukce

Vytvoříme rovinný projekt typu Obecná XYZ. Zadáme patřičné materiály a vybereme normy pro výpočet. Na kartě Funkcionalita ponecháme výchozí nastavení. Projekt následně uložíme.



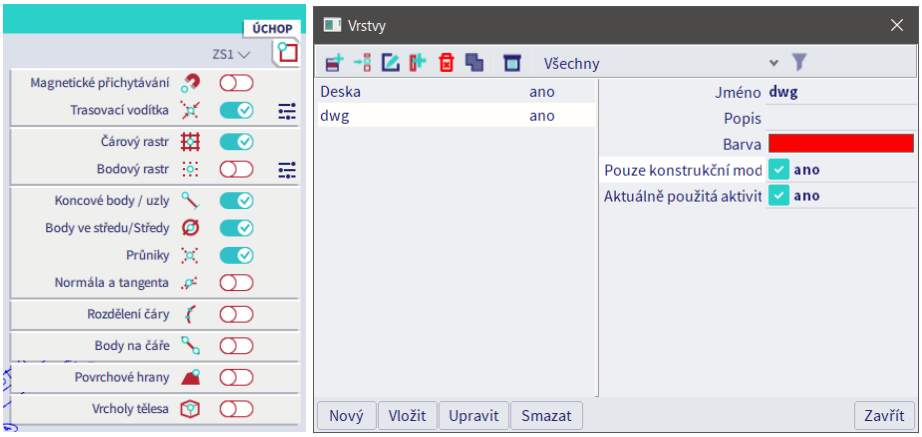


Pro usnadnění zadávání je vhodné vytvořit obdélníkový rastr definující polohy hlavních svislých nosných prvků a hran desky (Panel > Konstrukce > Rastry a patra > Obdélníkový rastr). Rastr vložíme přes Spotlight do bodu [0;0;0].



Přes Stavový řádek > Úchop nastavíme úchopové módy. Důležité je povolit přichytávání k čárovému rastru.

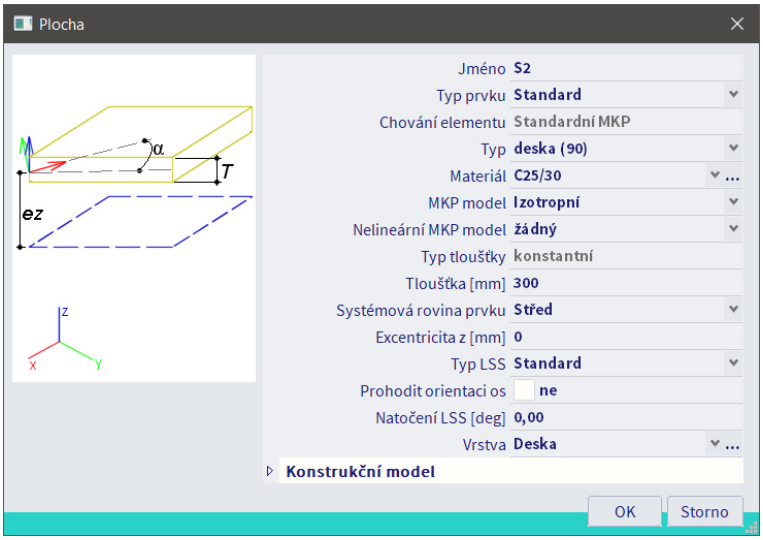
Přes Akce > Konstrukce > Vrstvy vytvoříme vrstvy pro zadání geometrie. Pro naši konstrukci zatím postačí jedna vrstva pro stropní desku a jedna pro dwg podklad. Druhá vrstva bude mít atribut Pouze konstrukční, což bude mít za následek, že nebude nijak zohledněna ve výpočtu. Zejména u složitějších konstrukcí je vhodné vrstvy využívat. Lze pak snadno zobrazovat pouze určitou část konstrukce. Obecně lze doporučit tvořit zvláštní vrstvu pro každou stropní desku, pro sloupy a pro stěny každého patra.



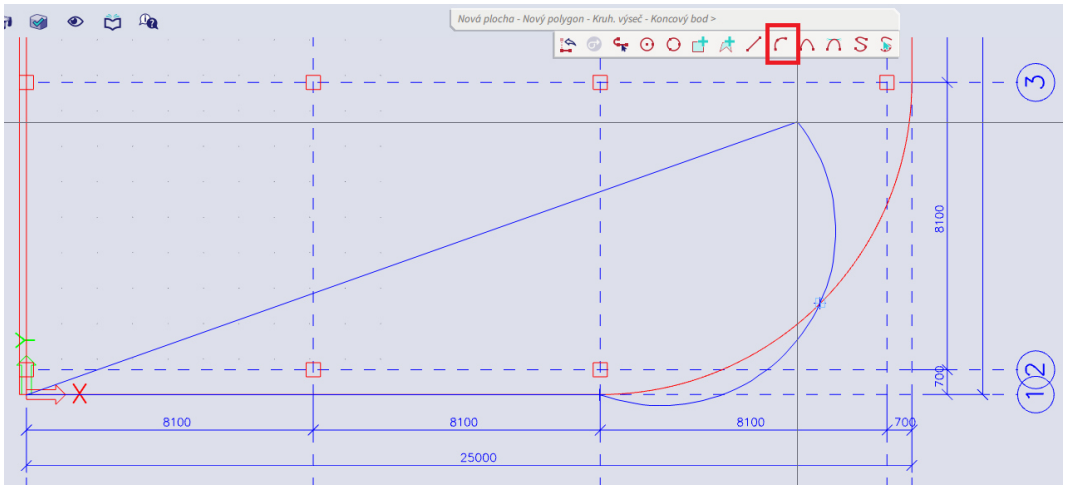
Přes Panel > Konstrukce > Import a bloky > Import DWG načteme dwg soubor obsahující schematický výkres tvaru konstrukce. Vybereme pouze potřebné hladiny dwg souboru. Měřítko vložení bude 0,001, neboť v AutoCADu kreslíme v milimetrech, ve SCIA v metrech. Podklad vložíme do bodu [0;0;0] (musí být samozřejmě stejně vložen i ve zdrojovém dwg). Pokud se vypíše hláška „Invalid file version…“, uložíme dwg do starší verze AutoCADu. Podklad vložíme do vrstvy dwg.

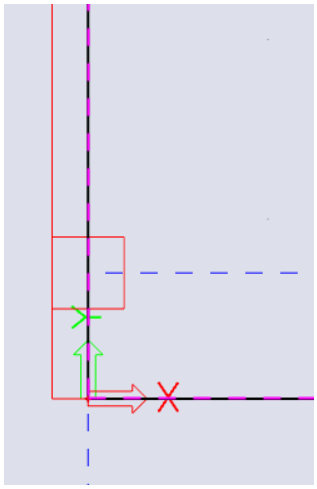
Poznámka: Ve Scia vytváříme střednicový výpočetní model, nikoliv výkresy tvaru a výztuže konstrukce. Geometrie modelu proto nemusí plně respektovat všechny detaily skutečné geometrie konstrukce. V některých případech by to bylo dokonce nežádoucí. Proto se ve zdrojovém souboru nachází hladina Výpočtová data, která definuje hranici desky v některých místech odlišně od skutečné geometrie desky. Například stěnové podpory jsou definovány v modulových osách.

Volbou Panel > Konstrukce > Plochy > Deska vytvoříme vnější obrys stropní desky tl. 300 mm.

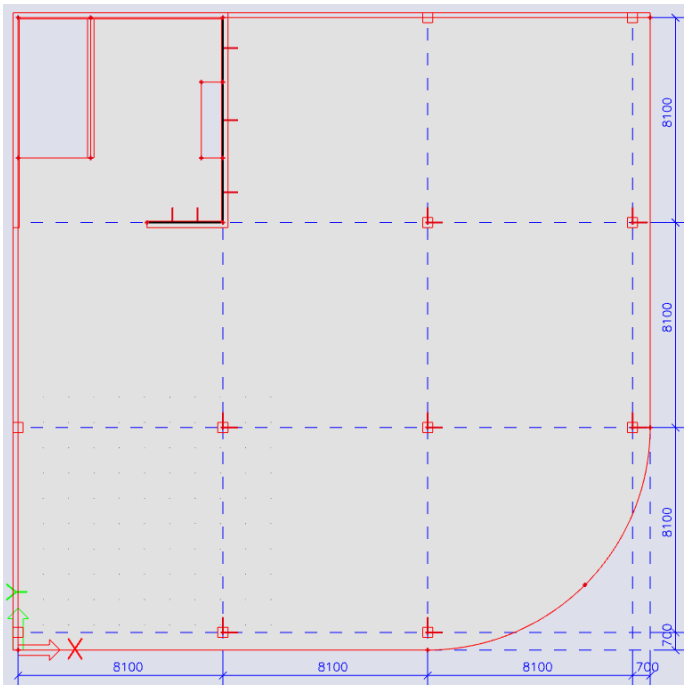


Obloukový segment zadáme tak, že v průběhu zadávání desky klikneme na tlačítko Nový kruhový oblouk pod Spotlightem. Hranice desky na překonzolovaných okrajích je dána skutečným obrysem desky, neboť konzolu je nutno zohlednit ve výpočtu. Sloupy u překonzolovaných okrajů tedy budou připojeny uvnitř desky. Hranice desky na nepřekonzolovaných okrajích je dána osou sloupů. Sloupy připojíme k okraji desky. Připojování dovnitř desky s odsazením o polovinu rozměru sloupu by nemělo smysl – na kraji desky by vznikla konzola, která reálně neexistuje.





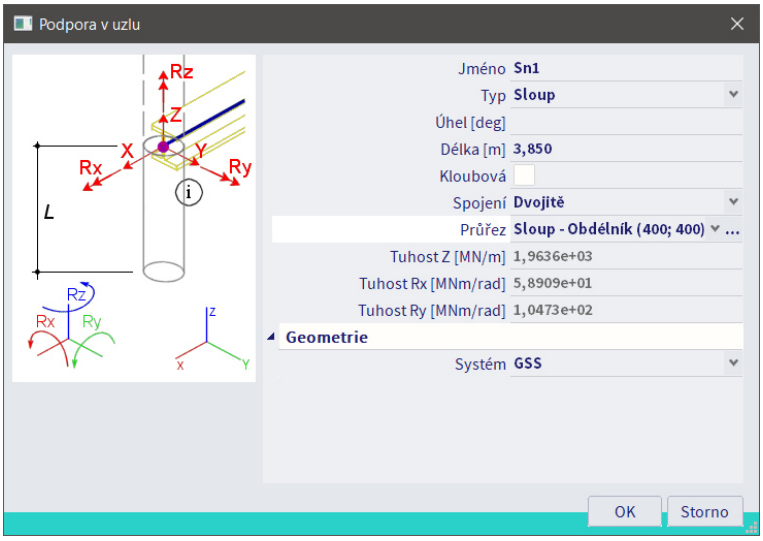
Dále přes Panel > Konstrukce > Plochy vytvoříme v desce specifické komponenty – otvory, vnitřní uzly a vnitřní hrany v místě budoucích vnitřních podpor (vnitřních stěn a sloupů).

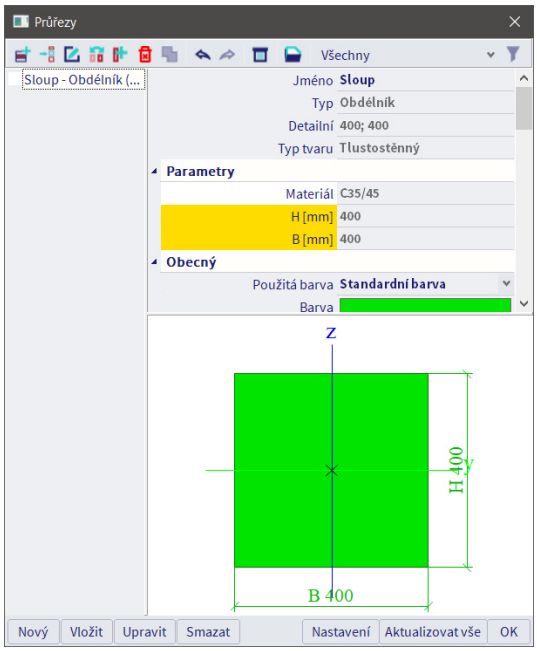


Samotné podpory zadáme přes Panel > Konstrukce > Okrajové podmínky.

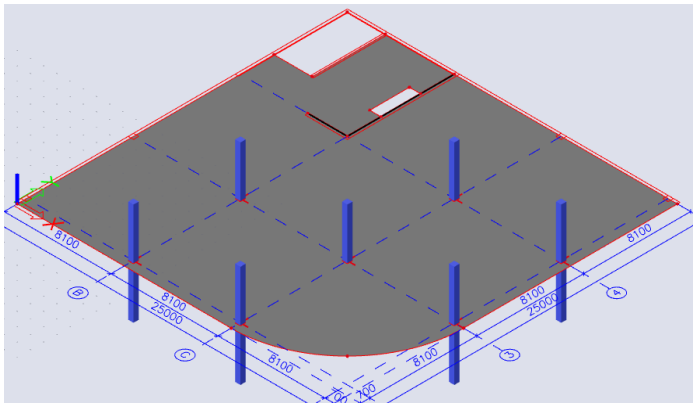
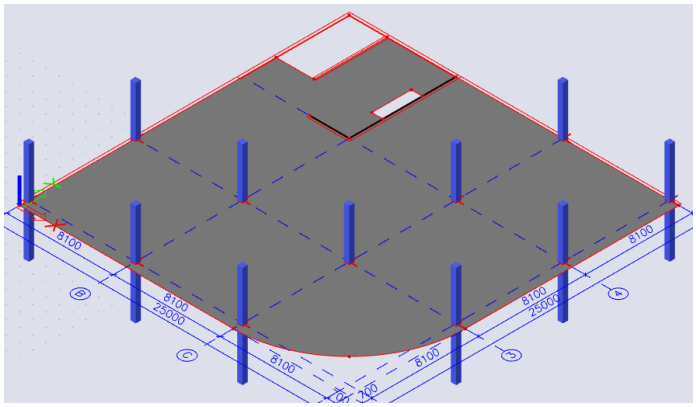
Pro bodové podpory využijeme možnost zadat reálnou tuhost sloupů podle jejich geometrie. Budeme tak modelovat celý patrový výsek, aniž bychom museli podrobně zadávat sloupy a zabývat se jejich nastavením. Výhodou je rychlejší zadání a výpočet, nevýhodou je nemožnost posoudit samotné sloupy. Volba přístupu k modelování vždy závisí na tom, co od modelu požadujeme.

Zvolíme položku Podpora v uzlu. Ve volbě Typ zadáme Sloup, vložíme délku sloupu v jednom podlaží (3,85 m). Volba Spojení umožňuje rozlišit, zda se má vložit sloup zadané délky pouze pod desku (Jednotlivě) nebo pod i nad desku (Dvojitě – to je náš případ, neboť modelujeme desku typického podlaží). Ve volbě Průřez zadáme požadovaný průřez sloupu (400x400 mm, C35/45). Pokud by sloup nebyl čtvercového průřezu, je nutno dávat pozor na orientaci rozměrů po vložení do konstrukce.

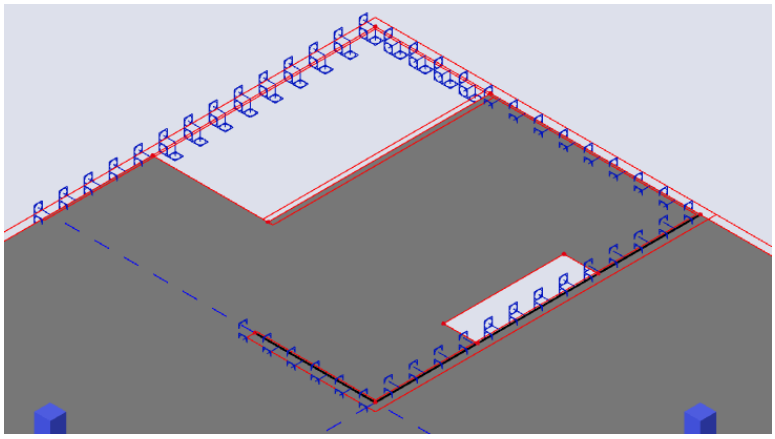




Sloupové podpory je možno zadat pouze do vnitřních uzlů (obrázek vlevo). Na okraj desky nelze zadat vnitřní uzel a tedy ani zadat sloupovou podporu. Uzel však lze na okraj desky překopírovat včetně přídavných entit (sloupových podpor), čehož využijeme (obrázek vpravo).

Stěny budeme idealizovat jako tuhé liniové podpory, které zadáme přes položku Liniová podpora na hraně 2D. V našem případě to je akceptovatelné, neboť oblasti stěnových podpor nebudou rozhodujícími místy návrhu desky a není potřeba je modelovat přesněji. Pro zadání na vnější hrany použijeme volbu Absolutního zadání souřadnic, abychom mohli zadat podporu pouze na část hrany.

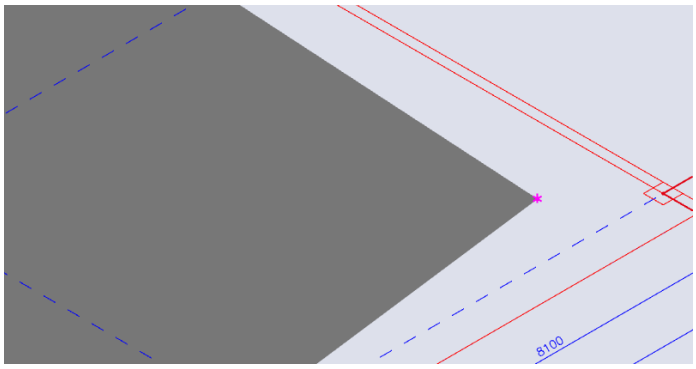
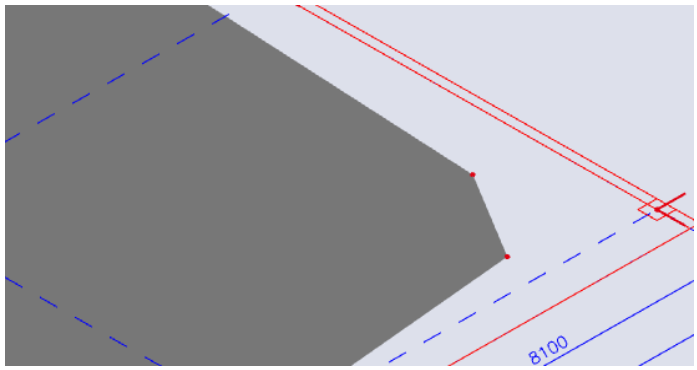


Pokud bychom požadovali přesný model stěn a přilehlé části desky, bylo by nutno zadat stěny jako plošné prvky (viz příklad zaměřený na 3D konstrukci).

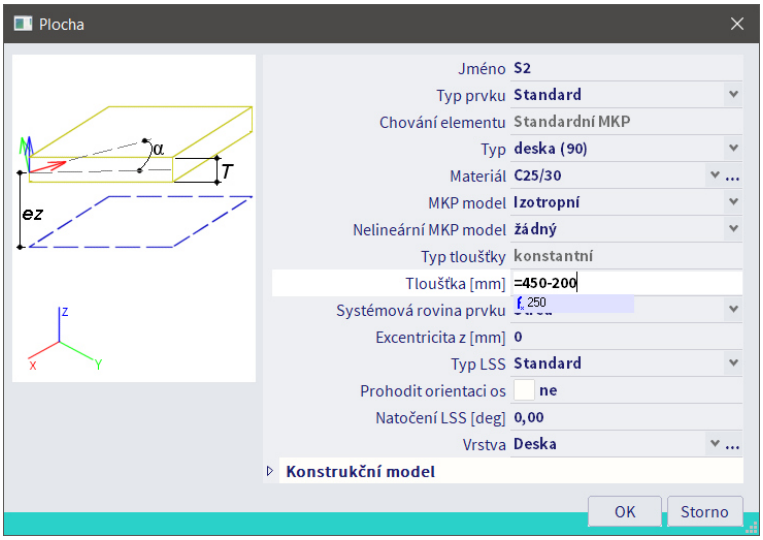
Několik dalších užitečných typů pro zadávání a práci s modelem

- Při zadávání souřadnic přes Spotlight se desetinná část čísla odděluje čárkou, *x*-ová, *y*-ová a *z*-ová souřadnice středníkem. Relativní vzdálenost se zadá pomocí znaku @.

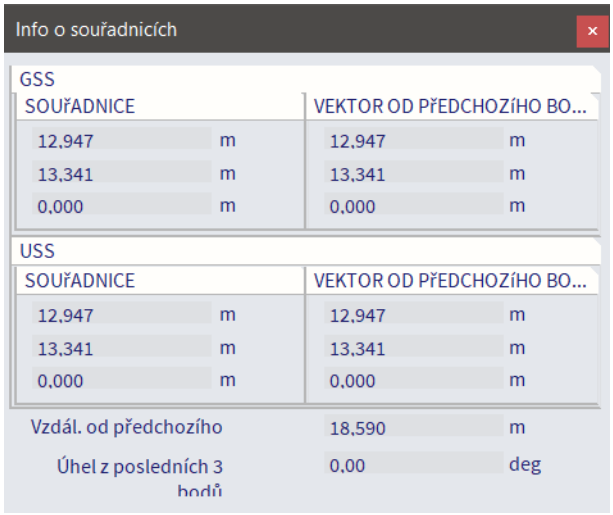
- V případě potřeby úpravy geometrie lze uzly plošných prvků přetáhnout jednoduše označením a potažením do nové pozice. Princip výběru křížením zleva a zprava je stejný jako v AutoCADu. Křížení se Shiftem invertuje výběr. Přes Menu > Upravit > Oprava lomené čáry lze v případě potřeby přidávat nebo ubírat vrcholy desky.

- Při úpravách lze Sciu využívat i jako kalkulačku – zadávací okna umí provádět jednoduché početní operace:



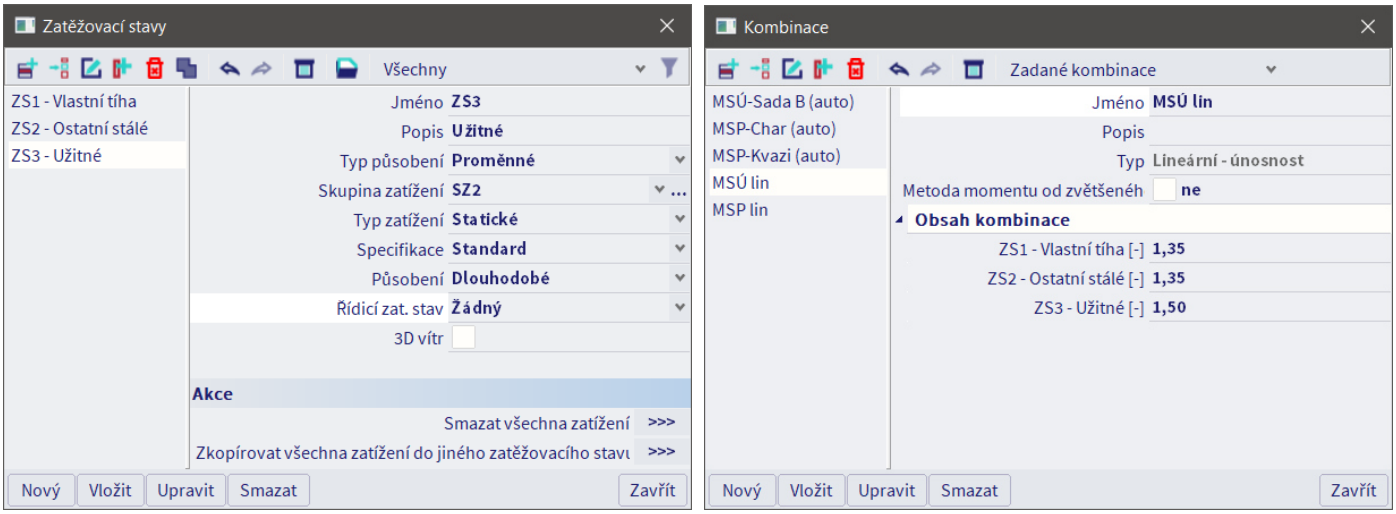
- Zobrazení lokálních os ploch (využijeme, pokud máme zadáno více různě orientovaných ploch): Panel Pohledu > Více voleb > Lokální osy a Popisy lokálních os.
- Změna velikosti popisků os: Stavový řádek > Měřítka > Symboly lokálních os. V tomto menu můžeme upravovat i velikosti dalších popisků.
- Změna velikosti zobrazovaných textů (hodnoty výsledků apod.): Menu > Pohled > Nastavení písem.
- Chceme-li znát souřadnice obecného bodu modelu (například chceme zjistit polohu vykresleného extrému), můžeme využít nástroj dostupný z Akce > Konstrukce > Info o souřadnicích, bod vybrat kurzorem a získat jeho souřadnice.



- Chceme-li najít určitou komponentu modelu, napíšeme do Spotlight příkaz VYB název (např. pro nalezení desky S1 zadáme VYB S1). Příkaz využijeme zejména ve chvíli, kdy program ohlásí chybu v určitém prvku složitého modelu, a my potřebujeme tento prvek najít.

Zadání zatížení

Přes Akce > Zatížení vytvoříme patřičné Zatěžovací stavy (v našem případě budou tři) a Kombinace (v našem případě prozatím dvě lineární kombinace; automaticky vytvořených kombinací si v tuto chvíli nevšímáme). U zatěžovacích stavů je důležité správně zvolit typ a dobu působení kvůli jejich správnému zohlednění při sestavování kombinací a výpočtu deformací.



Podrobnější výklad k problematice zatěžovacích stavů, skupin zatížení a kombinací je obsahem úloh zaměřených na rámovou konstrukci a 3D konstrukci. Důležitá je volba Typu kombinace:

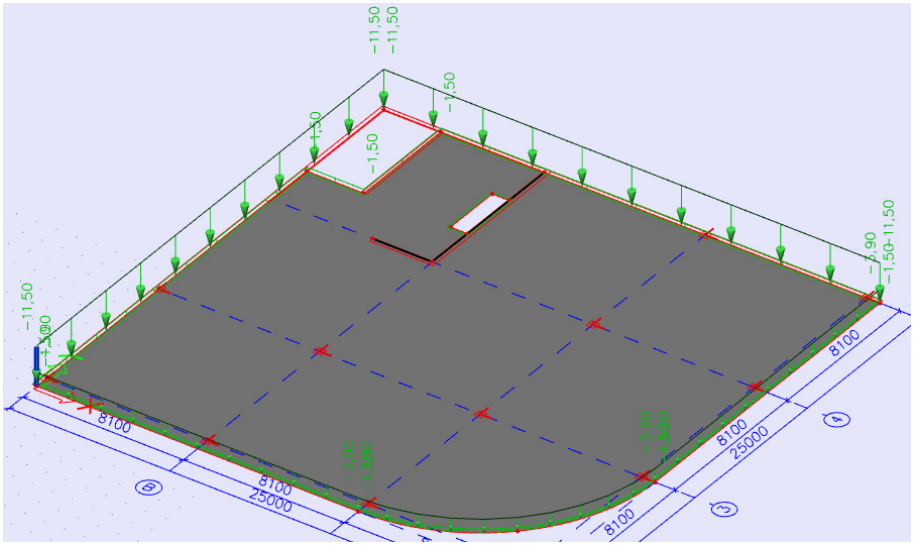
- *Lineární kombinace*: Vygeneruje se kombinace, která bude prostým součtem zatěžovacích stavů vynásobených dílčími součiniteli definovanými uživatelem.
- *Obálková kombinace*: Vygeneruje se kombinace, která v sobě bude obsahovat soubor všech matematicky možných kombinací, které lze sestavit ze zadaných zatěžovacích stavů podle určitého klíče. Klíč je dán příslušností stavů ke skupinám zatížení a nastavením těchto skupin. Dobrým příkladem použití je zatížení trámu o více polích. Pokud zadáme všechny zatěžovací stavy pro užitné zatížení (plné, různé varianty šachovnic) do jedné skupiny typu Výběrová, pro výpočet se v jednotlivých kombinačních klíčích („podkombinacích“) bude uvažovat nejvýše jeden stav z této skupiny, i když do kombinace vložíme všechny stavy najednou. Dílčí součinitele jsou dány uživatelem.
- *Kombinace typu EN-MSÚ (STR/GEO)*: Odpovídá obálkové kombinaci s tím rozdílem, že možné kombinace jsou ze zadaných zatěžovacích stavů generovány s dílčími součiniteli podle ČSN EN 1990 tab. A1-2(B)(CZ) a A1-2(C)(CZ) podle vztahů (6.10), (6.10a) a (6.10b).
- Viz též zde, příklad na straně 14.
- **Pozor!!!** Žádná z kombinací neumí „sama vygenerovat šachovnici“. Jednotlivé zatěžovací stavy musí vytvořit uživatel. Program umí pouze kombinovat uživatelem zadané zatěžovací stavy. Neumí si zatěžovací stavy sám domýšlet.

V tomto okamžiku použijeme jednoduché lineární kombinace, abychom si mohli ukázat kontrolu výsledků. Normové kombinace použijeme později pro návrh výztuže, ale jejich výsledky jsou těžko kontrolovatelné kvůli použitým normovým redukčním součinitelům, takže je vždy vhodné pro kontrolu zadat i lineární kombinace.

Do zatěžovacích stavů zadáme zatížení podle zadání úlohy přes Panel > Zatížení. Aktuální zatěžovací stav, do kterého zadáváme zatížení, se volí v rozbalovacím menu ve Stavovém řádku.

- ZS1: Vlastní tíha se generuje automaticky podle zadané objemové hmotnosti materiálu.

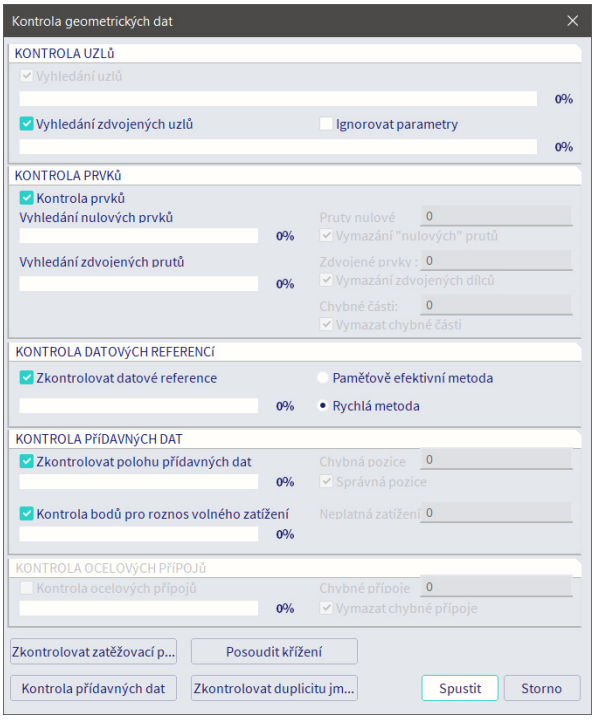
- ZS2: Zadáme ostatní stálé zatížení jako Plošné zatížení na 2D a Liniové zatížení na hraně 2D (viz obrázek níže). Liniové zatížení na hraně plochy vzniká od obvodového pláště.



- ZS3: Zadáme proměnné zatížení na celé ploše. Šachovnicové proměnné zatížení ve výukovém příkladu nebudeme uvažovat z důvodu zjednodušení zadávání. V reálném projektu by však mělo být zadáno do samostatných zatěžovacích stavů.

Poznámka: Při zadávání šachovnicového zatížení by bylo vhodné vytvořit pouze malý počet přesně definovaných šachovnic a nepokoušet se generovat všechny matematicky možné varianty zatížení jednotlivých polí. Pro n polí bychom dostali $2^{(n-1)}$ možných variant. Z hlediska lineárního výpočtu by to nepředstavovalo zásadní problém. Počítač spočte samostatně výsledky pro n zatěžovacích stavů a ty pak lineárně kombinuje, aby získal výsledky jednotlivých kombinací zatěžovacích stavů. Při pozdějším nelineárním výpočtu normově závislých průhybů by však běžný počítač výpočet nezvládl. Například pro desku o 5x5 polích by musel propočítat 2^{24} = přibližně 17 milionů variant působení proměnného zatížení.

Před výpočtem je vždy vhodné provést kontrolu zadané geometrie pomocí Akce > Konstrukce > Zkontrolovat konstrukci. Odhalí se tak mj. omylem zdvojené prvky, které by mohly zkreslit výsledky (zdvojený nosník = dvojnásobná tuhost = poloviční průhyb).



Nastavení sítě MKP a parametrů výpočtu

V dialogu Akce > Vypočítat upravíme parametry sítě konečných prvků a řešiče.

Zcela klíčové je nastavení velikosti hrany 2D konečných prvků. **Tento bod nikdy nesmí být opomenut.** Empirické pravidlo říká, že pro získání dostatečně přesných výsledků by obvykle měla stačit velikost plošného prvku odpovídající tloušťce stropní desky, v našem případě tedy 0,3 m.

Průměrný počet 1D konečných prvků na přímých 1D dílcích by měl být nastaven na hodnotu alespoň 5. V tuto chvíli pro nás nehraje roli, ale upravíme jej kvůli výpočtu normově závislých průhybů na žebrech, která budou později do konstrukce zadána.

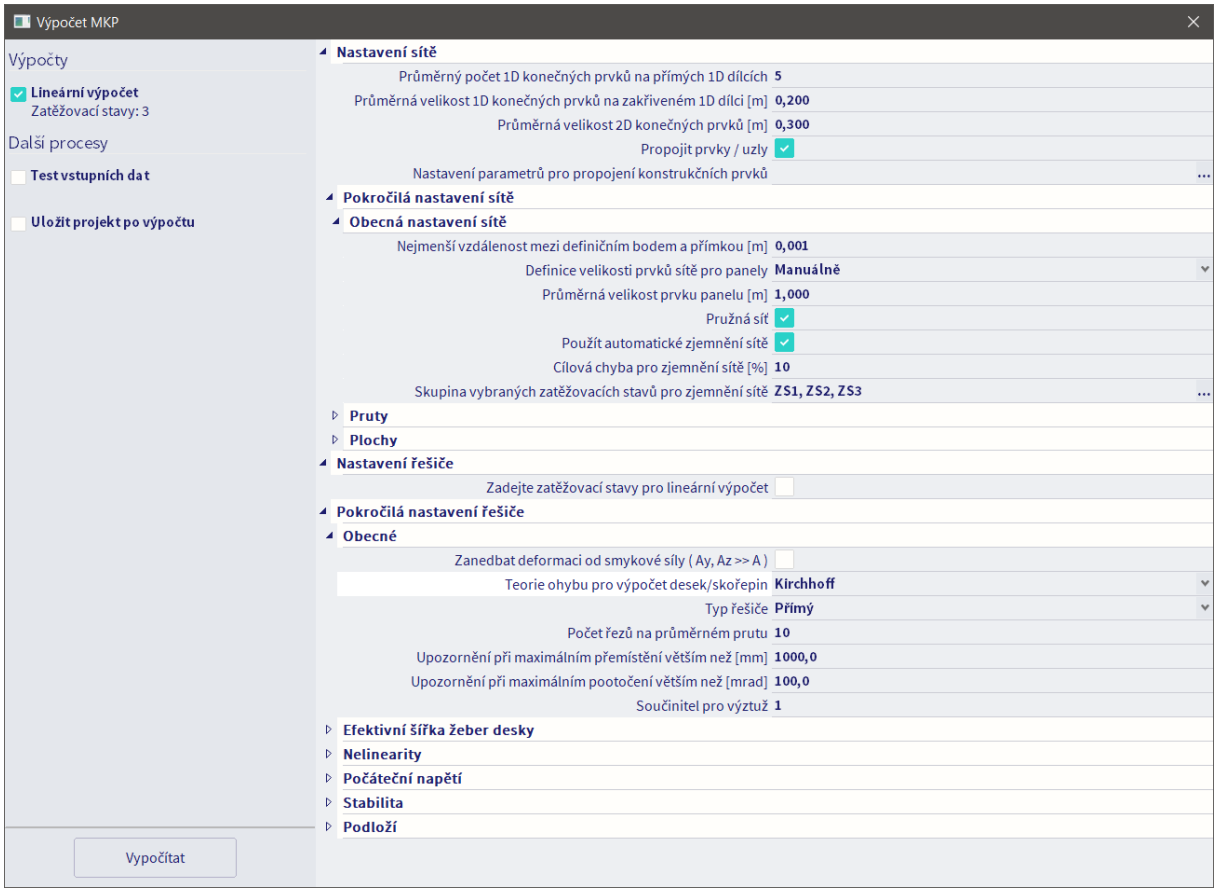
Využít lze též volbu Použít automatické zjemnění sítě, která umožní po provedení výpočtu automaticky identifikovat oblasti, kde by mělo dojít k zahuštění sítě. Parametr Cílová chyba pro zjemnění sítě volíme jako 10 % (doporučená hodnota tvůrců programu).

V Nastavení řešiče je nutno zvolit parametry řešení. Pro tenké desky je efektivnější výpočet podle Kirchhoffovy teorie. Mindlinova teorie se uplatní u tlustých desek (typicky základových desek). Volba je důležitá i s ohledem na velikost prvků MKP. Pro Kirchhoffovu teorii stačí prvky velikostí odpovídající tloušťce desky, Mindlinova teorie vyžaduje jemnější síť.

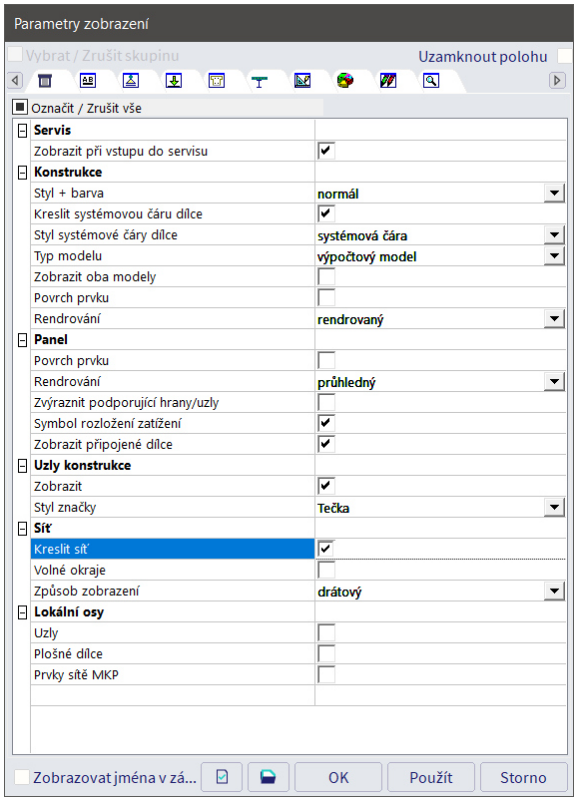
Pro většinu běžných úloh je vhodnější přímý řešič (počítá přímo posuny pro zadaná zatížení) který je rychlejší, ale náročnější na paměť. Iterativní řešič (odhadne posuny, spočítá odpovídající zatížení, porovná se skutečným zatížením, zpřesní odhad a opakuje výpočet) se uplatní pro větší úlohy nebo úlohy, které jsou při použití přímého řešiče nestabilní.

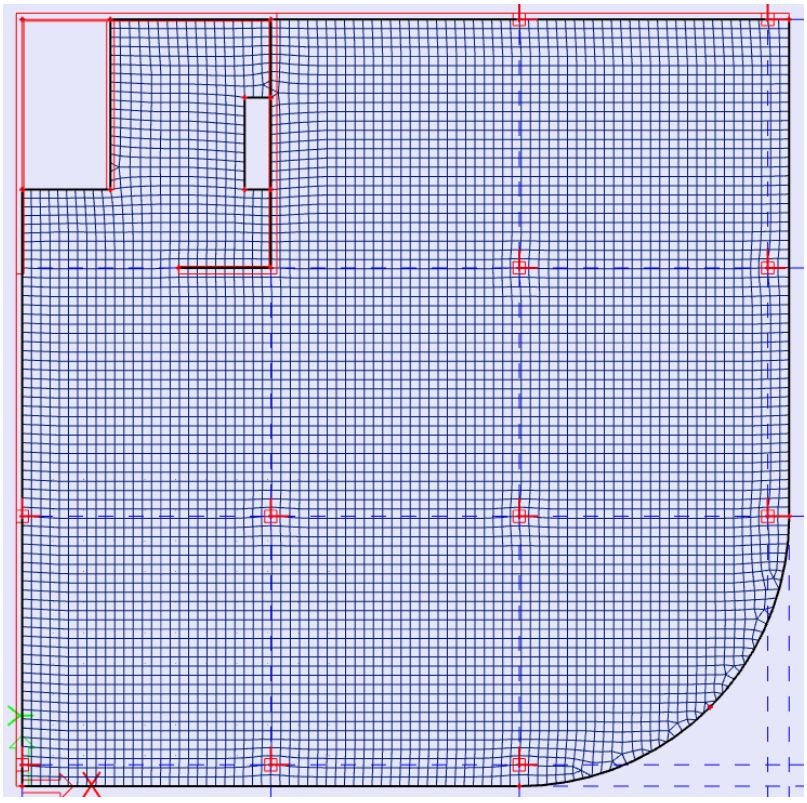
Položka Součinitel pro výztuž vynásobí zadanou konstantou plochy veškeré zadané výztuže. Lze ji využít pro rychlý odhad při optimalizaci vyztužení. Není pak nutné měnit jednotlivé zadané položky výztuže.

Skupina Efektivní šířka žeber desky bude rozebrána později po zadání žeber do upravené konstrukce.

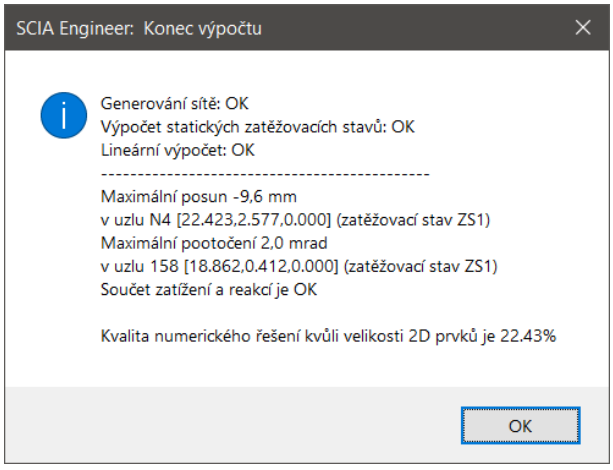


Přes Menu > Nástroje > Výpočet a síť > Generovat síť vytvoříme síť konečných prvků (tento krok běžně není nutno dělat samostatně – provede se automaticky po spuštění výpočtu). Po vygenerování je možno síť MKP zobrazit přes Panel pohledu > Více voleb > Parametry zobrazení pro všechny entity.





Přes Akce > Vypočítat provedeme výpočet.



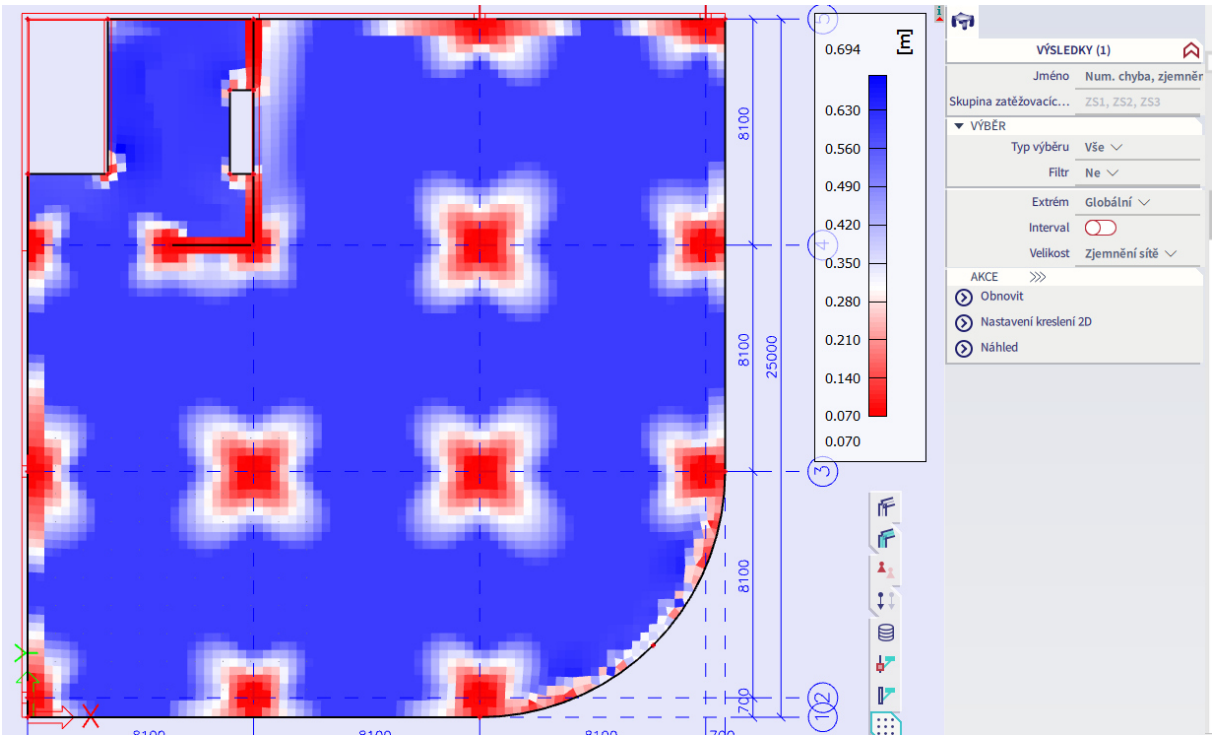
Informace o kvalitě numerického řešení souvisí s volbou Použít automatické zjemnění sítě. Jedná se o aposteriorní (po výpočtu provedený) odhad rozdílu mezi napětími spočtenými v integračních bodech lineárním výpočtem a tzv. opravenými napětími v těchto bodech. Menší hodnota znamená lepší výsledek.

Výpočet je také možno provést skrytě, pokud na Akce > Vypočítat klikneme pravým tlačítkem. Tuto možnost využijeme hlavně při časově náročných výpočtech, během kterých chceme provádět jinou práci v jiném programu a rušila by nás okna popisující průběh výpočtu, která by průběžně vyskakovala na obrazovce.

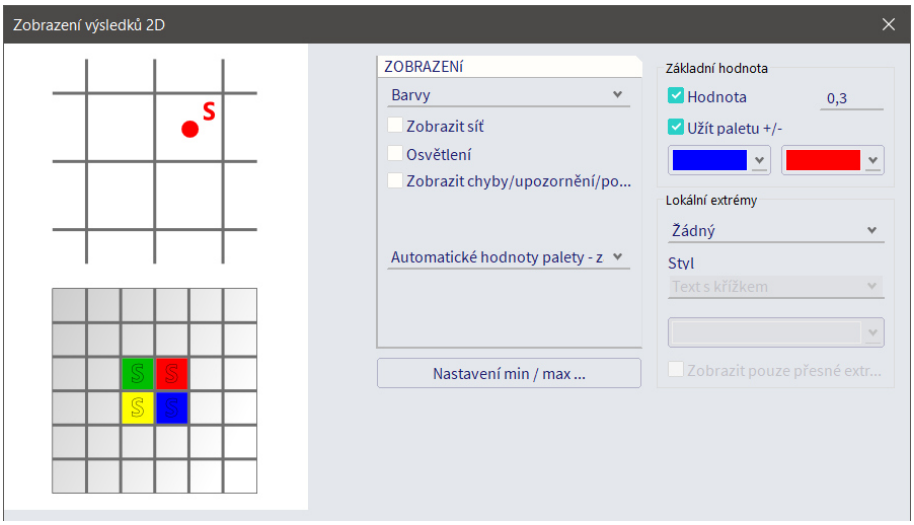
Poznámka: Pokud po výpočtu dostaneme hlášku „Matice tuhosti je singulární“, znamená to obvykle, že model konstrukce je staticky přeurčitý. Není dostatečně podepřen a je nutno upravit nebo přidat podpory.

Kontrola hustoty sítě MKP

Zkontrolujeme, kde Scia doporučuje zjemnit síť MKP. Menu > Výsledky > Plochy > Numerická chyba a zjemnění sítě, volba Zjemnění sítě ukáže doporučenou velikost prvků MKP v jednotlivých oblastech desky. Je patrné, že na většině modelu zvolená velikost 0,3 m postačuje. Obecně platí, že příliš hrubá síť vede k nepřesným výsledkům, přílišné zjemnění zase naopak k velkým singularitám v místě bodových podpor (pokud by se velikost prvků limitně blížila nule, moment v podpoře by se limitně blížil nekonečnu) a u velkých modelů i k nepřijatelně dlouhému času výpočtu. Cílem je najít optimální velikost.



Přizpůsobení barevné škály lze provést přes položku Nastavení kreslení 2D v okně Vlastnosti.



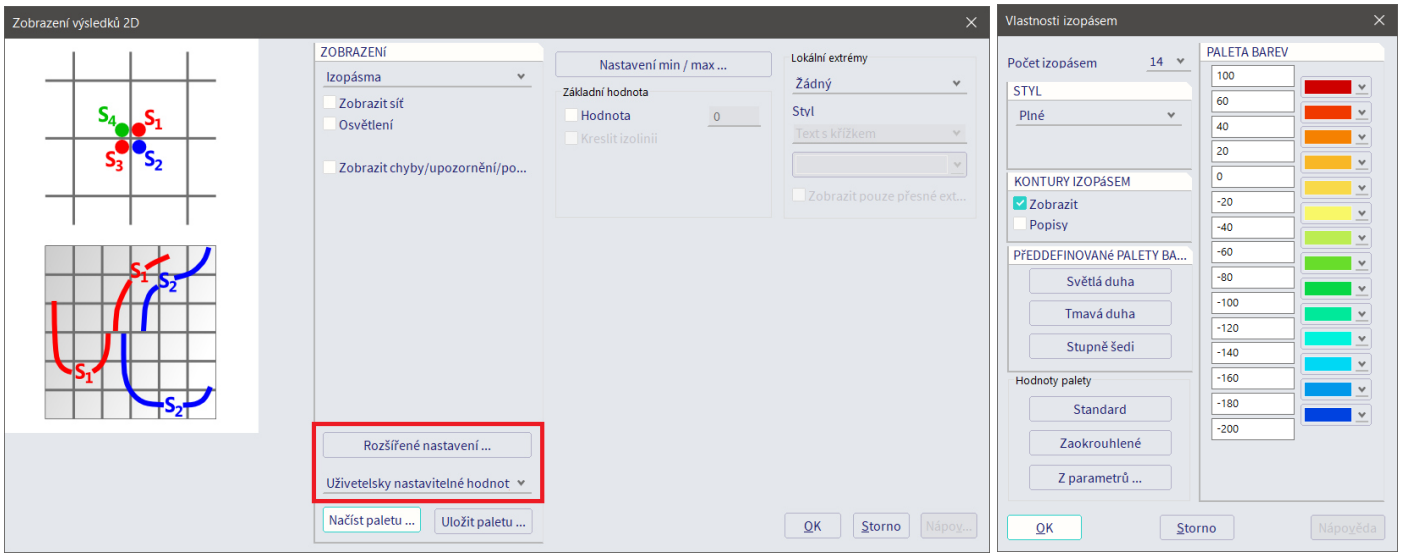
Velikost nevyhovuje pouze v malých oblastech u podpor, což je přijatelné. Zjemněním sítě v těchto oblastech by došlo pouze ke zvýraznění singularit. Pokud by bylo požadováno zjemnění na větší oblasti desky, bylo by potřeba zmenšit globálně nastavenou velikost plošných prvků. Síť můžeme také lokálně zahustit přes Panel > Výpočet a výsledky.

Existuje ještě další možnost, jak zkontrolovat, že je síť dostatečně jemná. Při zobrazování vnitřních sil přes Akce > Výsledky > 2D vnitřní síly je v dialogu Vlastnosti zobrazena volba Poloha, která rozhoduje o tom, jakým způsobem budou zobrazeny spočtené výsledky. Máme 4 možnosti:

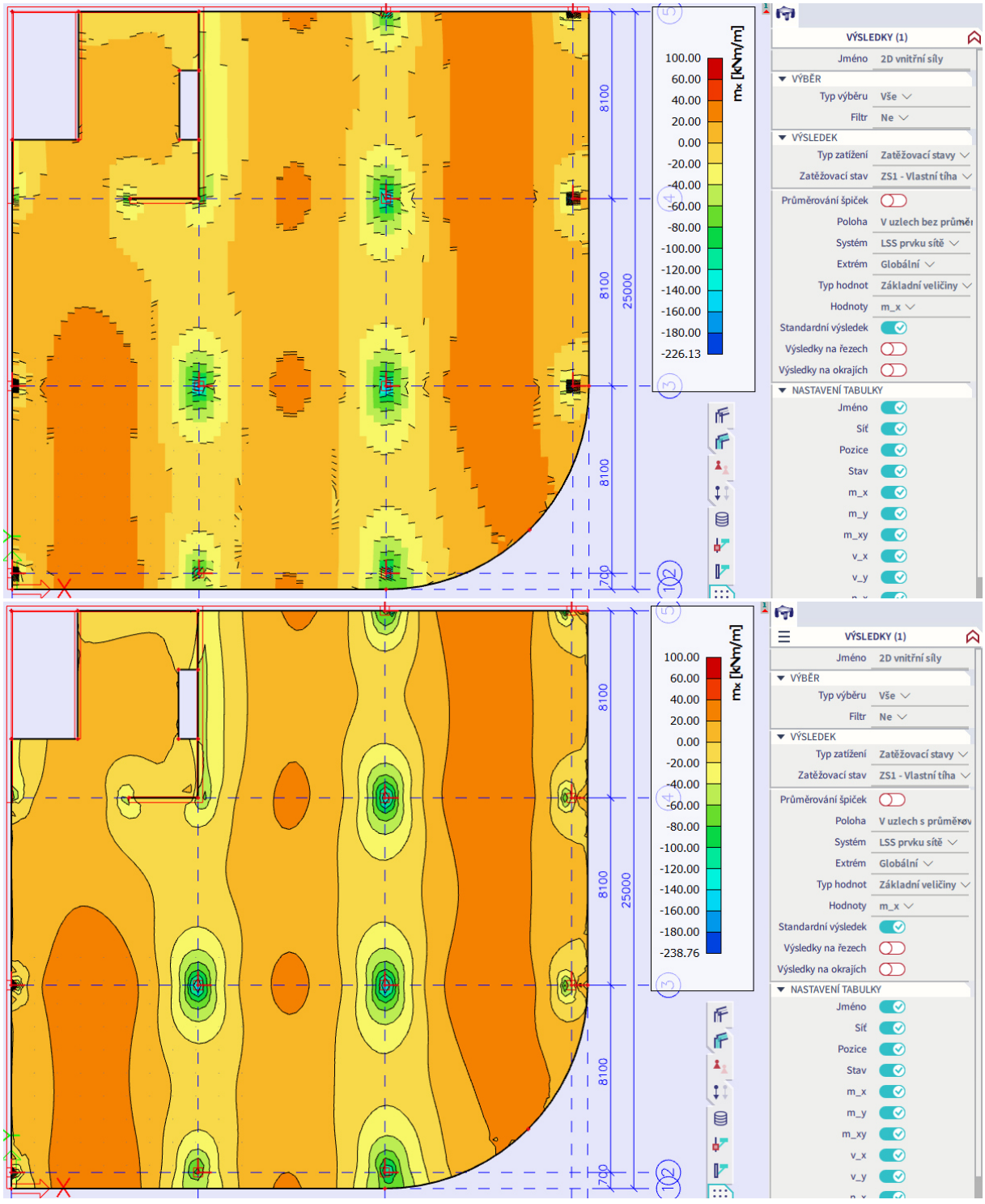
- V uzlech bez průměrování – zobrazí surové výsledky z řešiče bez jakékoliv úpravy. V každém uzlu tak budou čtyři různé hodnoty z přiléhajících konečných prvků.
- V uzlech s průměrováním – zobrazí průměr výsledků ze všech konečných prvků přiléhajících k danému uzlu.
- V uzlech s průměrováním na makro – odpovídá předchozímu s tím rozdílem, že průměrování se neprovede v případě, že konečné prvky náleží různým 2D entitám, jsou umístěny na různých stranách vnitřního okraje, nebo je zadán vnitřní uzel.
- V těžištích – zobrazí průměr výsledků v uzlech každého konečného prvku.

První volba je vhodná pro kontrolu hustoty sítě. Nezprůměrované výsledky na sousedních konečných prvcích by se neměly výrazně lišit a zprůměrované výsledky by se neměly výrazně lišit od nezprůměrovaných. V opačném případě by bylo potřebné zjemnit síť.

Pro dosažení co nejlepší srovnatelnosti je vhodné nastavit uživatelskou (neměnnou) paletu barev přes volbu Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D, volba Uživatelsky nastavitelné volby palety.



Nahoře jsou nezprůměrované, dole zprůměrované momenty m_x od ZS1 (vlastní tíha). Shoda je dobrá.



Vysvětlení k dalším polohám výsledků:

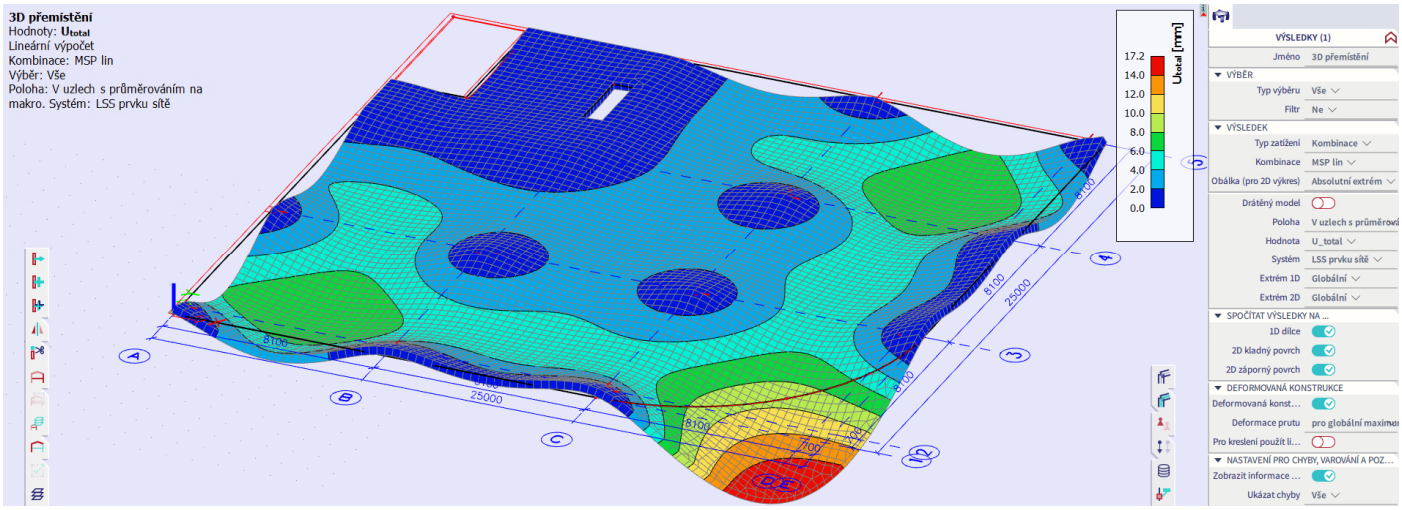
- Volba V uzlech s průměrováním se využívá při zobrazování výsledků na samostatných 2D dílcích. Nelze ji však využít v případech, kdy by průměrování mohlo vést ke znehodnocení výsledků (např. na styku stěny a desky).
- Volba V uzlech s průměrováním na makroprvku se používá pro zobrazení výsledků v případech, kdy by mohlo průměrování v uzlu vést ke znehodnocení výsledků. Příkladem může být styk dvou prvků s různou orientací lokálních os nebo podpora desky připojená přes vnitřní uzel.
- Volba V těžištích se využívá např. pro posudek normově závislých průhybů. Scia počítá průhyby na síly v těžišti konečných prvků.

Kontrola výpočtu

Výsledky programu je vždy naprosto nezbytné kontrolovat pomocí zdravého rozumu, jednoduchých inženýrských úvah a ručních výpočtů. Vyvarujeme se tak hrubých chyb. Program vždy spočítá výsledky, které jsou numericky správné pro zadané vstupy. Vstupy ale mohou být vinou chyby uživatele zadány nesprávně, což pak vede k tomu, že výsledky neodpovídají reálnému chování vyšetřované konstrukce.

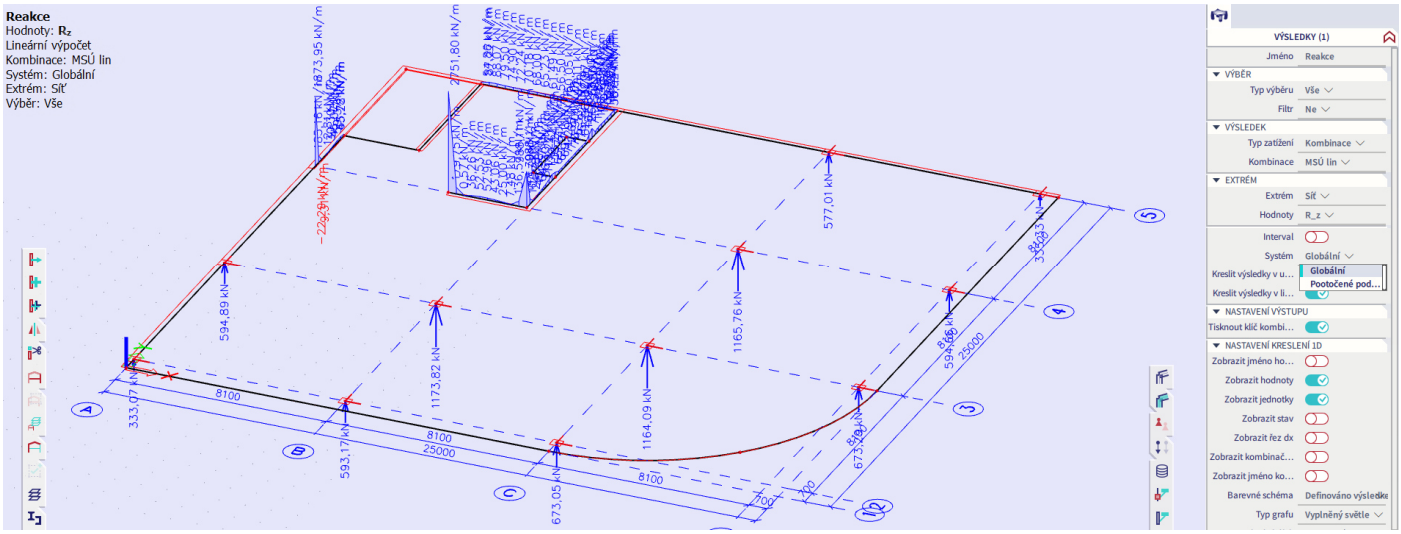
Při práci s výsledky je vždy důležité ve Vlastnostech zvolit správný Typ zatížení a správnou Kombinaci – defaultně se vykreslují výsledky pro 1. zatěžovací stav, což obvykle bývá jen samotná vlastní tíha.

Nejjednodušší, ale velmi účinnou kontrolou je kontrola správnosti tvaru deformace konstrukce. Akce > Výsledky > 3D deformace. Měřítko lze upravit přes Stavový řádek > Měřítka.



Směr průhybu odpovídá, tvar průhybu rovněž. Cílem kontroly průhybů je zejména odhalit zatížení zadaná s chybnou orientací, zatížení zadaná na nesprávné části konstrukce (např. při zadávání volných zatížení), chybějící nebo špatně připojené podpory. Ačkoliv se jedná o lineární průhyby, podle kterých v žádném případě nelze posuzovat splnění MSP průhybů ŽB konstrukce, lze již v tomto okamžiku předvídat, že jedním z problematických míst návrhu konstrukce bude zaoblený okraj desky.

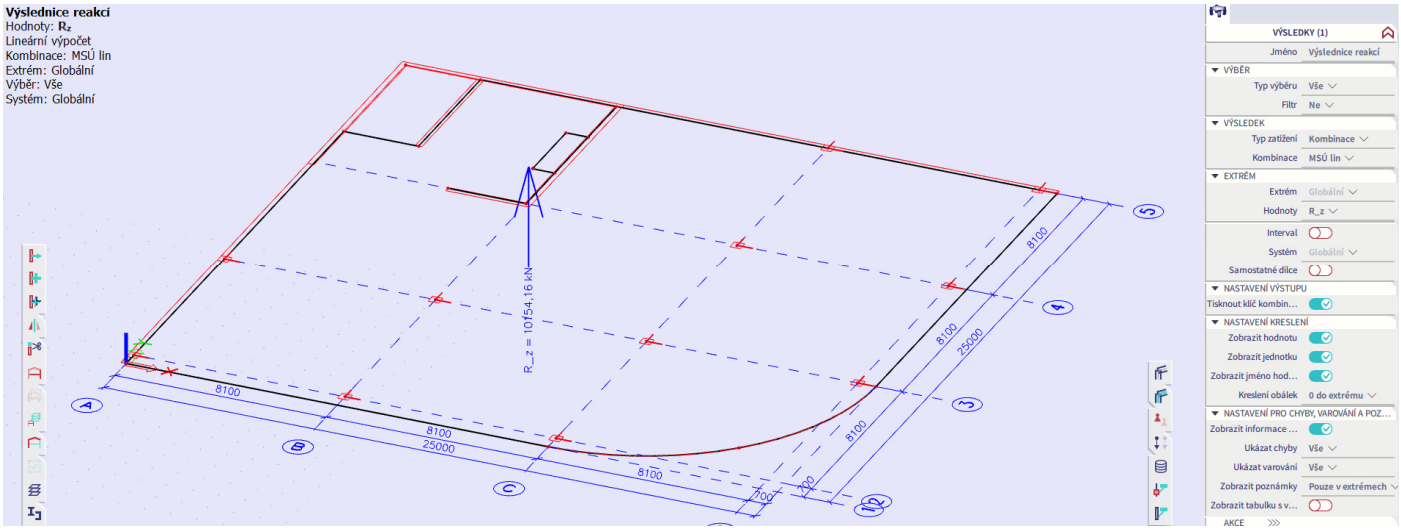
Dále lze snadno provést kontrolu reakcí. Akce > Výsledky > Reakce > Reakce. Plošné návrhové zatížení včetně vlastní tíhy desky je (0,3*25+1,5)*1,35+2,5*1,5 = 15,9 kN/m^2. Liniové návrhové zatížení od lehkého obvodového pláště je 3,9*1,35 = 5,3 kN/m, od těžkého zděného pláště 11,5*1,35 = 15,5 kN/m.



Sloup C3: 15,9*8,1*8,1 = 1043 kN – přijatelně odpovídá hodnotě 1164 kN.
Sloup B2: 15,9*8,1*(8,1/2+0,7) + 5,3*8,1 = 654 kN – přijatelně odpovídá hodnotě 593 kN.

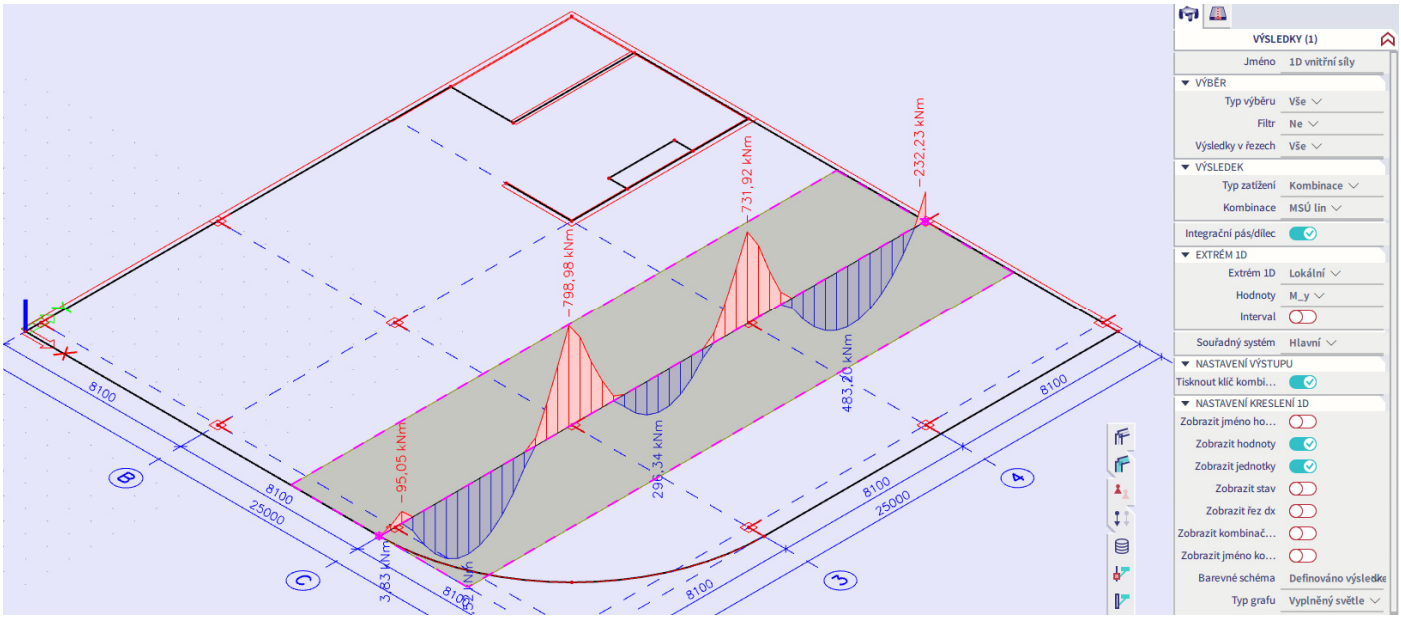
Je nutné si uvědomit, že ruční výpočet slouží pouze pro hrubou kontrolu, proto shoda nikdy nebude přesná. Cílem kontroly reakcí je odhalit chybějící nebo zdvojená zatížení.

Další možností je zkontrolovat celkovou reakci. Zde by měla být shoda téměř přesná, ovšem nejsme schopni zkontrolovat správnost rozdělení reakcí. Plocha desky je 590 m^2, LOP se nachází na délce 46 m, zdivo na délce 31 m (odměřeno z dwg souboru). Celková svislá reakce by tedy měla být 15,9*590 + 5,3*46 + 15,5*31 = 10 105 kN. Přes Akce > Výsledky > Reakce > Výslednice reakcí se přesvědčíme, že tato hodnota se shoduje s celkovou reakcí v modelu.



Kontrola momentů je pracnější, ale vyplatí se ji rovněž provést. Kromě další kontroly správnosti zatížení tak můžeme odhalit například špatně zadané průřezy konstrukčních prvků nebo špatně propojené konstrukční prvky. Využít můžeme Řezy na 2D a Integrační pásy. Oba tyto nástroje nalezneme v Panel > Výpočet a výsledky.

Integrační pás je užitečný, když potřebujeme znázornit výsledky na části desky jako na nosníku. Pomocí integračního pásu sečteme zvolenou vnitřní sílu na zvolené oblasti desky. Výsledky integračního pásu lze zobrazit přes Akce > Výsledky > 1D vnitřní síly (integrační pás je prutový prvek, ačkoliv zobrazuje výsledky na části plochy). Důležité je při vykreslení ve Vlastnostech aktivovat volbu Integrační pás. Vložíme integrační pás na osu C podle následujících obrázků.



Podobně jako Integrační pás funguje i Integrační dílec, který použijeme, chceme-li na určité oblasti sečíst síly z 1D a 2D prvků.

Pro kontrolu je potřeba vždy zvolit vhodnou metodu ručního výpočtu. Ruční výpočet se bude provádět jinak pro desky lokálně podepřené, jinak pro desky po obvodě podepřené, jinak pro desky pravidelné a nepravidelné. Výklad k této problematice je součástí předmětů základního studia, zejména BK01.

Daná deska je lokálně podepřená, pravidelná, rovnoměrně zatížená. Pro ruční kontrolu momentů můžeme vcelku dobře použít metodu součtových momentů. Pro jedno pole vybraného pásu platí:

$M_{tot} = 1/8*8,1*15,9*8,1^2 = 1056$ kNm

Odhad celkového momentu v podpoře a v poli pro střední pole C34:
$M_{sup} = 0,65\ M_{tot} = 686$ kNm – přijatelně odpovídá hodnotě (799+732)/2 = 765 kNm
$M_{mid} = 0,35\ M_{tot} = 370$ kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 296 kNm

Odhad celkového momentu v podpoře a v poli pro krajní pole C23:
$M_{sup,in} = 0,7\ M_{tot} = 739$ kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 799 kNm
$M_{mid} = 0,5\ M_{tot} = 528$ kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 547 kNm
$M_{sup,out} = ½*8,1*15,9*0,7^2 + 8,1*5,3*0,7 = 62$ kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 95 kNm

Jedná se o hrubou kontrolu proti zjednodušené ruční metodě, nelze tedy očekávat přesnou shodu. Rozdíly do 25 % lze obvykle považovat za vyhovující, ovšem přijatelnou míru odchylky nelze obecně stanovit. Důležité je, že každou odchylku si uživatel musí být schopen logicky odůvodnit. Zde například v programu na prostředním poli vychází menší moment v poli a větší momenty nad podporami vlivem přiléhajících krajních polí desky.

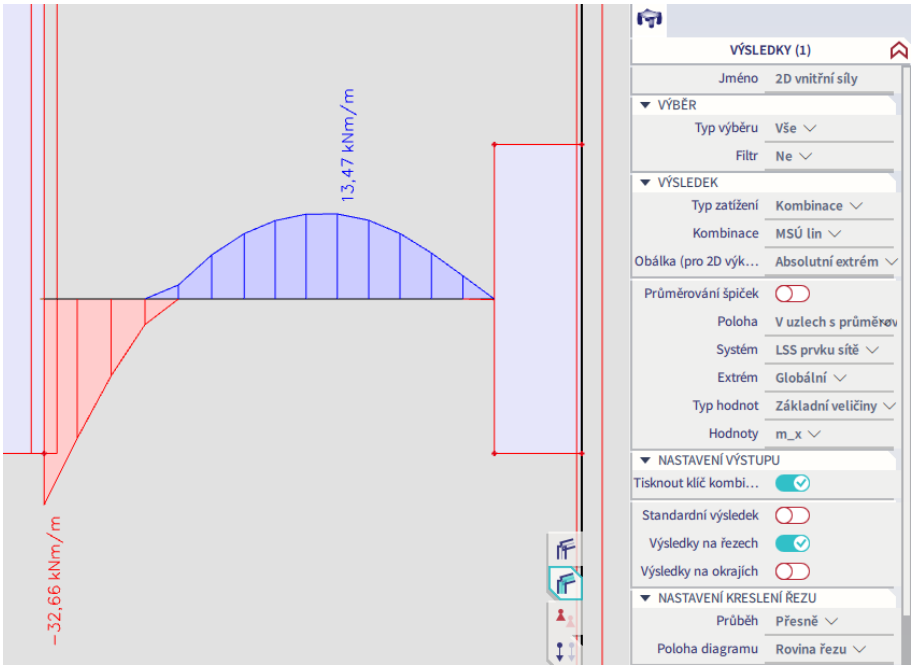
Nástroj Panel > Výpočet a výsledky > Řez na ploše zobrazí momenty v daném liniovém řezu. V zadávacím dialogu lze nastavit směr kreslení výsledků. V našem případě je vhodná volba Rovina plochy. Způsob kreslení lze později změnit v dialogu Vlastnosti po vybrání patřičného řezu. Položka Směr řezu udává směrový vektor, pod kterým bude veden řez. Její správné nastavení je klíčové u 3D konstrukcí. Při nesprávné volbě řez neřeže konstrukci, ale „vzduch“, a proto nevykreslí žádné hodnoty.

Část desky mezi otvory lze idealizovat jako jednostranně vetknutý nosník (vlevo tuhé podepření stěnou, vpravo kloub reprezentující okraj otvoru). Vložíme řez ve směru *x* do úrovně poloviny délky menšího otvoru. Momenty na něm pak lze odhadnout jako:

M_{wall} = 1/8*15,9*4,25^2 = 36 kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 32,66 kNm (zobrazíme přes Akce > Výsledky > 2D Vnitřní síly. Ve Vlastnostech zapneme zobrazení výsledků na řezech a v položce Rovina kreslení vybereme Obrazovka).

M_{mid} = 9/128*15,9*4,25^2 = 20 kNm – přijatelně odpovídá hodnotě 13,5 kNm, jelikož konstrukce ve skutečnosti nepůsobí jednosměrně a část zatížení se přenáší ve druhém směru (je výrazně delší, ale s ohledem na rozložení podpor má nezanedbatelnou tuhost).

M_{otvor} = 0 – odpovídá.



Důležitá poznámka: Zcela správně by si měl uživatel programu nejprve nezaujatě odhadnout výsledky ručním výpočtem, teprve poté provést výpočet programem a zkontrolovat výsledky programu vůči ručnímu odhadu. Výsledky by se neměly výrazně lišit. Pokud se výrazně liší, je nutno nalézt důvod rozdílu, kterým může být jak chyba při zadávání vstupů do programu, tak chyba v ručním výpočtu (numerická nebo metodologická). Každopádně nelze pokračovat v práci, dokud není příčina rozdílu nalezena a opravena. Program musí být pouze nástrojem pro výpočet přesných numerických hodnot. Je velmi nebezpečné provádět v programu výpočty, kterým uživatel nerozumí a neumí je alespoň přibližně ověřit ručním výpočtem.

Výsledky na plochách

S výsledky jsme již bez podrobnějšího výkladu pracovali při kontrole sítě a výpočtu. Kapitoly o kontrolách byly předřazeny, aby byla zdůrazněna jejich důležitost. Nyní se na zobrazování výsledků na plochách podíváme podrobněji.

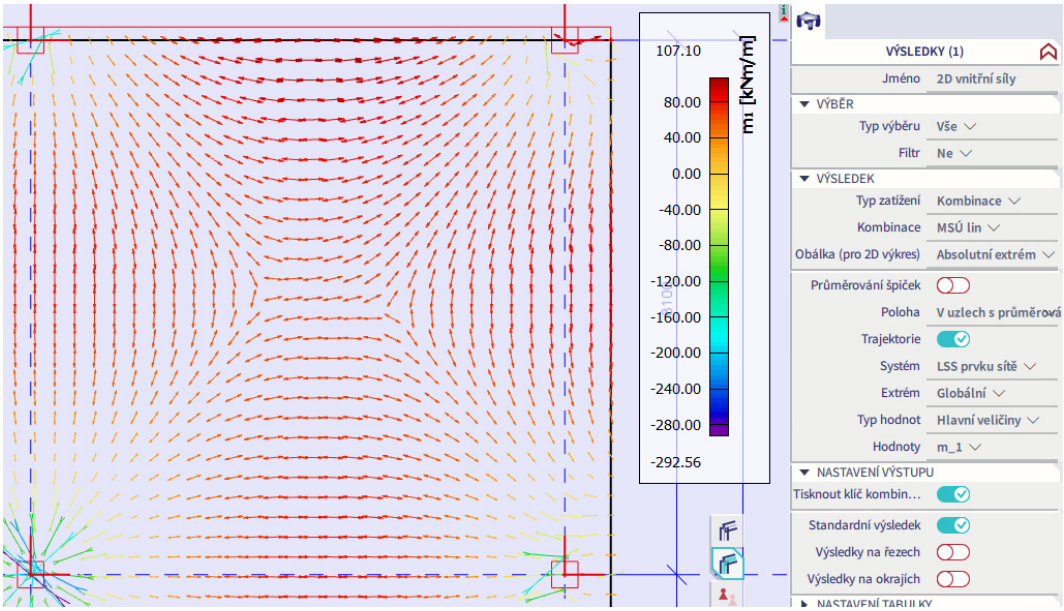
Pro návrh výztuže budeme v dalších kapitolách dokumentu pracovat s modulem Beton. Výsledky získané v tomto modulu jsou však obtížněji kontrolovatelné a jejich vykreslení je časově náročnější (obojí z důvodu složitějšího postupu výpočtu a zohlednění normově závislých nastavení). Proto začneme popisem výsledků získaných přímo z řešiče, které lze zobrazit přes Akce > Výsledky. Tyto výsledky jsou nezávislé na použitém typu materiálu (železobeton, konstrukční ocel, dřevo, hliník…) a použité normě.

Předně je vždy důležité zobrazovat výsledky pro správný Typ zatížení (zatěžovací stav, kombinaci). Dále je nutné správně chápat význam jednotlivých výsledků (vnitřních sil a napětí). V okně Vlastnosti je důležitá volba Typ sil. Zobrazit můžeme základní, hlavní a základní návrhové veličiny.

Akce > Výsledky > 2D vnitřní síly:

- Základní veličiny jsou hodnoty vnitřních sil v systémových osách x a y. Moment m_x je moment podél řezu deskou vedeného rovnoběžně s osou x. Základní veličiny se nejlépe hodí pro ruční kontrolu výsledků (viz předcházející kapitola).
- Hlavní veličiny jsou hodnoty momentů v hlavních osách (tj. v osách, ke kterým je nulová posouvající síla).
  - m_1 – maximální hlavní moment (nejvíce kladný)
  - m_2 – minimální hlavní moment (nejvíce záporný)
  - α_b – úhel směru hlavního momentu m_1 vzhledem k ose x
  - mtmax_b – maximální krouticí moment
  - qmax_b – maximální smyková síla, tj. $\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
  - β_b – úhel směru maximální smykové síly vzhledem k ose x
  - n_1, n_2, α_m, qmax_m – složky týkající se hlavních membránových sil.

  Aktivováním volby Trajektorie v okně Vlastnosti je možné zobrazit směr hlavních veličin. Obvykle navrhujeme ortogonální výztuž, ale v některých specifických detailech se může hodit znát směry hlavních vnitřních sil.



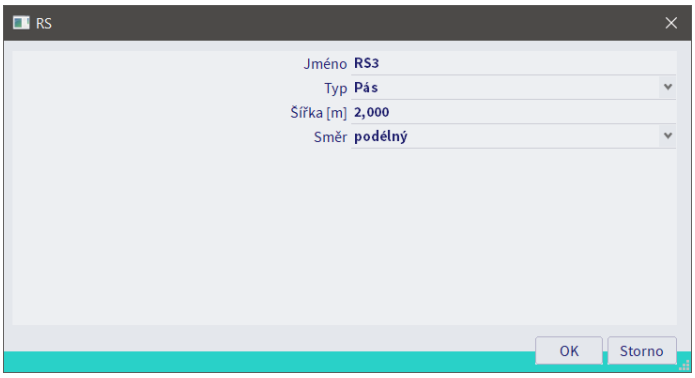
- Základní návrhové veličiny jsou hodnoty ohybových momentů ve směrech *x* a *y*, které zahrnují i vliv krouticích momentů podle postupu uvedeného v EC2, který je založen na metodě Wood-Armer (více viz zde). Hodí se pro ruční návrh výztuže ŽB desky (tzn. pokud chceme z programu převzít pouze vnitřní síly a dále navrhovat výztuž ručně). Znaménka +/- označují momenty na kladném a záporném povrchu plochy ve smyslu osy *z* kolmé na povrch plochy. Rozdíl mezi hodnotami +/- je dán vlivem krouticích momentů.
  - m_xD+ – návrhový moment ve směru *x* na kladném povrchu
  - m_xD- – návrhový moment ve směru *x* na záporném povrchu
  - m_yD+ – návrhový moment ve směru *y* na kladném povrchu
  - m_yD- – návrhový moment ve směru *y* na záporném povrchu
  - m_cD+ – návrhový moment v betonu na kladném povrchu. Pro návrh výztuže tato hodnota nemá žádný význam, v přehledu výsledků je uvedena jen pro úplnost, aby bylo možné zobrazit všechny výsledky řešiče.
  - m_cD- – návrhový moment v betonu na záporném povrchu, viz předchozí
  - n jsou návrhové normálové síly (uplatní se u stěn)

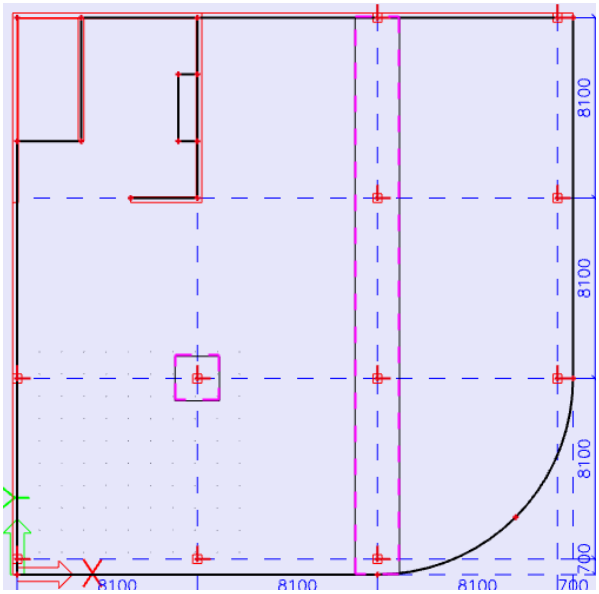
Akce > Výsledky > 2D deformace > 2D napětí/přetvoření:

- Předně je nutno upozornit, že zobrazovaná napětí jsou vypočtena podle teorie pružnosti. Jsou stanovena za předpokladu plného působení prvků v tahu a pro betonové konstrukce je tedy jejich použití omezené. Po vzniku trhlin je nelze považovat za skutečná napětí v konstrukci, lze je však využít například při tvorbě příhradových modelů.
- Základní napětí jsou hodnoty normálových a smykových napětí v systémových osách *x* a *y* na kladném a záporném povrchu plochy ve smyslu osy *z*.
- Hlavní napětí jsou hodnoty napětí v hlavních osách:
  - σ_1+ – maximální hlavní napětí na kladném povrchu
  - σ_2+ – minimální hlavní napětí na kladném povrchu
  - α_+ – úhel mezi směrem sig1+ a osou x
  - σ_E+ – ekvivalentní (von Misesovo) napětí na kladném povrchu
  - σ_1– – maximální hlavní napětí na záporném povrchu
  - σ_2– – minimální hlavní napětí na záporném povrchu
  - α_a– – úhel mezi směrem sig1- a osou x
  - σ_E– – ekvivalentní (von Misesovo) napětí na záporném povrchu
  - τ_max,b – maximální příčné smykové napětí ve střednicové ploše, tj. $\sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2}$
- Membránová napětí jsou hodnoty napětí na membránových prvcích (prvcích s nulovou ohybovou tuhostí a nulovou normálovou tuhostí v tlaku).
- Základní a hlavní celková a plastická přetvoření jsou definována analogicky k napětím.

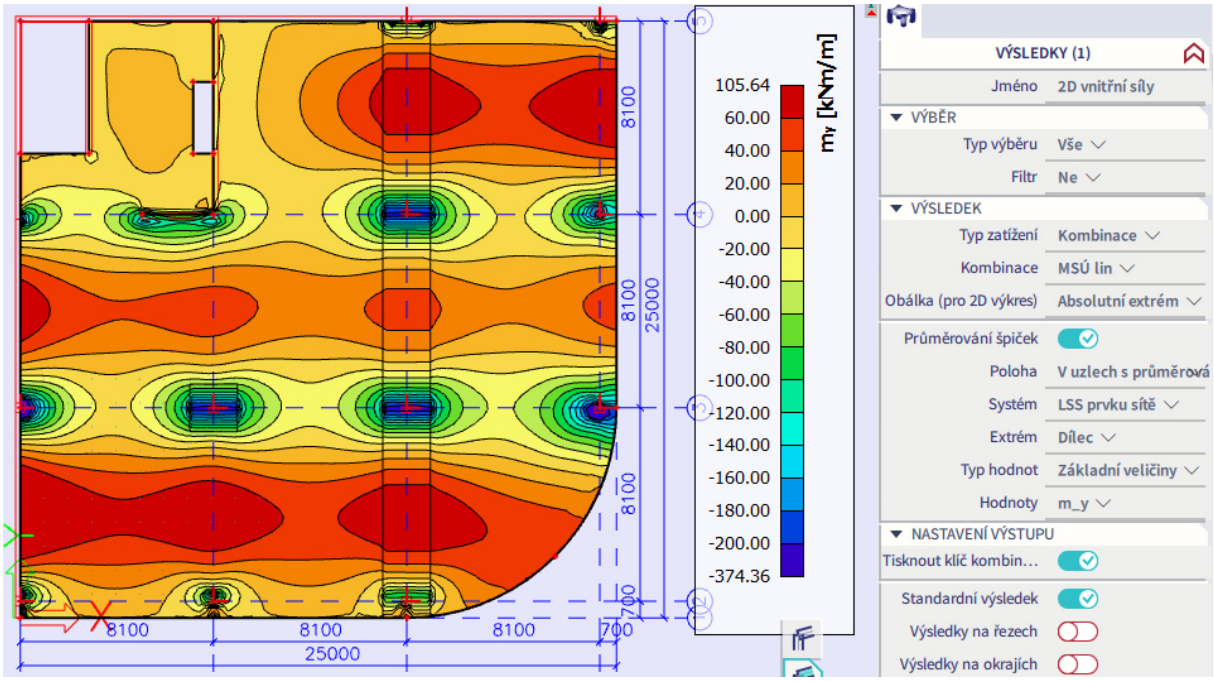
Většinu možností zobrazení výsledků (řezy, integrační pásy, nastavení zobrazení…) jsme již viděli při provádění kontroly výpočtu. Nyní si přiblížíme tzv. průměrovací pásy, které najdeme v Panel > Výpočet a výsledky > Průměrovací pás. Na rozdíl od integračního pásu, který sumarizuje zvolenou vnitřní sílu na zadané šířce plochy, průměrovací pás zobrazí průměrnou hodnotu vnitřní síly v zadané šířce plochy. Zacházení s průměrovacím pásem se od pásu integračního v některých věcech liší. Nelze jej kopírovat ani přesouvat a do průměrování jsou zahrnuty pouze ty uzly sítě, které leží uvnitř pásu. Šířku průměrovacího pásu je tedy nutno volit s ohledem na síť MKP.

Můžeme použít dva Typy průměrování – Pás nebo Bod. První volbu využijeme při zobrazování momentů na určitém pruhu desky, druhou při průměrování špiček momentů v místě bodové podpory. Pro ukázku zadáme oba typy na různé části konstrukce. Šířky jsou zde voleny náhodně pouze pro ukázku funkce, stanovení šířek pro řešenou konstrukci bude probráno později.





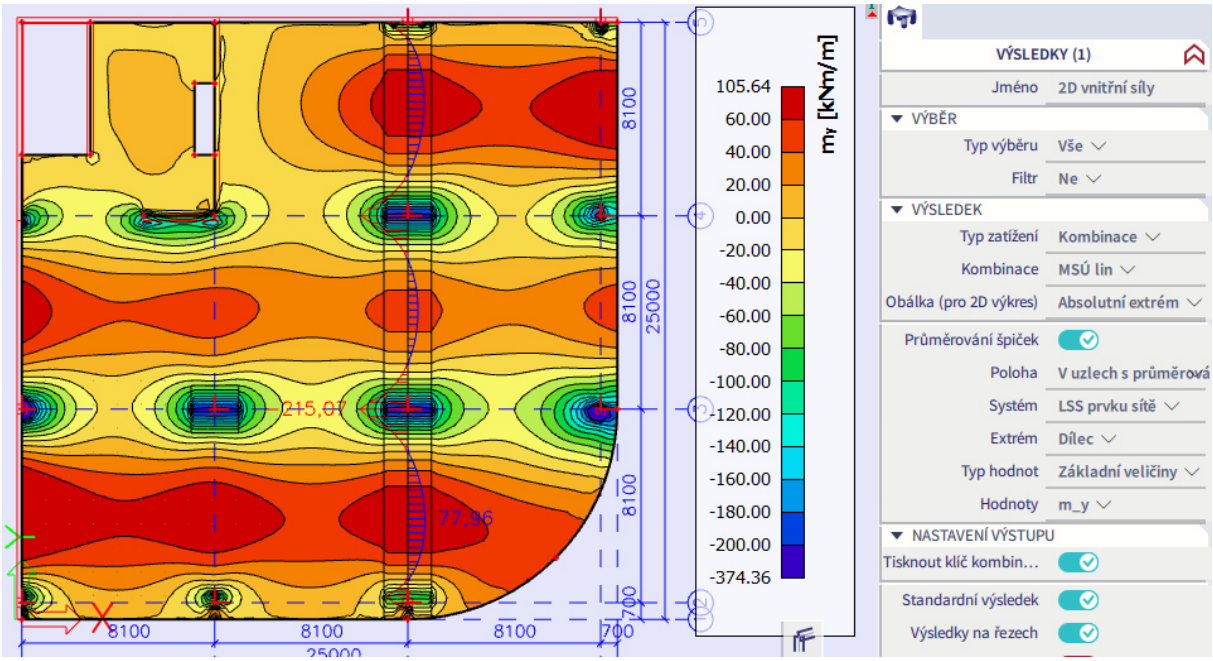
Pro zobrazení zprůměrovaných výsledků je nutné ve Vlastnostech zapnout volbu Průměrování špiček, jinak se průměrovací pásy ve vykreslení nezohlední.



Při zadávání průměrovacího pásu je důležitá volba Směr. Upřesňuje směr, ve kterém má být zprůměrování počítáno.

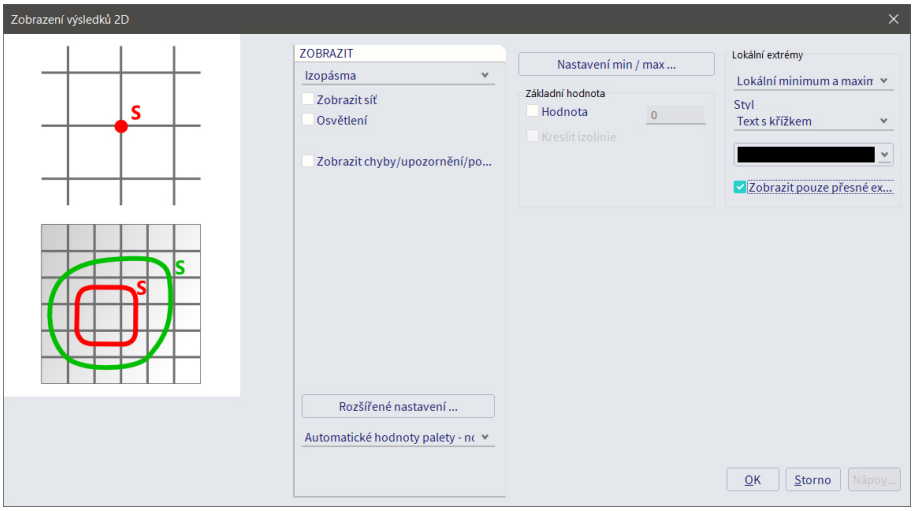
- Podélný – průměrování je prováděno podél definovaného pásu. Můžeme si představit, že pás představuje prut a my chceme vyrovnat hodnotu dané vnitřní síly na šířce prutu.
- Kolmý – průměrování je prováděno ve směru, který je kolmý k délce pásu. Tato možnost je pouze pro speciální případy, běžně se nepoužívá.
- Oba – průměrování je prováděno v obou směrech. Tato možnost se používá pro průměrovací body, umožňuje průměrování v obou směrech
- Žádný – není prováděno žádné zprůměrování. Tato možnost může být užitečná, jestliže jeden (nebo několik) definovaných pásů má být dočasně ignorováno a ostatní pásy mají být nadále využívány.

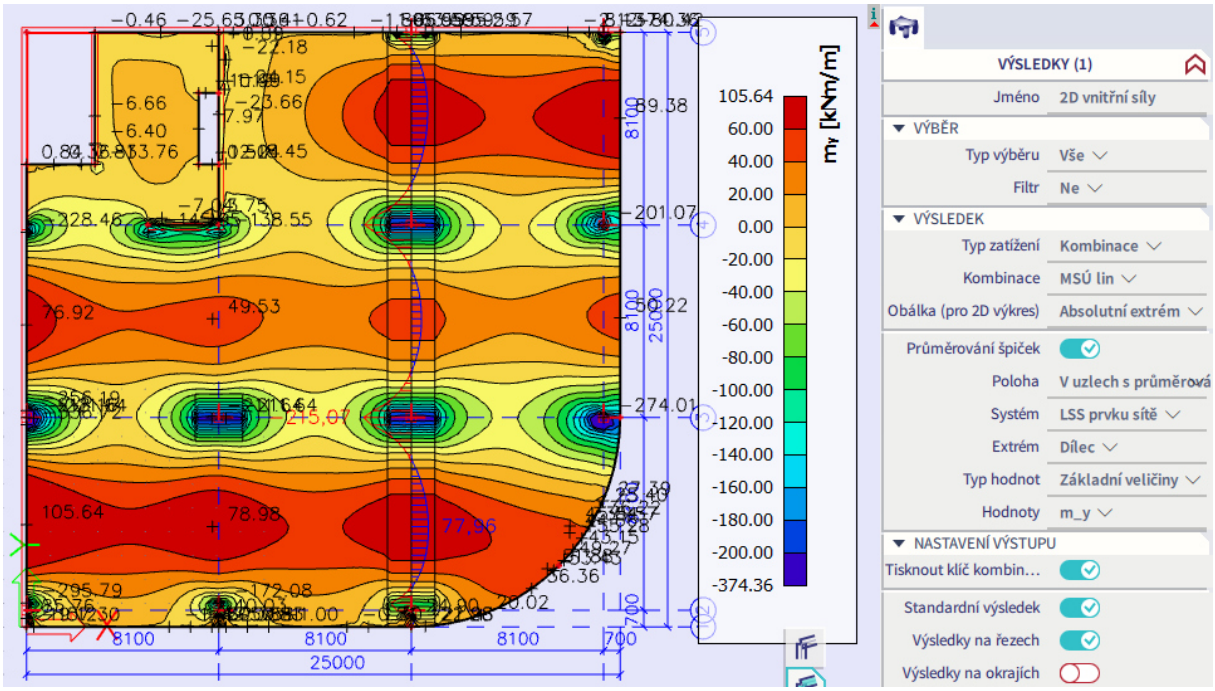
Praktická je kombinace pásu s řezem na ploše, který ukáže přesné hodnoty vnitřních sil po délce pásu.



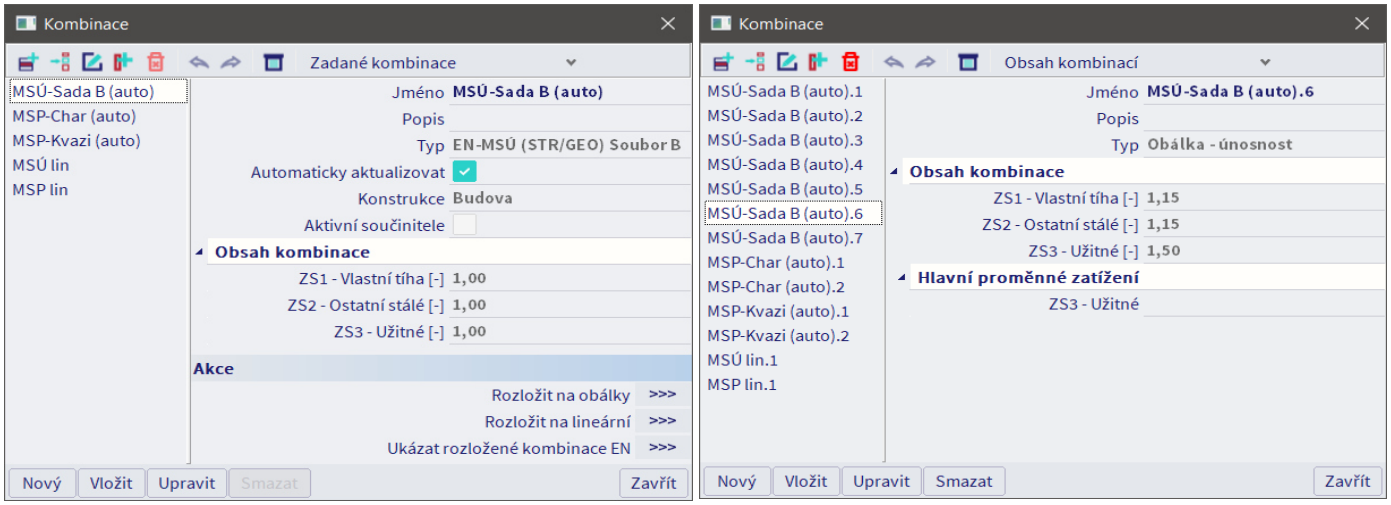
Pro vykreslování řezů si povšimneme možností v sekci Nastavení kreslení 1D. Přes volbu Zobrazit řez dx lze vypsat staničení jednotlivých hodnot. Přes volbu Zobrazit jméno kombinace nebo Zobrazit kombinační klíč lze zjistit, ze kterých kombinací a kombinačních klíčů jednotlivé hodnoty pocházejí.

Polohu extrémních hodnot momentů na ploše lze zobrazit přes volbu Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D, volba Lokální extrémy.

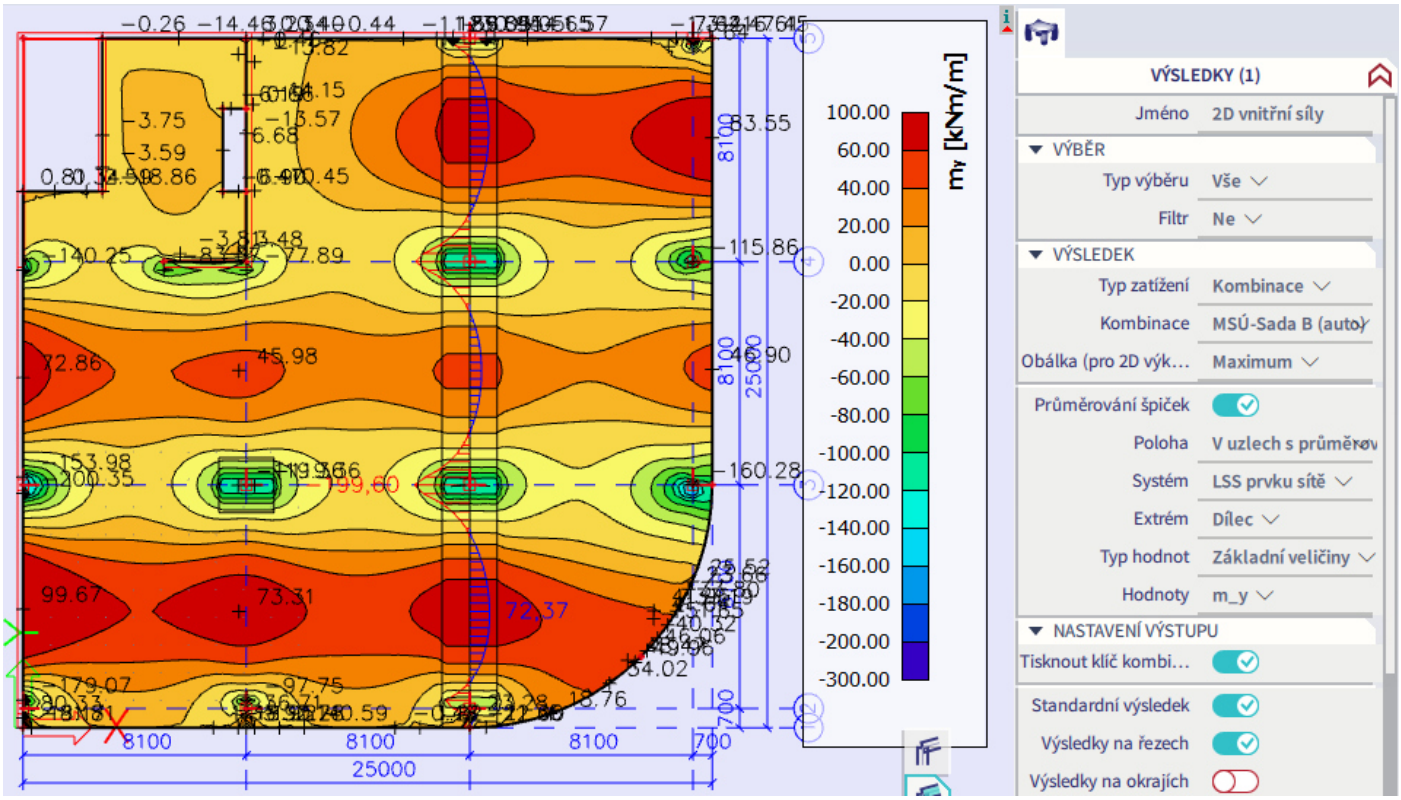


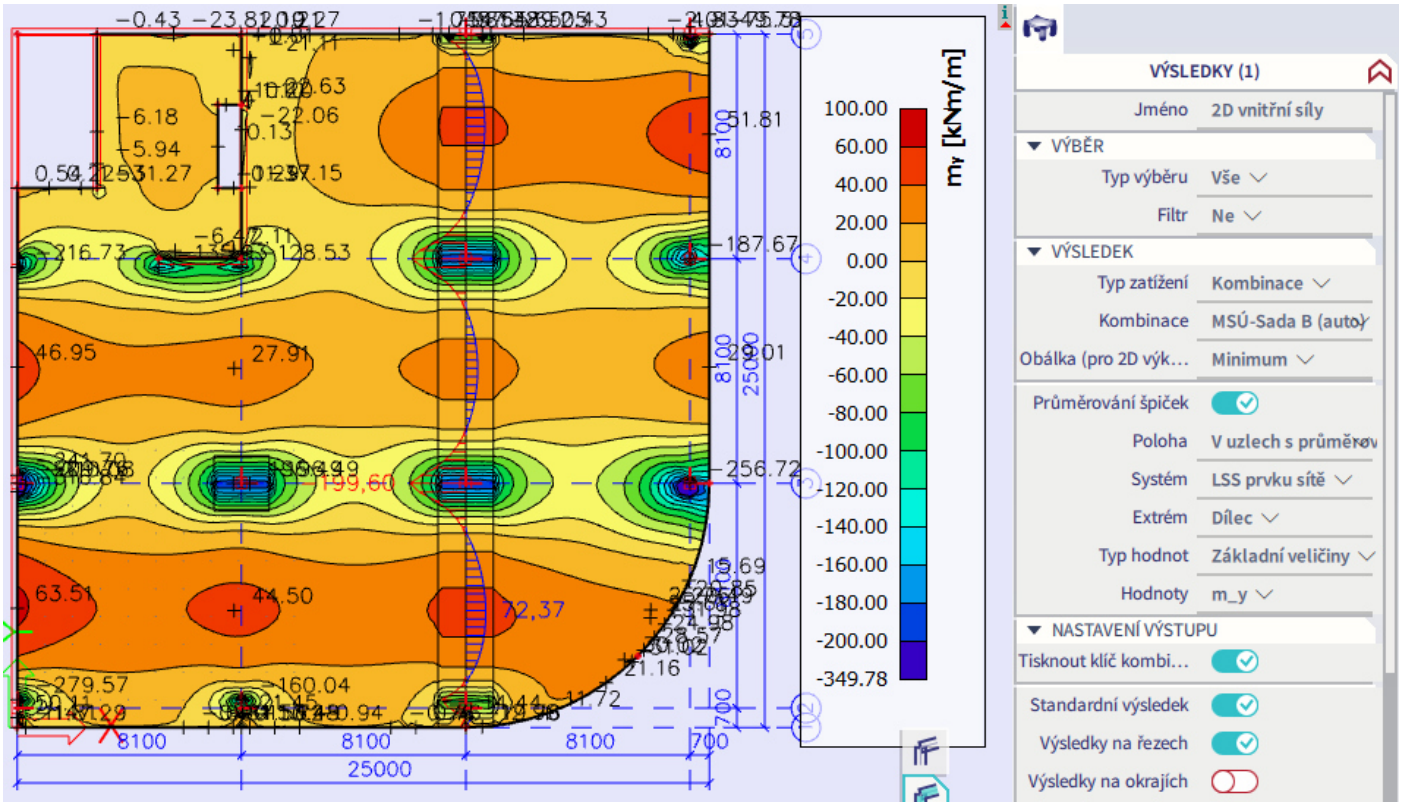


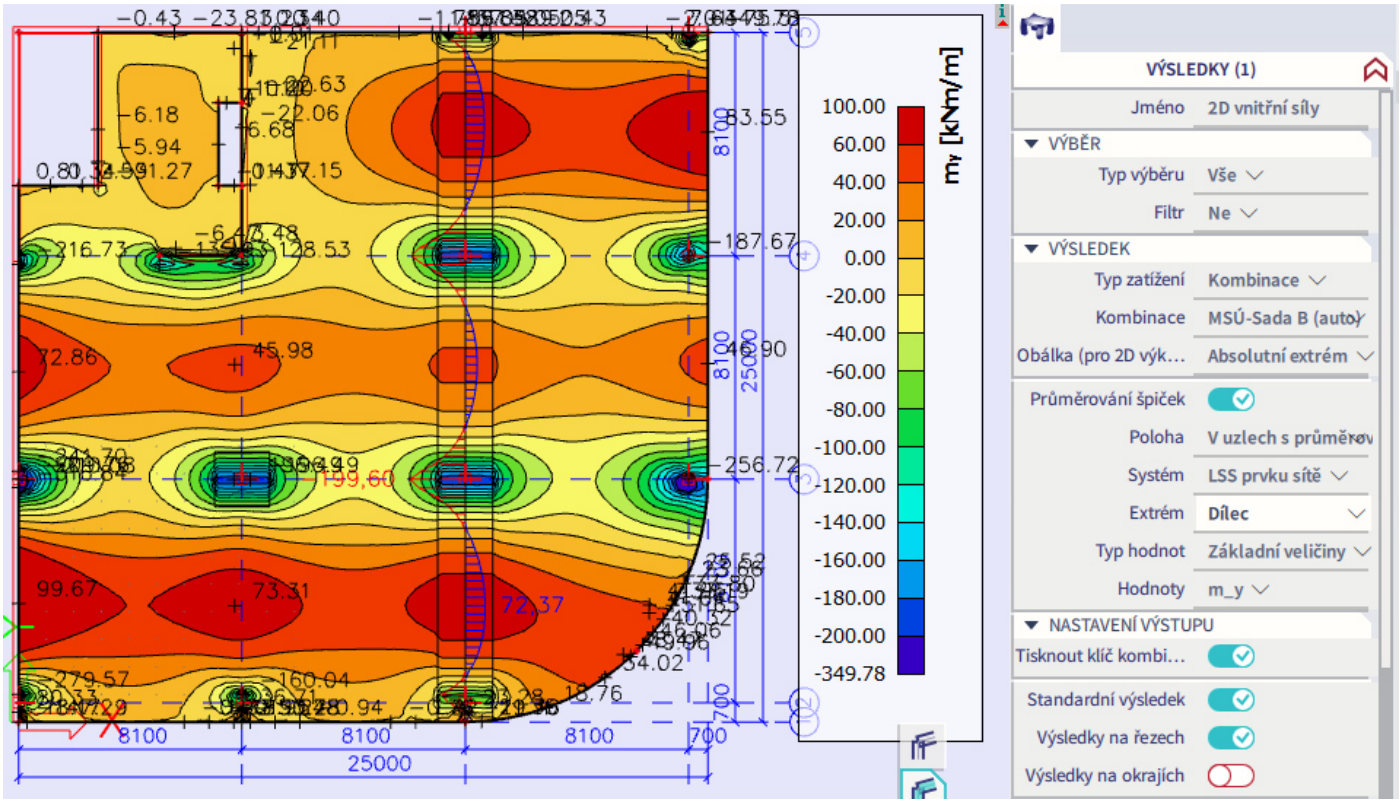
V Kombinacích jsou automaticky vytvořeny normové kombinace, které budeme později používat pro návrh výztuže. Obsah normové kombinace (jednotlivé automaticky vygenerované kombinační klíče) můžeme projít, když v Akce > Zatížení > Kombinace v horním rozbalovacím seznamu vybereme Obsah kombinací.



Na normové kombinaci si vysvětlíme volbu Obálka v okně Vlastnosti pro Výsledky. Volba Obálka = Maximum vykreslí v každém uzlu sítě hodnotu, která je nejblíže k $+\infty$ ze všech hodnot dosažených v daném uzlu v jednotlivých kombinačních klíčích dané kombinace. Volba Minimum pak vykreslí hodnotu nejbližší k $-\infty$. Volba Absolutní extrém zobrazuje v každém bodě v absolutní hodnotě nejvyšší hodnotu (tj. nejvyšší kladnou nebo nejvyšší zápornou). Pozor, řezy vždy zobrazují absolutní extrémy, jelikož umí v jednom bodě vykreslit největší kladnou i zápornou hodnotu.


m_y [kNm/m]
100.00
60.00
40.00
20.00
0.00
-20.00
-40.00
-60.00
-80.00
-100.00
-120.00
-140.00
-160.00
-180.00
-200.00
-300.00
8100
8100
8100
700
25000
VÝSLEDKY (1)
Jméno 2D vnitřní síly
VÝBĚR
Typ výběru Vše
Filtr Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení Kombinace
Kombinace MSÚ-Sada B (auto)
Obálka (pro 2D výk... Maximum
Průměrování špiček
Poloha V uzlech s průměrov
Systém LSS prvku sítě
Extrém Dílec
Typ hodnot Základní veličiny
Hodnoty m_y
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Tisknout klíč kombi...
Standardní výsledek
Výsledky na řezech
Výsledky na okrajích

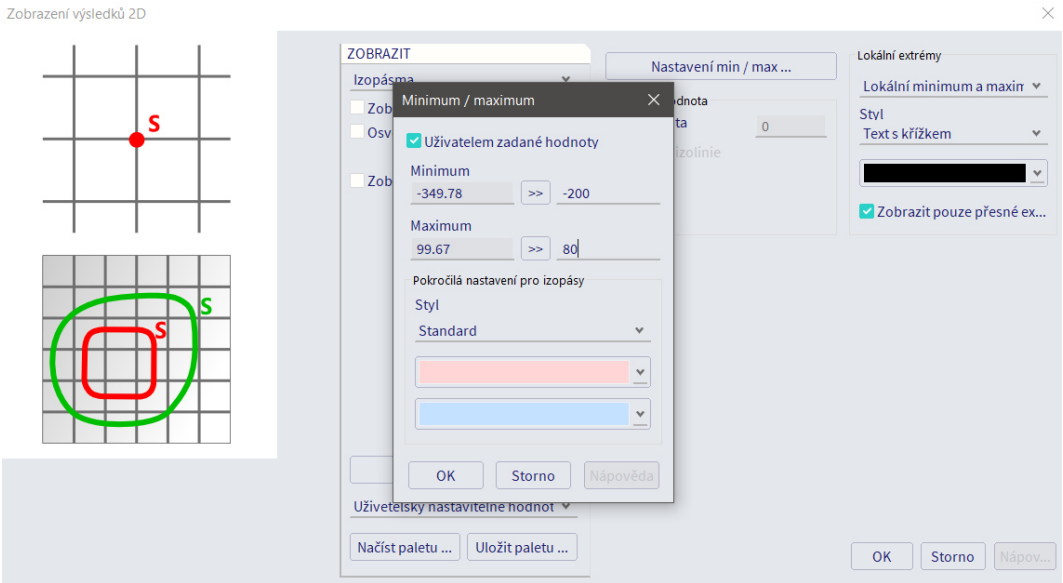

m_y [kNm/m]
100.00
60.00
40.00
20.00
0.00
-20.00
-40.00
-60.00
-80.00
-100.00
-120.00
-140.00
-160.00
-180.00
-200.00
-349.78
8100
8100
8100
700
25000
VÝSLEDKY (1)
Jméno 2D vnitřní síly
VÝBĚR
Typ výběru Vše
Filtr Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení Kombinace
Kombinace MSÚ-Sada B (auto)
Obálka (pro 2D výk... Minimum
Průměrování špiček
Poloha V uzlech s průměrov
Systém LSS prvku sítě
Extrém Dílec
Typ hodnot Základní veličiny
Hodnoty m_y
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Tisknout klíč kombi...
Standardní výsledek
Výsledky na řezech
Výsledky na okrajích



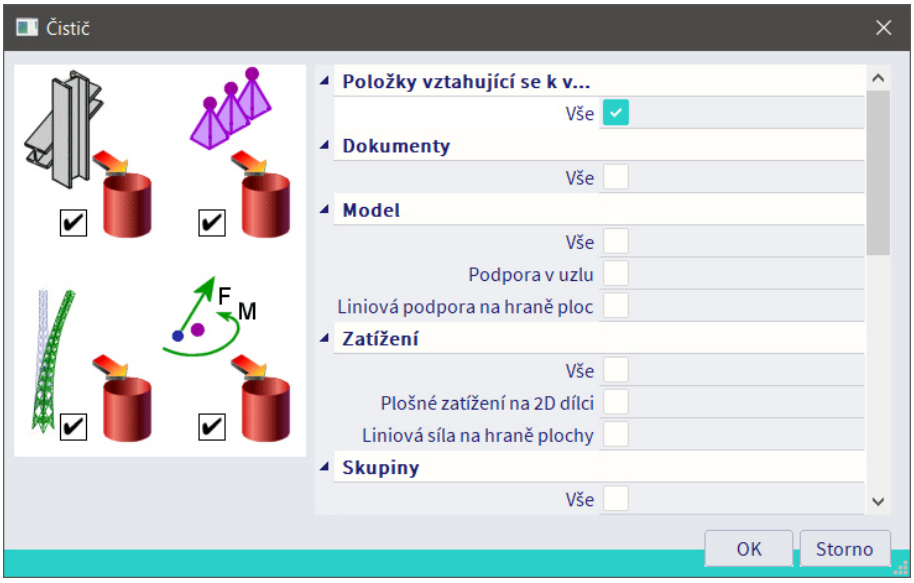
Při použití obálkové kombinace je obecně nutno zkontrolovat minimální i maximální obálku, abychom v každém místě konstrukce navrhli výztuž na všechny možné extrémy vnitřních sil. Pokud například máme na konstrukci zadána svislá i vodorovná zatížení, v některém kombinačním klíči může vyjít minimální moment na opačné straně než maximální moment, takže je potřeba navrhnout výztuž na obou površích (např. momenty od větru v rámovém rohu). Obecně tedy nestačí kontrolovat pouze Absolutní extrém, byť v našem příkladu je to dostačující.

Poznámka: Po zadání nové kombinace do již spočteného modelu není nutno přepočítávat výsledky. Výpočet se provádí pro zatěžovací stavy. Výsledky pro lineární kombinace jsou součtem výsledků zatěžovacích stavů přenásobených patřičnými součiniteli.

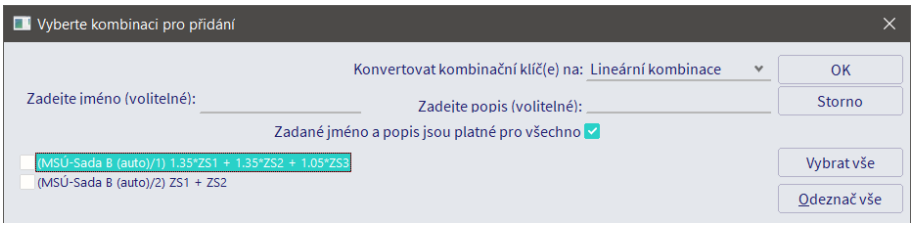
Poznámka: Při vykreslování může být vhodné omezit paletu tak, aby nebyla zkreslena extrémními hodnotami v singularitách. To lze provést přes okno Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D > Nastavení min/max > Uživatelem zadané hodnoty.



Poznámka: Pokud se práce s modelem po opakovaném přepočítávání stane nepříjemně pomalou (stává se hlavně při složitějších a opakovaných výpočtech, kdy se ukládají zbytky starých výsledků), může pomoci vyčištění starých výpočetních dat přes Akce > Konstrukce > Čistič a nové spuštění výpočtu.



Poznámka: Pokud při práci s obálkovou kombinací vytipujeme jeden kombinační klíč, se kterým chceme podrobněji pracovat, můžeme z něj vytvořit samostatnou kombinaci přes Vlastnosti > Nová kombinace z kombinačního klíče.



Poznámka: Kliknutím na Vlastnosti > Tabulkové výsledky lze zobrazit hodnoty zobrazených výsledků i v tabulkové podobě a v případě potřeby je vyexportovat do Excelu. Rozsah tabulky odpovídá nastavení ve Vlastnostech. Pokud zobrazuji Standardní výsledek s Globálními extrémy, vypíší se pouze body s extrémními hodnotami vnitřních sil na desce. Pokud zvolíme Extrém = Síť, vypíší se hodnoty ve všech bodech sítě. Podobně mohu zobrazit také hodnoty pro Řez. Tabulkové výsledky však zatím nejsou dostupné v novém uživatelském prostředí. Pro jejich použití je nutno otevřít projekt v Legacy verzi.

Tabulkové výsledky

2D vnitřní síly; Lineární výpočet; Kombinace: MSÚ-Sada B (auto); Extrém: Dílec; Výběr: Vše; Poloha: V uzlech s pr

	Jméno	Síť	x [m]	y [m]	z [m]	Stav	mx [kNm/...	my [kNm/...	mxy [kNm/...	vx [kN/m]	vy [kN/m]	nx [kN/...	ny [kN/...	nxy [kN/...
1	S1	Uzel: 24	0,000	8,800	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	**-486,76**	-209,76	62,72	**1709,70**	-5,06	0,00	0,00	0,00
2	S1	Uzel: 263	20,700	25,000	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	**100,97**	-0,59	2,73	-7,95	-7,27	**0,00**	**0,00**	**0,00**
3	S1	Uzel: 81	0,000	4,300	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-0,59	**99,67**	2,18	7,32	6,46	0,00	0,00	0,00
4	S1	Uzel: 4	0,000	16,900	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-168,68	-173,05	**137,77**	599,92	-92,70	0,00	0,00	0,00
5	S1	Uzel: 9	25,000	25,000	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-148,99	-75,51	-62,05	**-1816,20**	-1125,57	0,00	0,00	0,00
6	S1	Uzel: 27	24,300	25,000	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-61,29	**-349,78**	**-248,67**	-108,44	**-1212,20**	0,00	0,00	0,00
7	S1	Uzel: 5	0,000	0,000	0,000	MSÚ-Sada B (auto)/1	-74,78	-147,29	-61,91	1115,76	**1794,71**	0,00	0,00	0,00

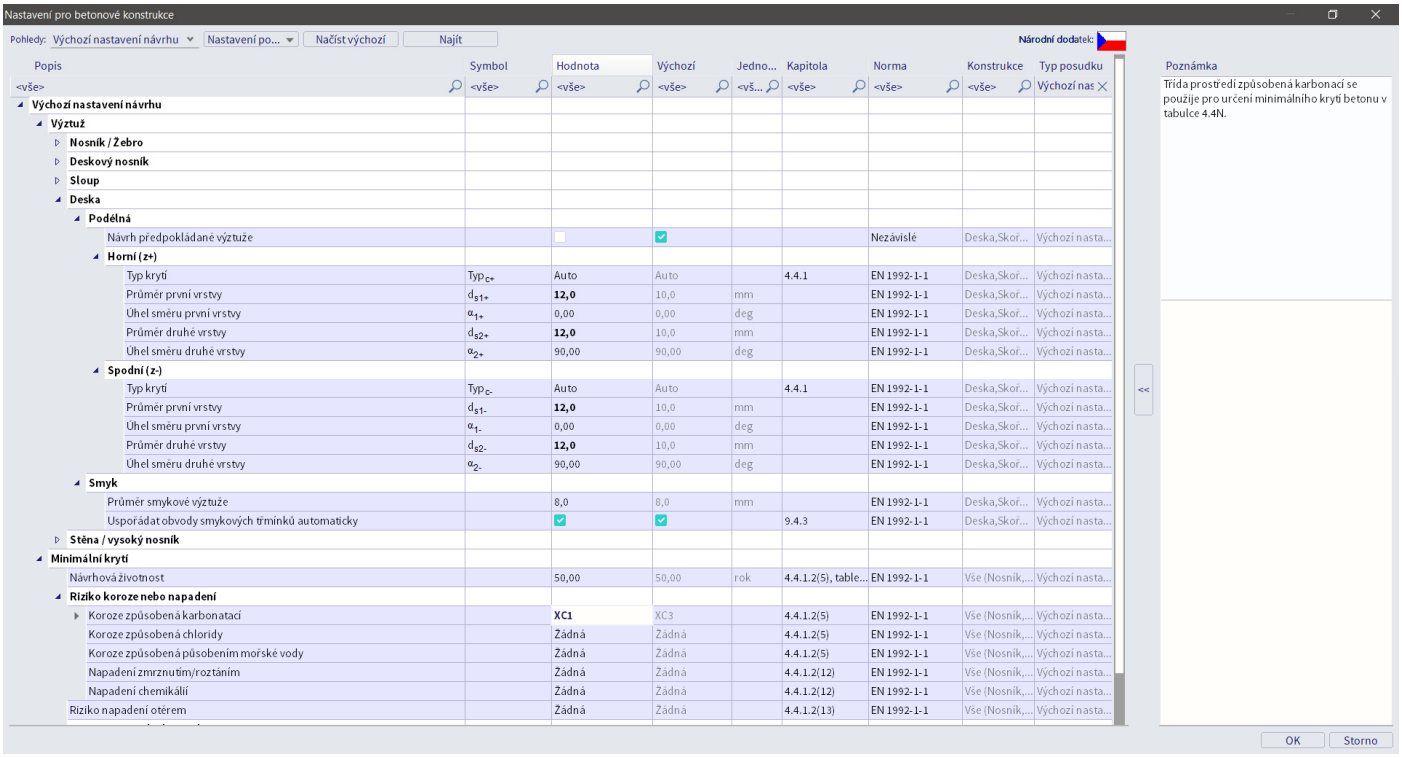
Nastavení pro návrh výztuže

Pro návrh výztuže v programu slouží modul Akce > Beton. Před samotným návrhem je potřeba provést jeho nastavení. Základní definici parametrů pro výpočet vnitřních sil pomocí metody konečných prvků jsme provedli přes Nastavení řešiče.

K nastavení parametrů pro návrh výztuže v konstrukci slouží volba Akce > Beton > Nastavení pro betonové konstrukce. Rozbalíme okno nápovědy, které vysvětluje význam aktuálně zvoleného řádku. U každého řádku je uvedeno, k jakému typu prvků (nosník, sloup, deska…) se vztahuje a v jaké kapitole normy ČSN EN 1992-1-1 lze najít podrobnosti. Postupně projdeme a upravíme nastavení v jednotlivých Pohledech. Základní nastavení měníme pouze tehdy, pokud to je skutečně potřeba a hlavně pokud chápeme důsledky prováděné změny!!!

Pohled Výchozí nastavení návrhu slouží pro nastavení výchozích parametrů výztuže uvažovaných při návrhu – profilů výztuže, postupu výpočtu krytí a úhlu výztuže vzhledem k základním osám. Je možno zadat šablonu předpokládané výztuže, kde se definují i rozteče profilů. Tuto možnost v rámci kurzu nebudeme využívat. Při dále popsaném postupu práce by totiž po zadání uživatelské výztuže do modelu při návrhu docházelo k duplikování ploch předpokládané výztuže ze šablony a zadané uživatelské výztuže.

Zrušíme zaškrtnutí volby Návrh předpokládané výztuže, aby nebyly využity šablony. Nastavíme u desky základní profil výztuže 12 mm v obou směrech a na obou površích. Stupeň agresivity prostředí upravíme na XC1 (řešena je vnitřní stropní deska).



V pohledu Vnitřní síly definujeme, které vnitřní síly se mají uvažovat pro návrh jednotlivých typů prvků a jakým způsobem mají být pro návrh upraveny výsledky z MKP výpočtu. Změníme výchozí nastavení u následujících položek:

- Redukce smykové síly nad podporami = Ano, V líci podpory + účinná výška nosníku. V dalším postupu řešení úlohy zadáme do konstrukce žebra, na kterých budeme navrhovat smykovou výztuž. Tato žebra budou přímo podepřená, takže na nich budeme chtít smykovou sílu redukovat na hodnotu *d* za lícem podpory.

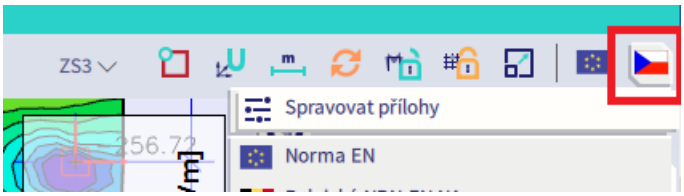
- Redukce momentu nad podporami = Ano. Máme monolitickou stropní konstrukci provázanou s monolitickými sloupy, po zadání žeber tedy budeme chtít redukovat momenty na žebrech na líc podpory.

V pohledu Nastavení podle normy změníme výchozí nastavení u následujících položek:

- 7. MSP > 7.1 Všeobecně > Použít efektivní moduly průřezu = Ano. Chceme zohlednit dlouhodobé chování betonu v analýze šířky trhlin a při výpočtu tuhostí.
- 8. Konstrukční uspořádání výztuže > 8.2 Vzdálenost prutů > Minimální vzdálenost vložek pro desky $s_{lp,min}$ = 50 mm.

K dispozici je ještě volba Akce > Beton > Data pro betonové plochy. Pomocí této volby lze v případě potřeby pro vybrané desky změnit globální nastavení platná pro celou konstrukci. Dané desce je pak přiřazena vlastní sada dat, která je nadřazena globálnímu nastavení.

Poznámka: Kliknutím na ikonku české vlajky ve Stavovém řádku a zvolením položky Spravovat přílohy lze zobrazit Správce normových dodatků, kde jsou uvedeny hodnoty normových součinitelů použitých pro výpočet. V této tabulce zásadně nic neměníme, ale někdy může být dobré mít možnost se do ní podívat.



Návrh podélné výztuže desky na MSÚ

Nabídka Akce > Beton > Návrh výztuže 2D > Vnitřní síly pro železobeton 2D slouží k zobrazení vnitřních sil pro návrh výztuže. Tyto vnitřní síly jsou spočteny podle Baumannovy teorie a mohou se lišit od návrhových vnitřních sil vypočítaných v Akce > Výsledky. Tyto rozdíly mohou být způsobeny:

- Jinými použitými výpočetními vztahy. V akci Výsledky se návrhové vnitřní síly počítají podle teorie Wood-Armer, v akci Beton podle Baumannovy teorie.
- Pro tlačené dílce (sloupy) zohledněním excentricit způsobených imperfekcemi a excentricity druhého řádu.
- Pro nosníky a desky zohledněním přídavných tahových sil od smyku a kroucení (posun ohybových momentů), popř. redukcemi v podporách.

Důležitá je volba Typ hodnot v nabídce Vlastnosti:

- Návrhové – hodnoty návrhových vnitřních sil. Jedná se o základní síly přepočtené do směrů výztuže na jednotlivých površích. Postup výpočtu je vysvětlen zde.
- Základní – hodnoty vnitřních sil v základních směrech *x* a *y*.

Vysvětlení významu indexů pro návrhové vnitřní síly:

- Význam 1. a 2. návrhového směru záleží na volbě v Akce > Beton > Nastavení pro betonové konstrukce > Výchozí nastavení návrhu > Deska > Úhel. Při výchozím nastavení 1. směr odpovídá směru osy *x*, 2. směr pak směru osy *y*.
- Hodnoty +/- jsou hodnoty pro kladný a záporný povrch desky ve směru osy *z*.
- Vnitřní síly s indexem *c* jsou síly, které by teoreticky mohly být převzaty betonem. Pro návrh výztuže nemají praktický význam, v přehledu výsledků jsou uvedeny pro úplnost.

Ruční návrh podélné výztuže

Pokud bychom pro návrh podélné výztuže z nějakého důvodu nechtěli použít dále prezentované nástroje modulu Beton (navrhujeme ručně, v Excelu, s využitím programu Fine aj.), můžeme z programu převzít pouze návrhové momenty a na ně navrhnout ručně plochy výztuže a skutečné vyztužení. Momenty můžeme upravit pomocí průměrovacích pásů, vložit vhodné řezy, vypsat tabulkové výsledky, vyexportovat je do Excelu a tam s nimi dále pracovat.

Pro ruční návrh výztuže desky je vhodné použít **základní návrhové momenty z Akce > Výsledky > 2D Vnitřní síly**. Tyto návrhové momenty přímo v sobě zahrnují i vliv krouticích momentů podle metody Wood-Armer (více viz zde), takže je možno přímo na ně navrhnout podélnou výztuž desky.

Návrhové momenty z modulu Beton spočtené podle Baumannovy teorie (viz zde) vliv krouticích momentů neobsahují. Kroucení je zohledněno v návrhových normálových silách. Program navrhuje plochy výztuže na kombinaci momentu a normálové síly. Ruční návrh by musel rovněž zohlednit obě veličiny, a proto se tyto vnitřní síly pro ruční návrh nehodí (viz příklad dále).

Stanovení potřebných ploch výztuže v programu

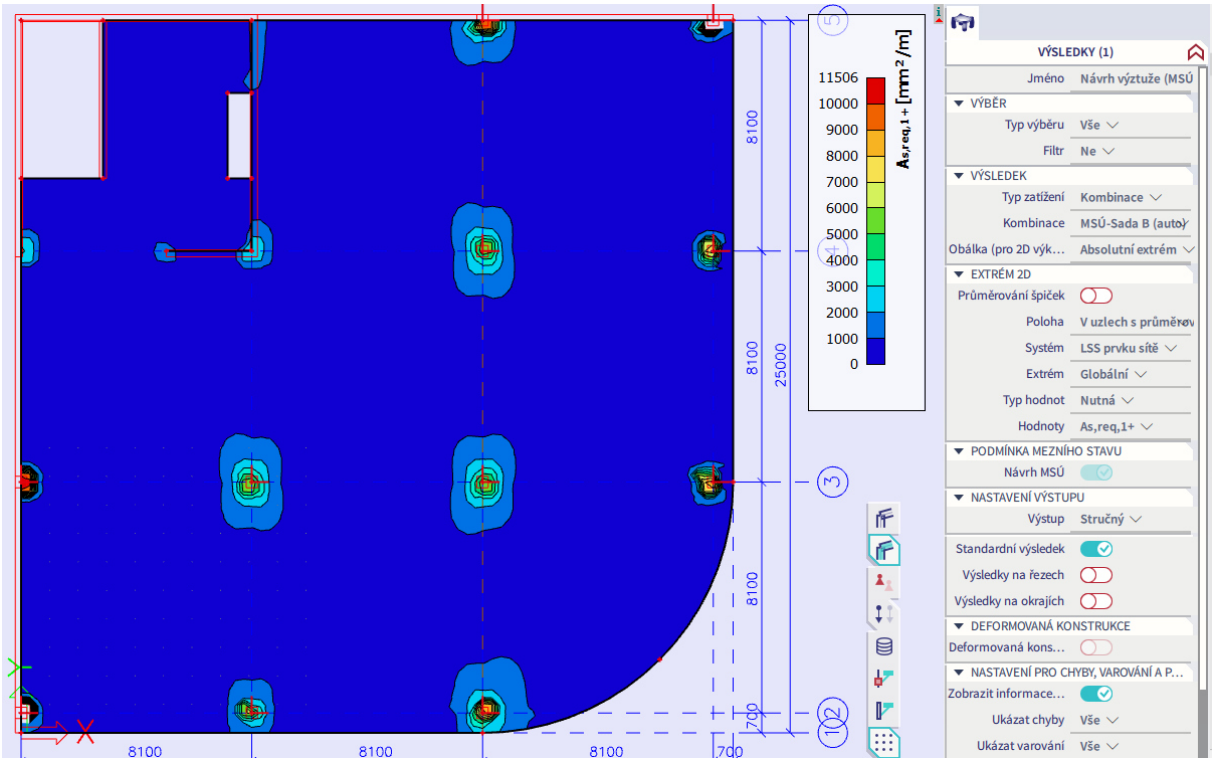
Potřebné plochy výztuže v desce lze zobrazit přes funkci Akce > Beton > Návrh výztuže 2D podle MSÚ a MSP:

- As,req,1- – nutná plocha výztuže v 1. směru na záporném povrchu ve smyslu osy *z*
- As,req,2- – nutná plocha výztuže v 2. směru na záporném povrchu ve smyslu osy *z*
- As,req,1+ – nutná plocha výztuže v 1. směru na kladném povrchu ve smyslu osy *z*
- As,req,2+ – nutná plocha výztuže v 2. směru na kladném povrchu ve smyslu osy *z*
- As,sw,req – nutná plocha smykové výztuže

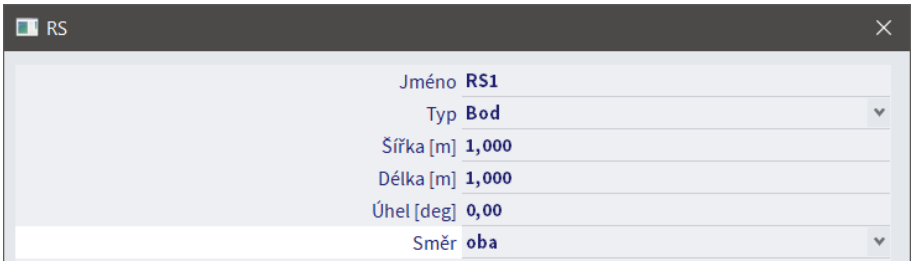
Důležitá je volba Typ hodnot ve Vlastnostech. Tato volba má následující možnosti:

- Nutná – celková nutná plocha výztuže včetně uvažování konstrukčních zásad (základní volba)
- Nutná (staticky) – celková plocha staticky nutné výztuže (bez uvažování konstrukčních zásad)
- Předpokládaná & Uživatelská – součet plochy předpokládané výztuže definované pomocí šablony ve Nastavení pro betonové konstrukce a plochy uživatelské výztuže zadané do konstrukce. Uživatelská výztuž je zahrnuta jen v případě, kdy je ve Vlastnostech zaškrtnuta volba Uvažovat uživatelskou výztuž.
- Nutná (přídavná) – rozdíl „Nutná“ – „Předpokládaná & Uživatelská“, tj. plocha potřebných příložek.
- *Poznámka:* V tomto příkladu je pro přehlednost použit postup, kdy není definována žádná předpokládaná výztuž pomocí šablony a veškerá navržená výztuž je zadávána do konstrukce jako výztuž uživatelská. Možné jsou i jiné přístupy, například zadat základní síť výztuže jako předpokládanou výztuž pomocí šablony a příložky formou uživatelské výztuže.

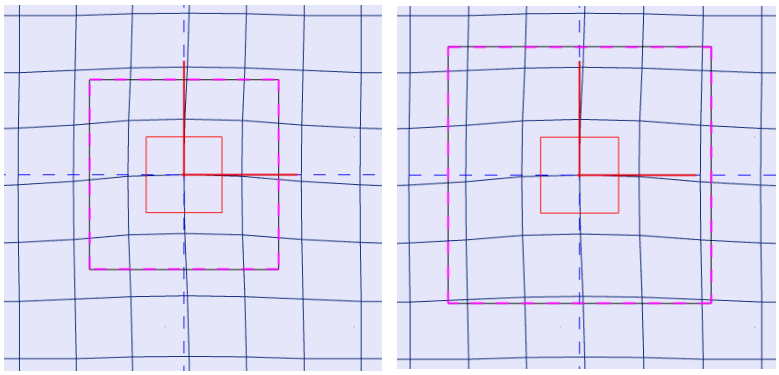
V místech podpor vycházejí nereálně velké plochy výztuže. Je to dáno tím, že v modelu je deska v oblasti podpor podepřena vždy v jednom bodě, který má teoreticky nulové rozměry. To vede ke vzniku nereálných špiček momentů (singularit). Ve skutečnosti však má podpora nenulové rozměry.



Tento problém lze ošetřit pomocí průměrovacích pásů. Do míst bodových podpor a na kraje stěn zadáme průměrovací pásy typu Bod. Dle doporučení autorů softwaru lze v bodové podpoře vždy uvažovat průměrování na šířce odpovídající „rozměru sloupu + 2*tloušťce desky“, tedy v našem případě 1000 mm.

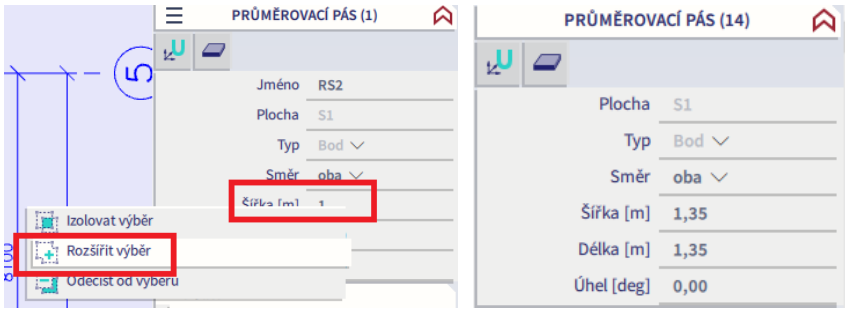


Při definování průměrovacích pásů je ale vždy potřeba mít na paměti velikost konečných prvků. Průměrovací pás průměruje pouze hodnoty z uzlů ležících uvnitř pásu. V našem případě by uvnitř průměrovacího bodu velikosti 1x1 m ležely pouze tři uzly v každém směru (viz obrázek níže pro sloup B3), což je nedostačující. Velikost průměrovacího bodu tedy zvětšíme na 1,35x1,35 m, aby uvnitř leželo pět uzlů.



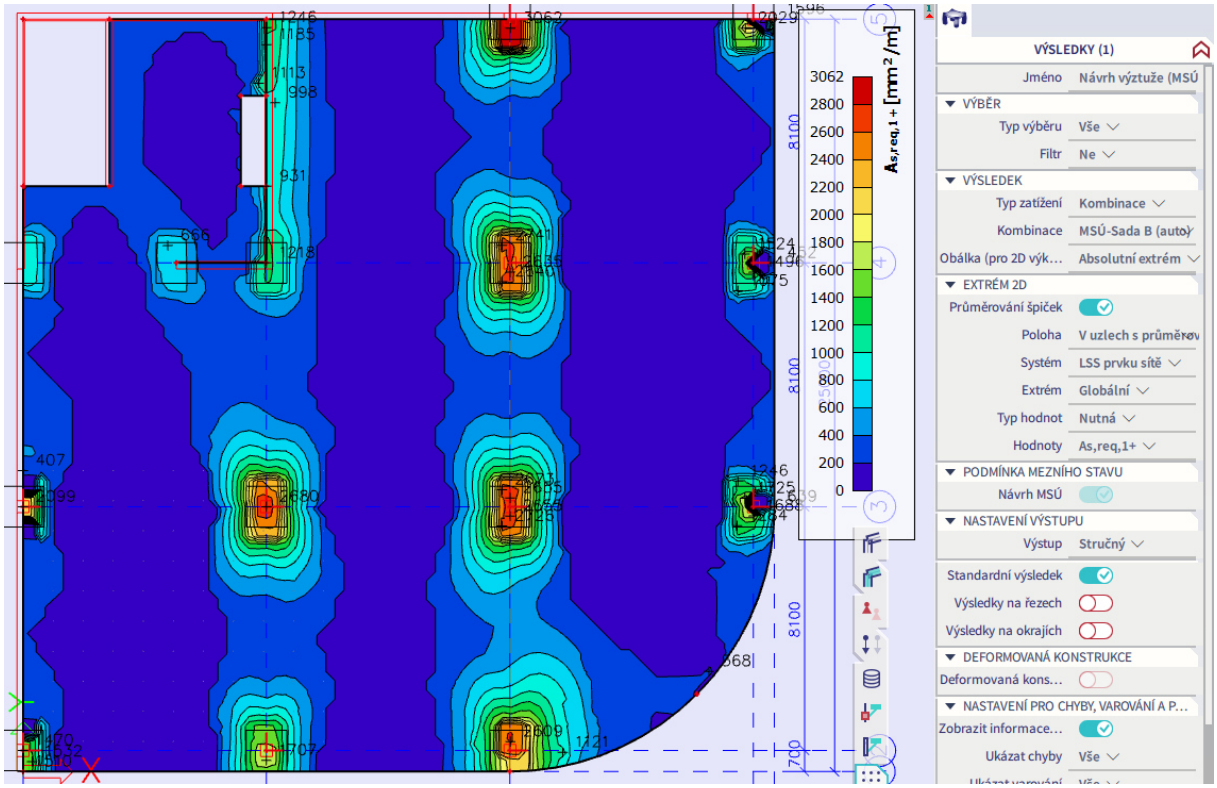
Poznámka k výběru prvků: Pro výběr a úpravu rozměrů všech průměrovacích bodů najednou lze využít nástroj Rozšířit výběr, který nám umožní vybrat všechny prvky s určitou stejnou vlastností.

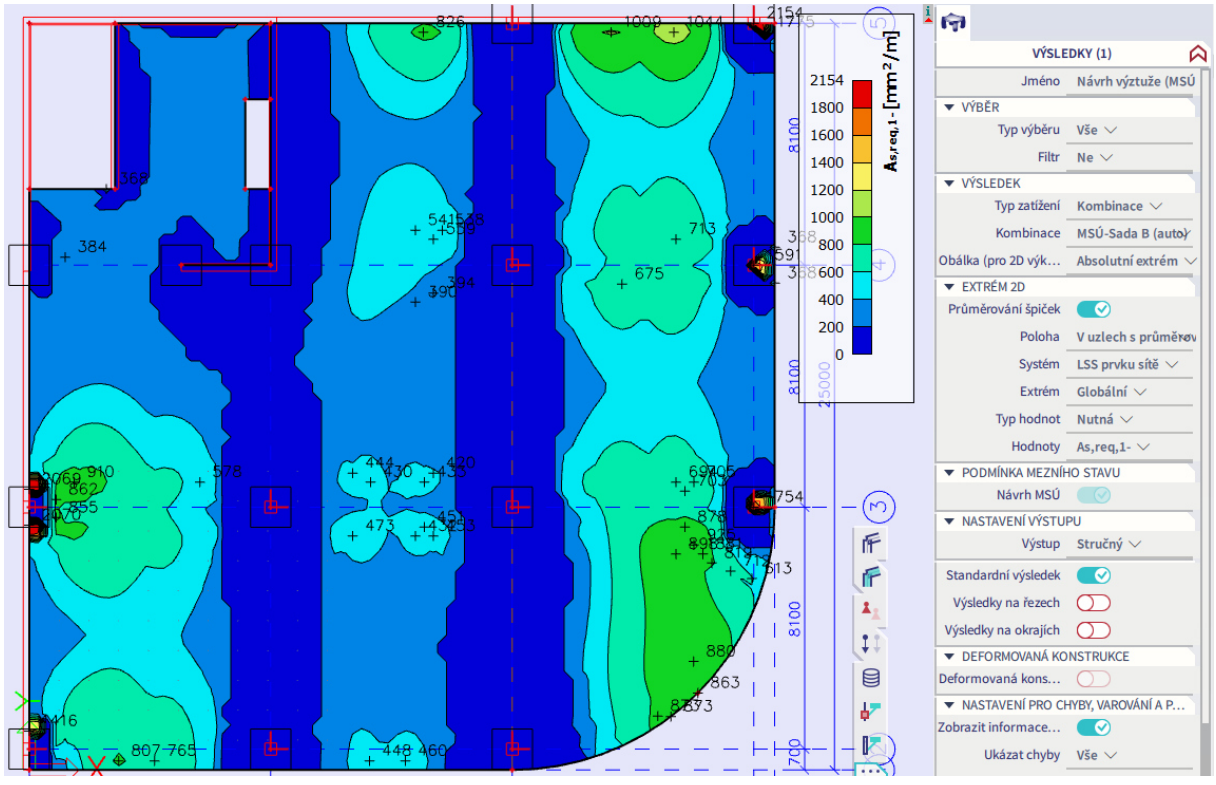
- Označíme jeden průměrovací bod.
- Vybereme vlastnost vybraného bodu, která je společná všem bodům, které chceme vybrat. V našem případě je to např. šířka, všechny pásy mají šířku 1 m.
- Klikneme na hodnotu pravým tlačítkem a zvolíme Rozšířit výběr. Tím se vyberou všechny průměrovací body s šířkou 1 m.
- Můžeme upravit parametry všech pásů najednou.

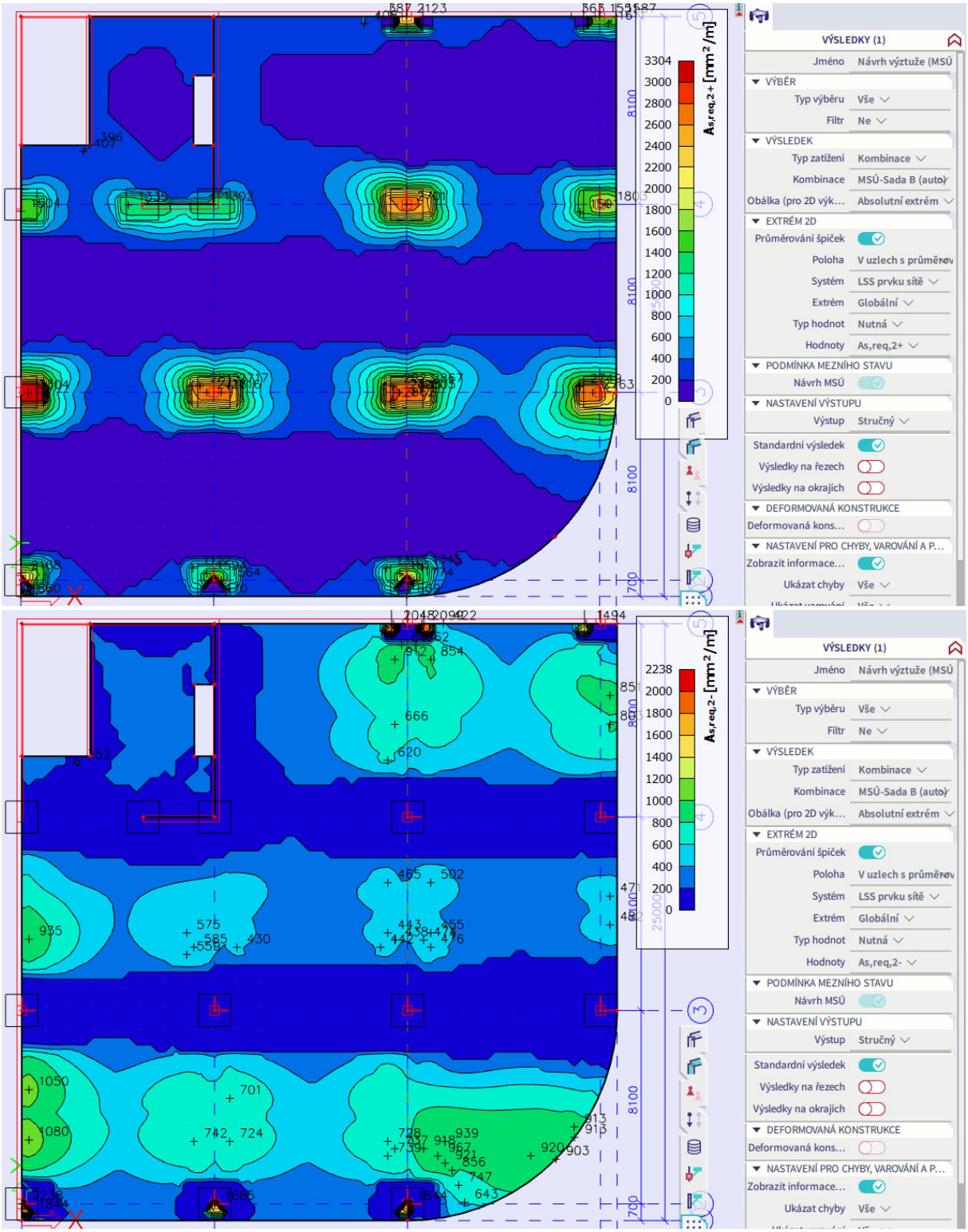


Poznámka k průměrovacím pásům: Algoritmus zprůměrování může být využit pro vnitřní síly v deskách nebo pro požadované plochy výztuže v deskách. Každé zprůměrování je prováděno samostatně. To znamená, že zprůměrované vnitřní síly jsou počítány z nezprůměrovaných sil a zprůměrované požadované plochy výztuže také z nezprůměrovaných sil. A tedy není pravda, že zprůměrované požadované plochy výztuže jsou počítány ze zprůměrovaných vnitřních sil.

Znovu vykreslíme požadované plochy výztuže (postupně pro oba směry a oba povrchy, Poloha = V uzlech s průměrováním na makro). Zapneme ve Vlastnostech volbu Průměrování špiček. Spočtené plochy výztuže nad podporami již budou lépe odpovídat skutečnému chování konstrukce. Podle těchto ploch můžeme ručně (v Excelu apod.) navrhnout skutečné vyztužení konstrukce, nebo můžeme pokračovat návrhem a zadáním skutečného vyztužení do programu. Druhému přístupu se budou věnovat další kapitoly.

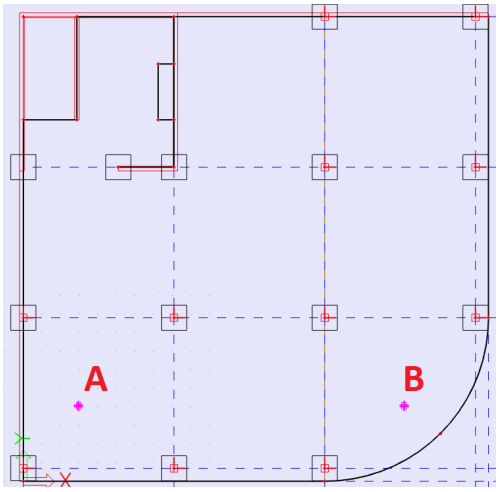

VÝSLEDKY (1)
Jméno Návrh výztuže (MSÚ
VÝBĚR
Typ výběru Vše
Filtr Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení Kombinace
Kombinace MSÚ-Sada B (auto)
Obálka (pro 2D výk... Absolutní extrém
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha V uzlech s průměrov
Systém LSS prvku sítě
Extrém Globální
Typ hodnot Nutná
Hodnoty As,req,1+
PODMÍNKA MEZNÍHO STAVU
Návrh MSÚ
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Výstup Stručný
Standardní výsledek
Výsledky na řezech
Výsledky na okrajích
DEFORMOVANÁ KONSTRUKCE
Deformovaná kons...
NASTAVENÍ PRO CHYBY, VAROVÁNÍ A P...
Zobrazit informace...
Ukázat chyby Vše
As,req,1+ [mm²/m]
3062
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0


VÝSLEDKY (1)
Jméno Návrh výztuže (MSÚ
VÝBĚR
Typ výběru Vše
Filtr Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení Kombinace
Kombinace MSÚ-Sada B (auto)
Obálka (pro 2D výk... Absolutní extrém
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha V uzlech s průměrov
Systém LSS prvku sítě
Extrém Globální
Typ hodnot Nutná
Hodnoty As,req,1-
PODMÍNKA MEZNÍHO STAVU
Návrh MSÚ
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Výstup Stručný
Standardní výsledek
Výsledky na řezech
Výsledky na okrajích
DEFORMOVANÁ KONSTRUKCE
Deformovaná kons...
NASTAVENÍ PRO CHYBY, VAROVÁNÍ A P...
Zobrazit informace...
Ukázat chyby Vše
As,req,1- [mm²/m]
2154
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

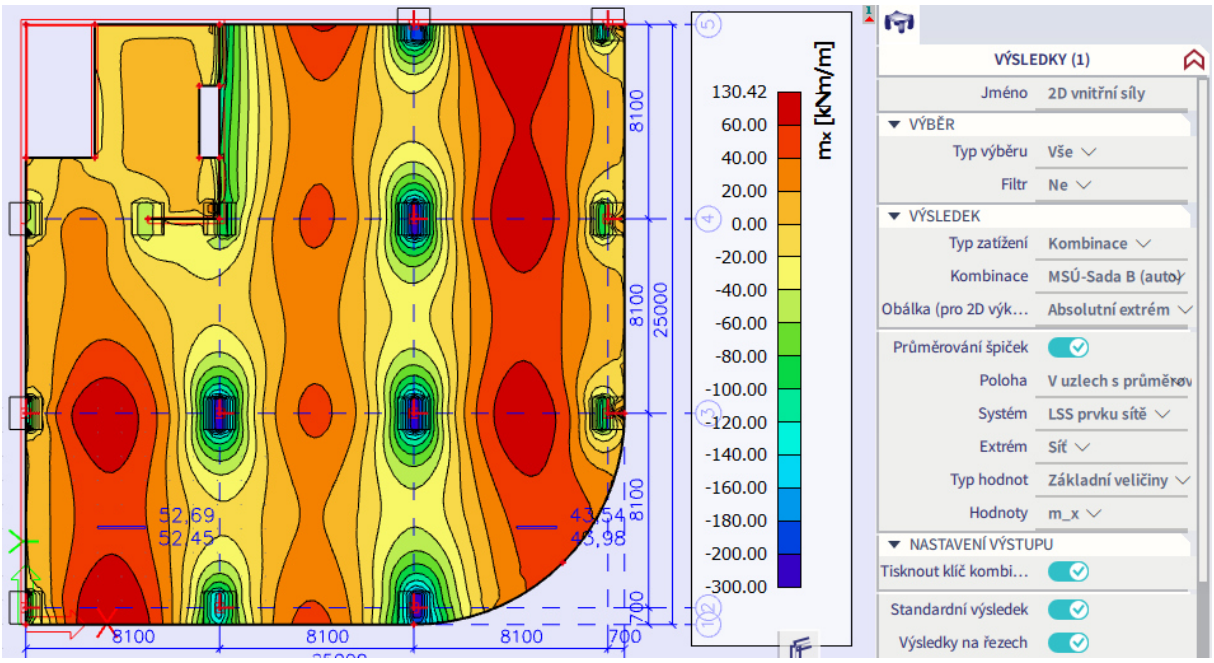


Porovnání vnitřních sil a ploch výztuže: Výsledky vs. Beton

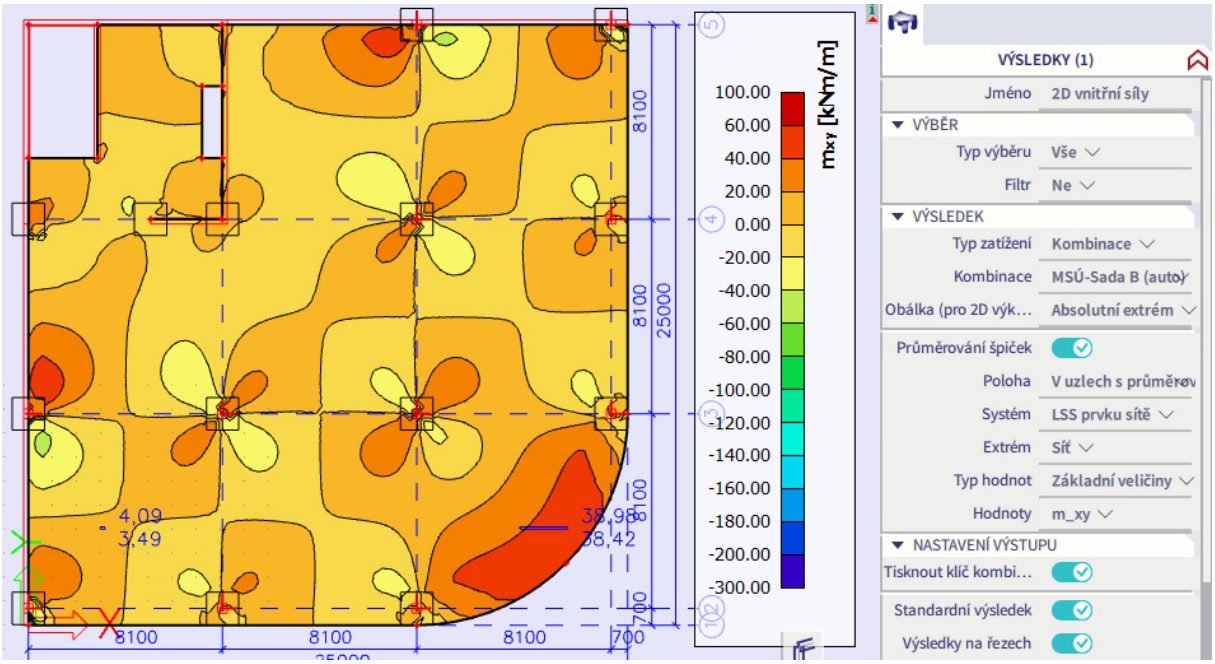
Následující příklad má dokumentovat, proč nejsou vnitřní síly z modulu Beton vhodné pro ruční návrh ploch výztuže. Zároveň slouží ke kontrole, že plochy výztuže stanovené programem jsou správné. Zvolíme jedno místo v oblasti s minimálním vlivem krouticích momentů (A) a jedno místo v oblasti s velkým vlivem krouticích momentů (B). Porovnáme na jedné straně vnitřní síly z modulu Výsledky a na ně ručně navrženou plochu výztuže a na druhé straně vnitřní síly z modulu Beton a plochy výztuže navržené v modulu Beton. Porovnání provedeme pro dolní povrch desky ve směru osy *x*. Pro zobrazení přesných hodnot vložíme krátké svislé řezy (A – souřadnice X = 3,0 m, Y = 4,0 až 4,1 m; B – souřadnice X = 20,5 m, souřadnice Y = 4,0 až 4,1 m).



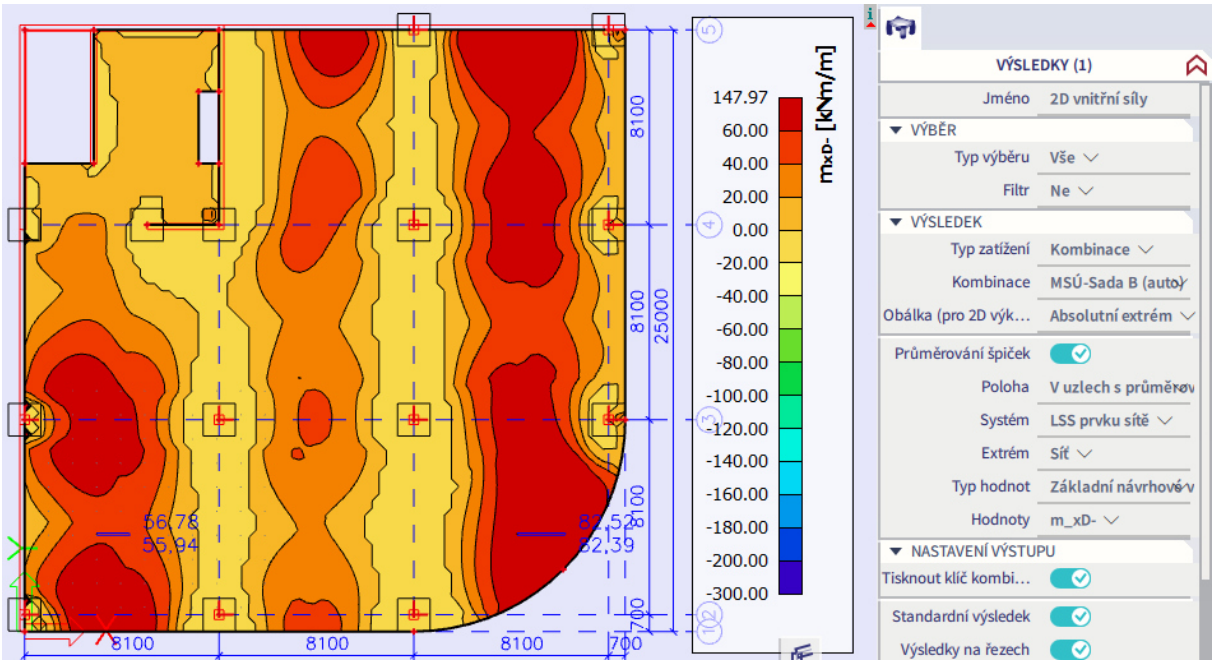
Výsledky – základní moment m_x (ohybový):



Výsledky – základní moment m_xy (krouticí):



Výsledky – základní návrhový moment m_xD- (účinky ohybu i kroucení):



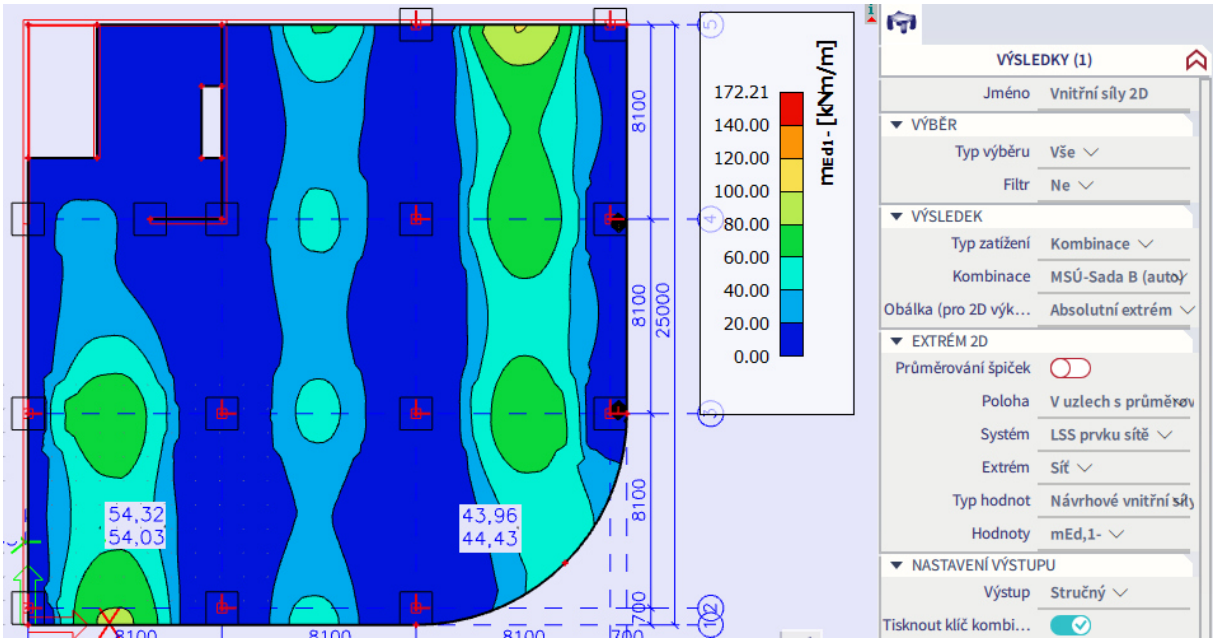
Výztuž navržená podle m_xD-:

$$d = h - c - \frac{\varnothing}{2} = 300 - 20 - 12/2 = 274 \text{ mm}$$

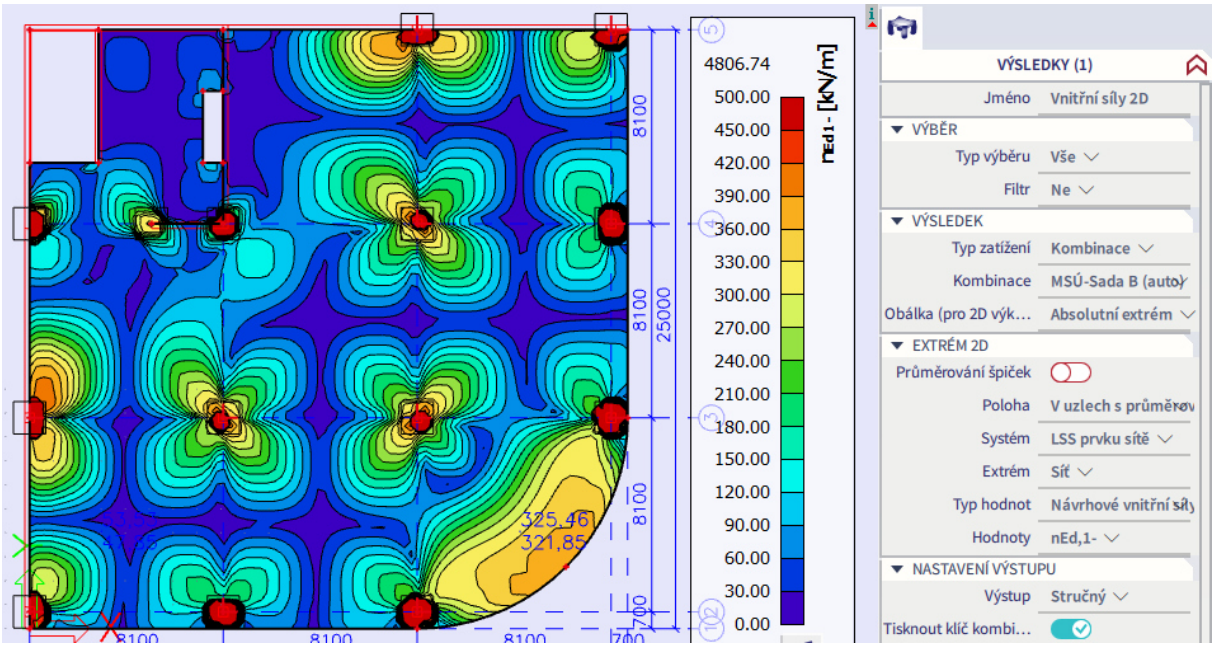
$$a_{sA} = \frac{m_xD-_A}{0{,}9df_{yd}} \frac{56{,}78}{0{,}9 \cdot 274 \cdot 435} = 530 \text{ mm}^2/m$$

$$a_{sB} = \frac{m_xD-_B}{0{,}9df_{yd}} \frac{82{,}52}{0{,}9 \cdot 274 \cdot 435} = 770 \text{ mm}^2/m$$

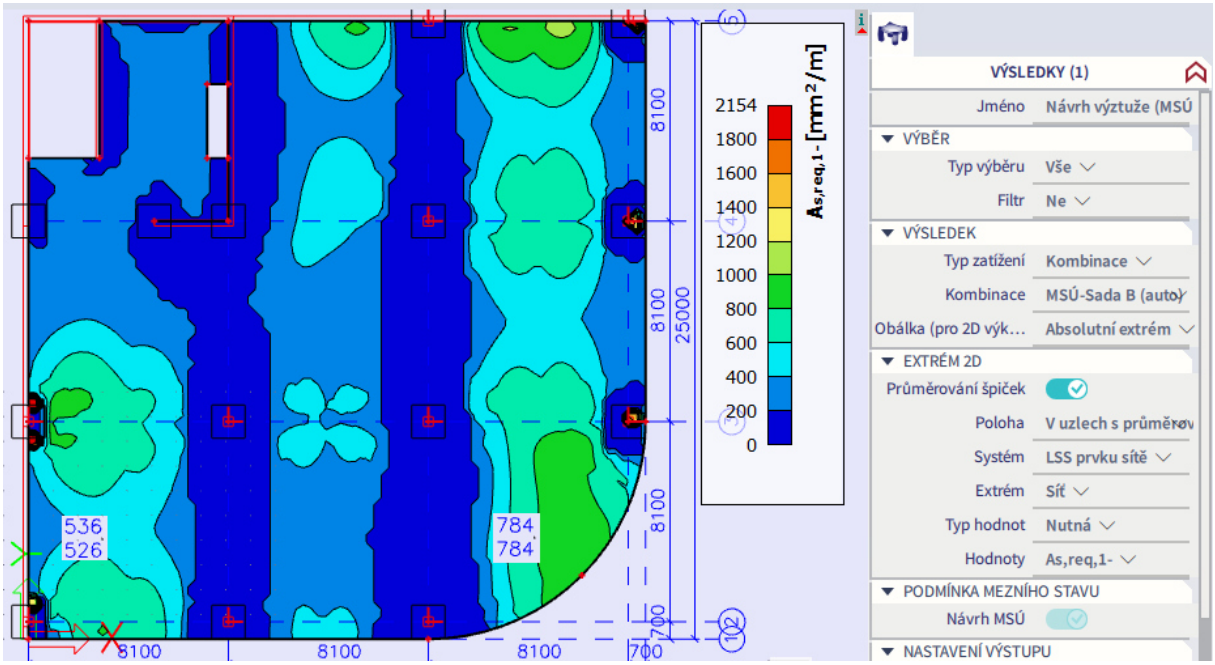
Beton – návrhový moment mEd,1-:



Beton – návrhová normálová síla nEd,1-:



Beton – požadovaná plocha výztuže As,req,1-:



Při porovnání výsledků (tabulka níže) je patrné, že plocha výztuže stanovená programem v modulu Beton odpovídá ploše odhadnuté ručním výpočtem na základě návrhového momentu z modulu Výsledky. Rovněž je patrné, že navrhovat plochy výztuže ručním výpočtem na vnitřní síly z modulu Beton je nevhodné. Je to možné, ale nepraktické – je nutno vycházet ze dvou hodnot vnitřních sil.

Při ručním výpočtu podle návrhového momentu z modulu Výsledky není zohledněn posun momentové křivky vlivem smyku. Tento jev však u desek bývá zanedbatelný, v daném případě je bezpečně pokryt konzervativní volbou hodnoty $\zeta = 0{,}9$.

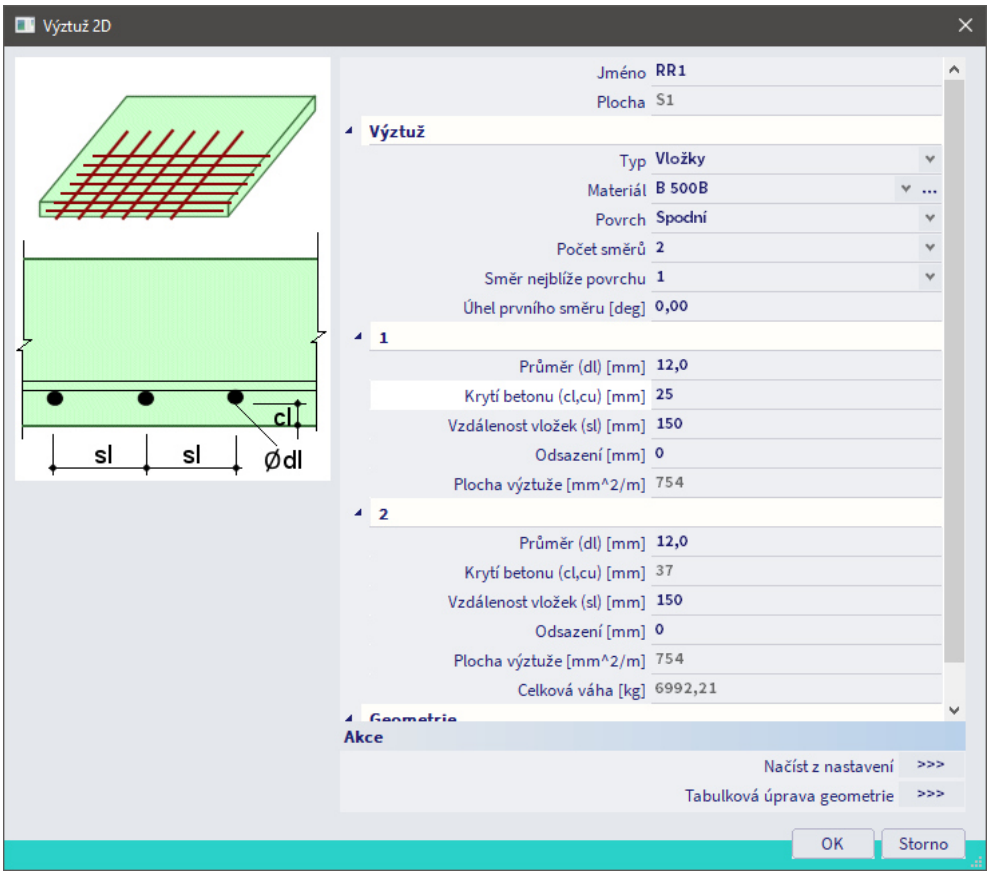
Pozor!!! Navrhnout výztuž desky pouze na mEd,1- by bylo hrubou chybou.

Modul	Hodnota [jedn.]	A	B	Komentář
Výsledky	m_x [kNm/m]	52,69	43,98	hodnota z výpočtu MKP
	m_xy [kNm/m]	4,09	38,98	hodnota z výpočtu MKP
	m_xD- [kNm/m]	56,78	82,52	$m_xD- = m_x + \lvert m_xy \rvert$
	a_s [mm^2/m]	530	770	$a_s = \frac{m_xD-}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}$
Beton	mEd,1- [kNm/m]	54,32	44,43	Vliv ohybu $mEd,1- \approx m_x$ (rozdíl Wood-Armer/ Baumann)
	nEd,1- [kN/m]	53,53	325,46	Vliv kroucení + smyku („pravidlo posunu“) $nEd,1- = \frac{m_xy}{\left(\frac{h}{2} - d_1\right)} + \frac{v_x \cdot d}{\left(\frac{h}{2} - d_1\right)}$
	As,req,1- [mm^2/m]	536	784	$As,req,1- = \frac{mEd,1-}{z \cdot f_{yd}} + \frac{nEd,1-}{2 \cdot f_{yd}}$

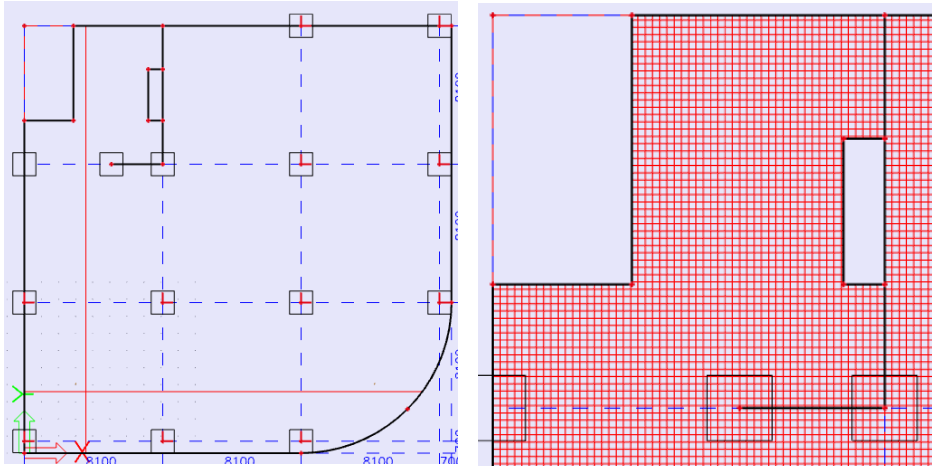
Výztuž spodního povrchu

Začneme návrhem výztuže spodního povrchu. Potřebnou výztuž můžeme stanovit dle izoploch. Postup využívající Tabulkové výsledky, kde je možno zobrazit potřebné rozteče pro předpokládané profily, není v aktuální verzi programu v novém uživatelském prostředí ještě implementován.

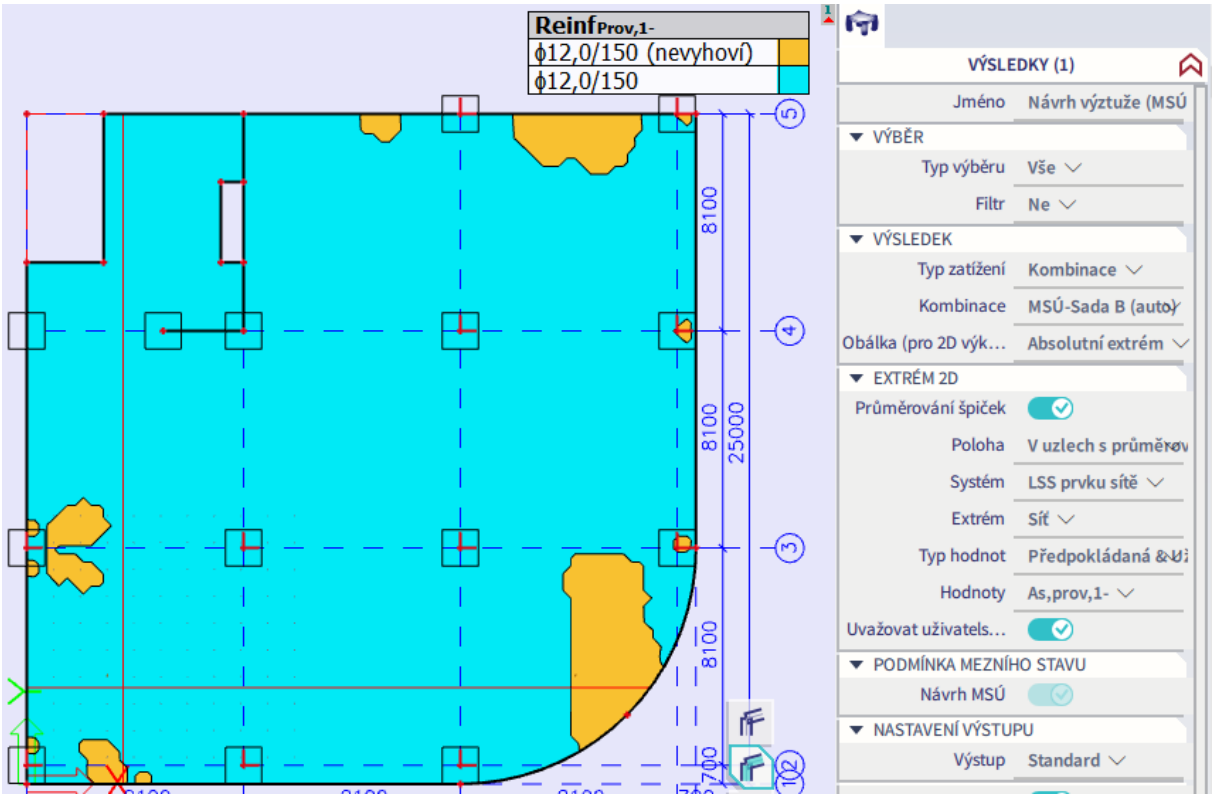
Pro danou konstrukci se výchozí volba výztuže Ø12 zdá být vhodná, rozteče uprostřed rozpětí vycházejí ve většině případů mezi 100 – 250 mm. Desky je zvykem vyztužovat tak, že navrhneme určitou základní výztuž v celé ploše a k ní následně přidáváme příložky na extrémní momenty. Pro spodní povrch zvolíme základní výztuž Ø12/150 mm v obou směrech a zadáme ji do konstrukce jako uživatelskou výztuž přes Akce > Beton > 2D výztuž (nebo Panel > Beton > Výztuž v betonu > 2D výztuž).

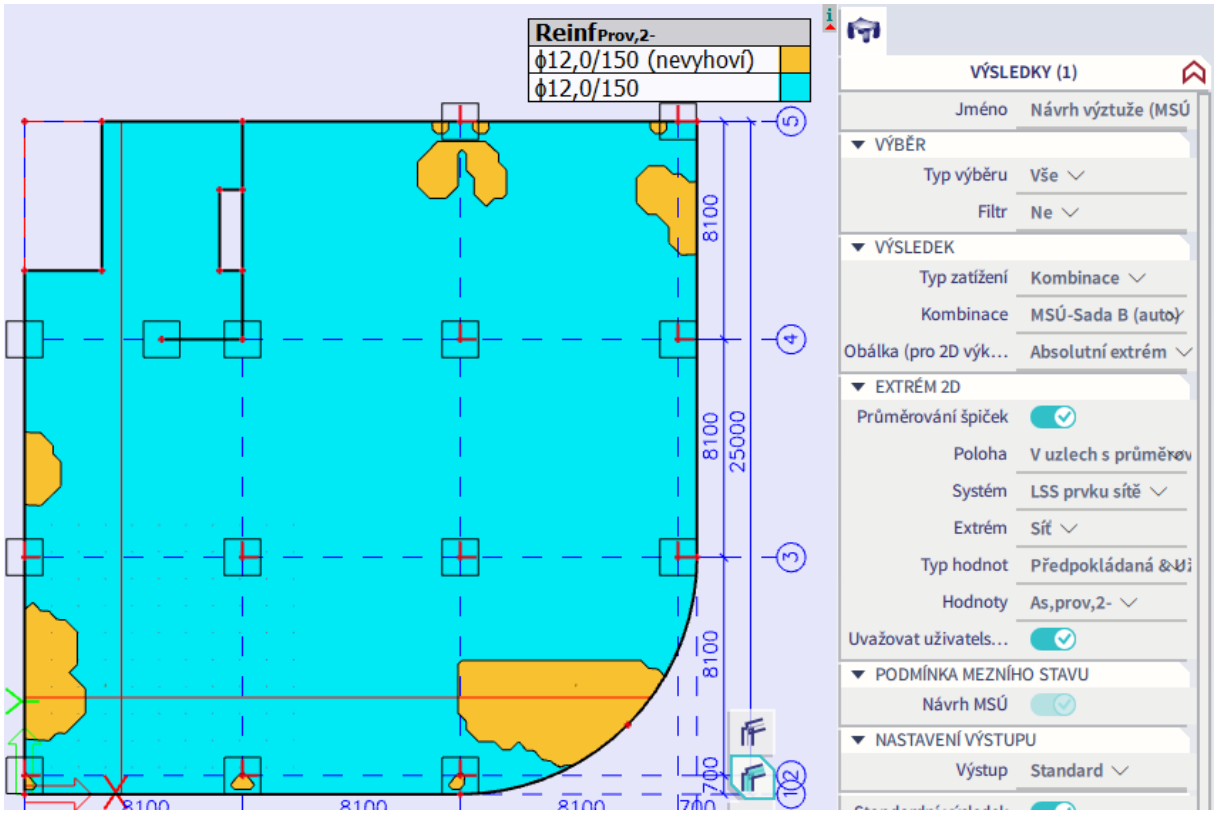


Symbolicky se zobrazí zadaná výztuž spodního povrchu (vlevo). V případě potřeby lze zapnout plné zobrazení jednotlivých prutů výztuže přes Panel pohledu > Více voleb > Parametry zobrazení > Beton > Vyztužovací oblasti 2D (vpravo pro oblast kolem otvorů).

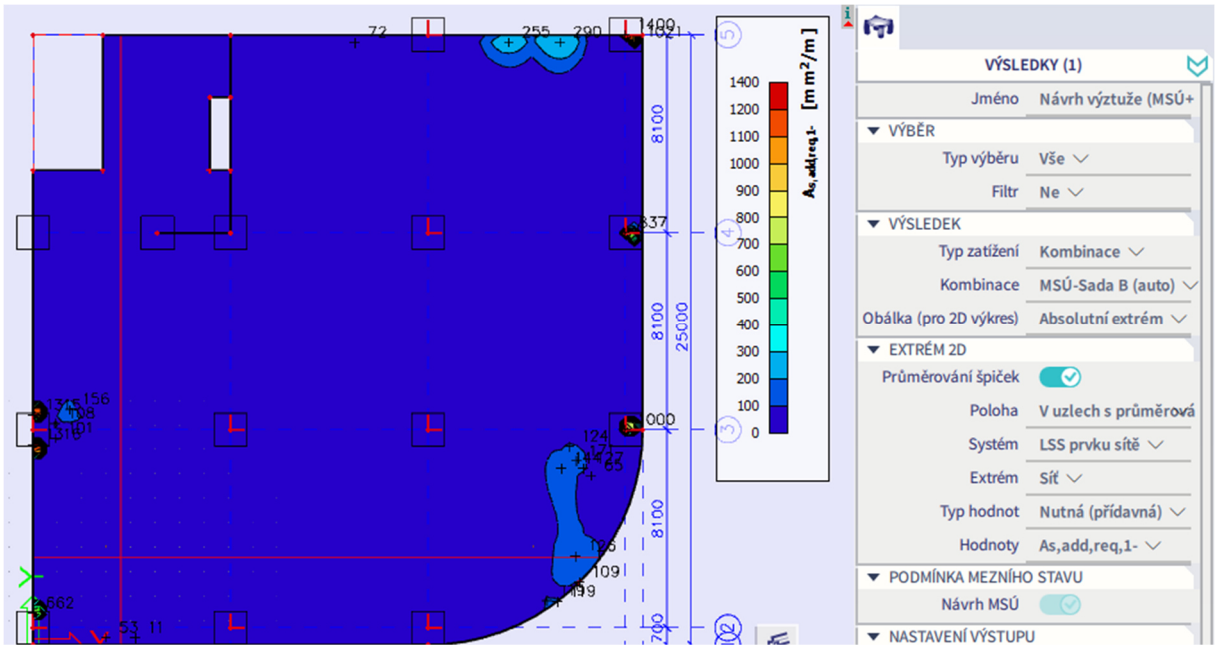


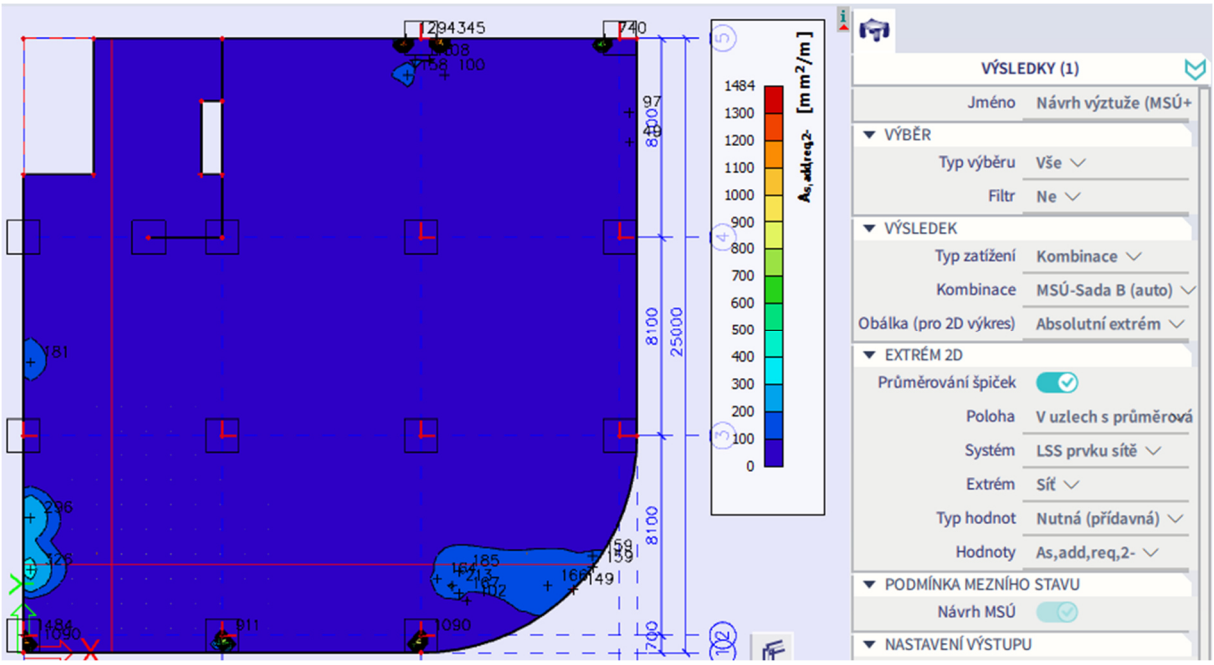
Po vložení základní výztuže jdeme do Akce > Beton > Návrh výztuže 2D. Ve Vlastnostech zvolíme Typ hodnot = Předpokládaná&Uživatelská a zaškrtneme volbu Uvažovat uživatelskou výztuž. Výsledné schéma nám ukazuje, na které oblasti desky vyhoví již zadaná výztuž a kde je nutno navrhnout příložky:



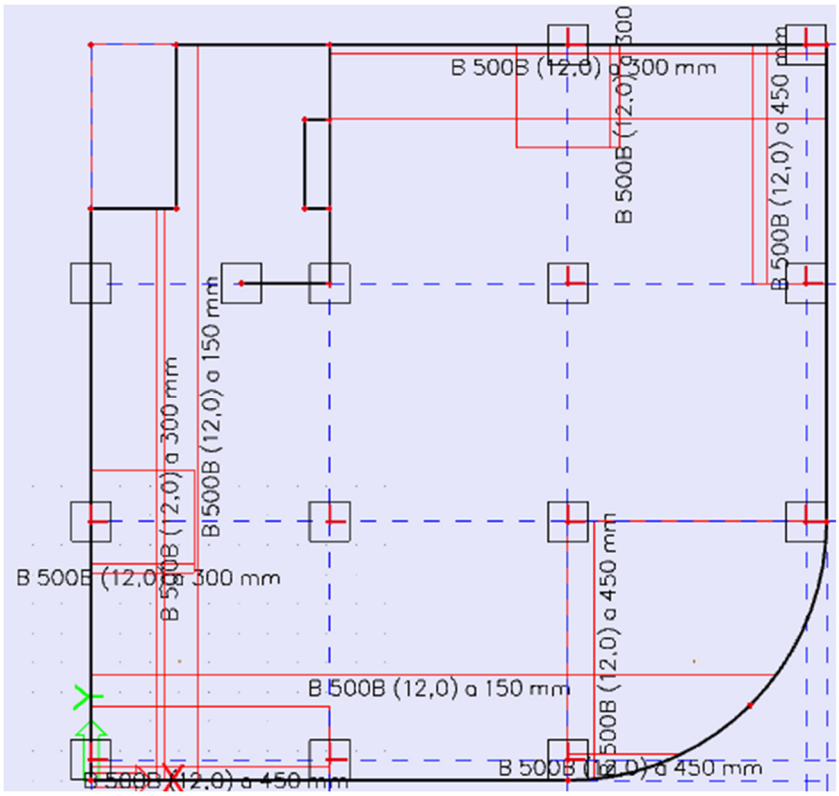


Pokud poté zvolíme ve Vlastnostech Typ hodnot = Nutná (přídavná), můžeme si zobrazit potřebné plochy přílože na spodním povrchu. Pozor! Pokud bychom předtím při volbě Typ hodnot = Předpokládaná&Uživatelská nezaškrtli volbu Uvažovat uživatelskou výztuž, vykreslily by se celkové nutné plochy výztuže, nikoliv pouze plochy přílože. V aktuální verzi bohužel není volba Uvažovat uživatelskou výztuž přístupná přímo pod volbou Typ hodnot = Nutná (přídavná) a vykreslení přílože je proto potřeba provádět popsaným dvoustupňovým postupem.

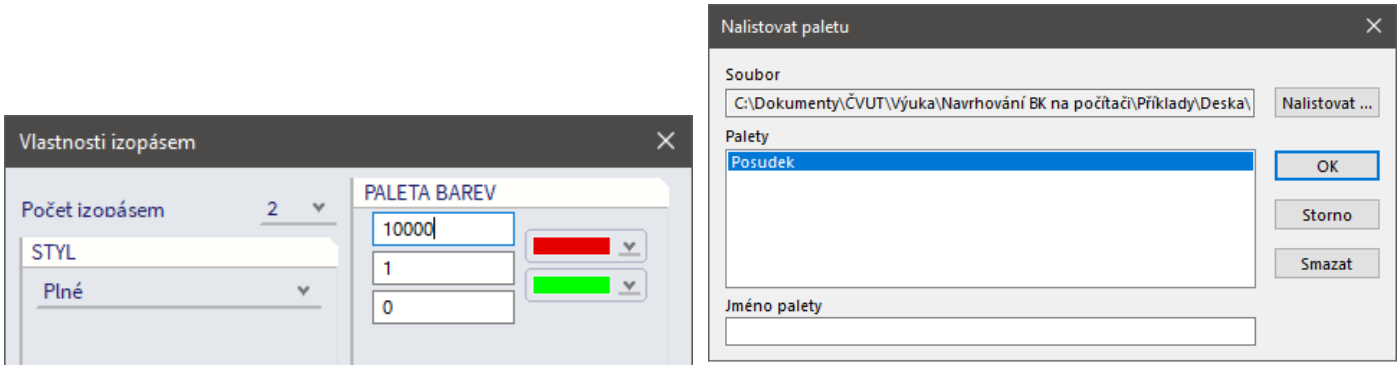


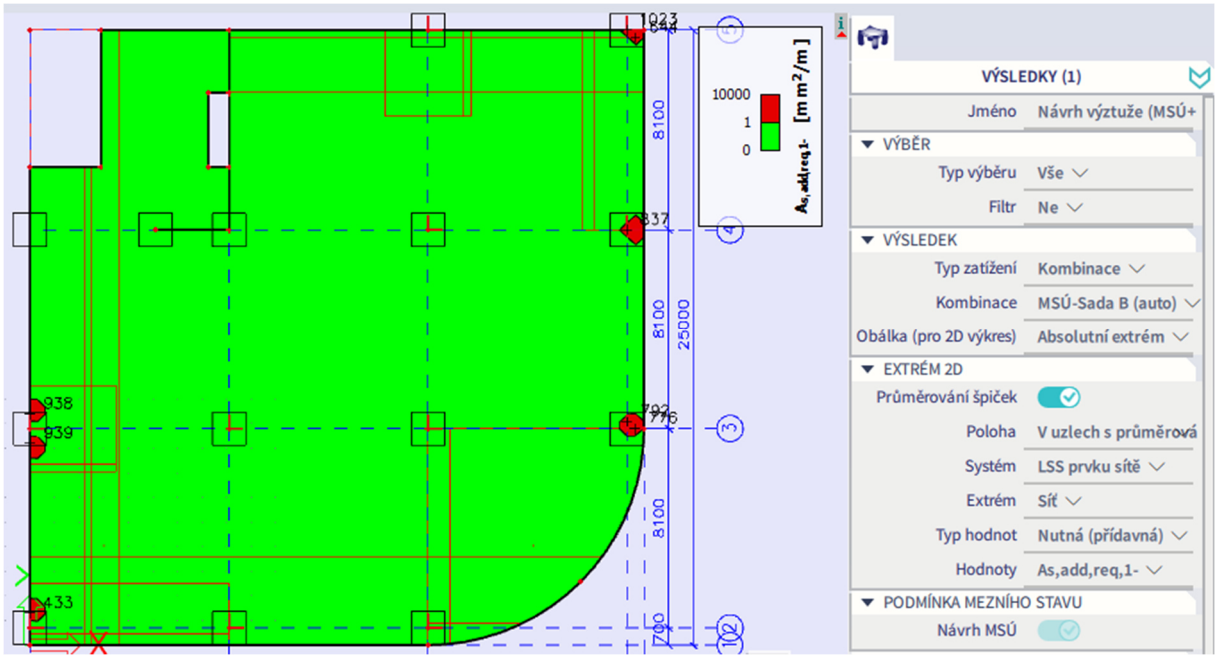


Přes Akce > Beton > 2D výztuž zadáme příložky na patřičné oblasti desky podle následujícího obrázku tak, aby průřezovou plochou i půdorysným rozsahem pokryly výše zobrazené požadované příložky. Ignorujeme přitom bodové singularity v oblastech podpor. Šířka oblastí s příložkami u okrajů je zvolena jako 2,5 m, bodové oblasti nad sloupy mají rozměr 3,5x3,5 m. Při zadávání využijeme možnost definovat geometrii 2D výztuže bodem či čárou. Popisy výztuže lze zapnout přes Parametry zobrazení > Beton > Vyztužovací oblasti 2D.

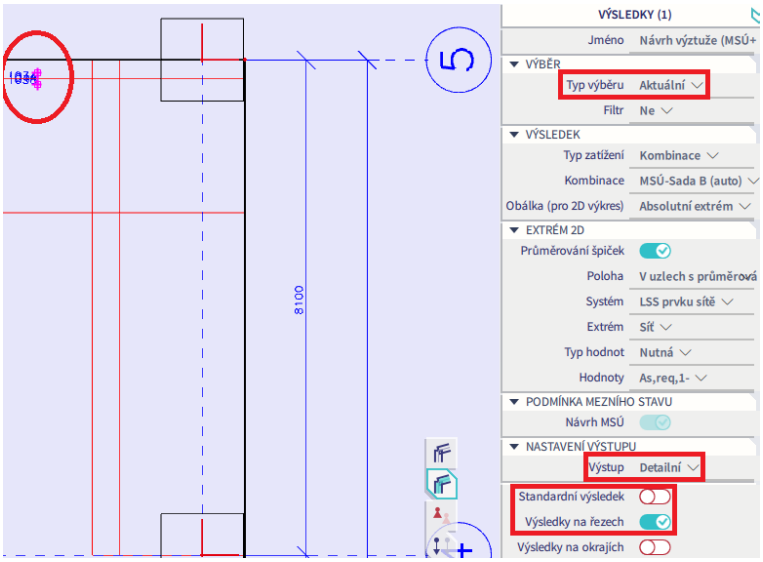


Následně můžeme provést nepřímé posouzení výztuže na celém spodním povrchu desky. Vykreslíme-li znovu požadované plochy příložek, jsou tyto až na bodové singularity v celém rozsahu desky nulové, což znamená, že zadaná výztuž je z hlediska MSÚ vyhovující. Barevnou škálu vykreslení upravíme ve Vlastnostech přes Nastavení kreslení 2D a Rozšířené nastavení palety. Můžeme si ji uložit pro pozdější použití přes volbu Uložit paletu.





Podrobnosti návrhu pro vybraný bod konstrukce by mělo být možno prostudovat přes Tabulkové výsledky a Náhled. Tabulkové výsledky však nejsou v použité verzi programu k dispozici. Použijeme proto trik, který nám umožní se k podrobnostem výpočtu dostat. Do zájmového místa přes Panel > Výpočet a výsledky > Řez na 2D vložíme velmi krátký řez. Zde vybereme místo s největší požadovanou výztuží ve směru 1. Řez zadáme do souřadnic x = 21,6 m, y = 24,6 až 24,8 m. Vykreslíme detailní výstup na řezu pouze pro aktuálně vybraný řez a následně přes Vlastnosti otevřeme Náhled pro aktuální výběr.



Do Náhledu se vypíší podrobné informace o výpočtu pro dané místo konstrukce. Níže je ukázka části týkající se podélné výztuže. Posouzení je prováděno porovnáním požadované a navržené plochy. Program nedopočítává momenty únosnosti, které by porovnával s účinky zatížení.

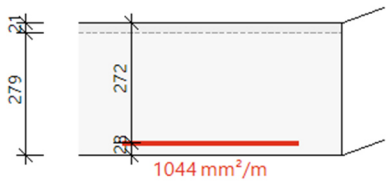
Podélná výztuž

Návrh podle mezního stavu únosnosti

Směr vrstvy výztuže [α=0°]

[1-]: spodní povrch

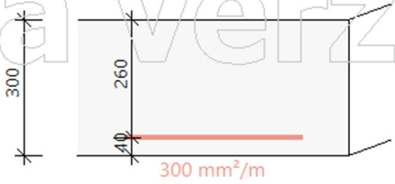
m_{Ed} = 92.8 kNm/m | n_{Ed} = 190 kN/m [MSÚ-Sada B (auto)/1]
f_{cd} = 16.7 MPa (γ_C = 1.5, α_{cc} = 1)
f_{yd} = 435 MPa (γ_S = 1.15)
Ø12 mm : d_1=28 mm -> d=272 mm
x=21 mm -> z=264 mm
$A_{s,ult}$=1044 mm²/m (tahové)
ρ_l=0,384%



Směr vrstvy výztuže [α=90°]

[2-]: spodní povrch

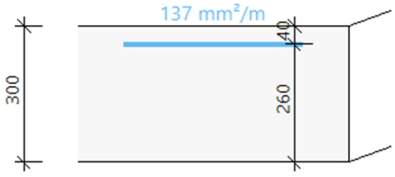
m_{Ed} = 7.81 kNm/m | n_{Ed} = 190 kN/m [MSÚ-Sada B (auto)/1]
f_{cd} = 16.7 MPa (γ_C = 1.5, α_{cc} = 1)
f_{yd} = 435 MPa (γ_S = 1.15)
Ø12 mm : d_1=40 mm -> d=260 mm
x=-4 mm -> z=234 mm
$A_{s,ult}$=300 mm²/m (tahové)
ρ_l=0,115%



Směr vrstvy výztuže [α=90°]

[2+]: horní povrch

m_{Ed} = 7.81 kNm/m | n_{Ed} = 190 kN/m [MSÚ-Sada B (auto)/1]
f_{cd} = 16.7 MPa (γ_C = 1.5, α_{cc} = 1)
f_{yd} = 435 MPa (γ_S = 1.15)
Ø12 mm : d_1=40 mm -> d=260 mm
x=-4 mm -> z=234 mm
$A_{s,ult}$=137 mm²/m (tahové)
ρ_l=0,053%

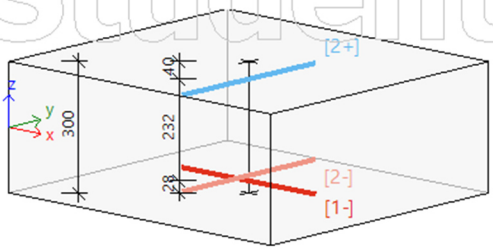


Shrnutí podélné výztuže

Navržené vrstvy výztuže (ve směru od lokální osy x dílce):

	Základní	Přídavná		α	$A_{s,min}$	$A_{s,ult}$	$\Delta A_{s,serv}$	$A_{s,req}$	$A_{s,prov}$	$A_{s,max}$	s_{min}	s_{max}	Stav
		Uživatel	Automati...	[°]	[mm²]	[mm²]	[mm²]	[mm²]	[mm²]	[mm²]	[mm]	[mm]	
[2+]	---	---	---	90,0	352	137	---	**352**	**1**	12000	150	150	**Nevyh.**
								0,12%	0,00%		≥50	≤300	
[1-]	---	ϕ12,0/100	---	0,0	368	1044	---	**1044**	**1131**	12000	88	100	**OK**
								0,35%	0,38%		≥50	≤300	
[2-]	---	ϕ12,0/150	---	90,0	352	300	---	**352**	**754**	12000	138	150	**OK**
								0,12%	0,25%		≥50	≤300	

$A_{s,req}$ - nutná plocha výztuže jako max($A_{s,ult}$; $A_{s,min}$)+$\Delta A_{s,serv}$; $A_{s,prov}$ - předpokládaná plocha výztuže; $A_{s,min/max}$ - min/max plocha výztuže; $s_{max(min)}$ - maximální vzdálenost mezi pruty (minimální čistá vzdálenost mezi pruty



[2+] bez výztuže (nevyhoví)
[1-] ϕ12,0/100
[2-] ϕ12,0/150

Studentská verze

Poznámka: Pokud bychom do grafického okna vykreslili i standardní výsledky (izolinie) pro celou plochu, počítač by po spuštění Náhledu zamrzl, neboť by se začaly vypisovat výsledky pro všech zhruba 6000 bodů sítě. V takovém případě by bylo rozumné program natvrdo vypnout a nečekat na jeho odezvu. V našem případě se do Náhledu vypsaly pouze výsledky pro dva uzly ležící na zvoleném řezu, což zabere řádově nižší desítky sekund.

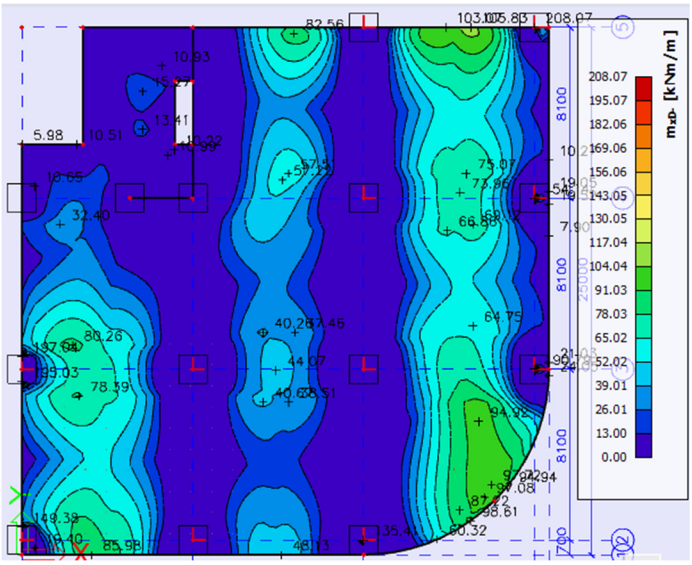
Kontrolní ruční přímý posudek pro nejvíce namáhaný průřez na spodním povrchu ukazuje, že výztuž (základní síť Ø12/150 mm + příložky Ø12/300 mm = Ø12/100 mm, plocha 1130 mm²/m) je vyhovující:

$m_{Ed} = 105,83$ kNm/m (zákl. návrh. m. z Výsledků!)

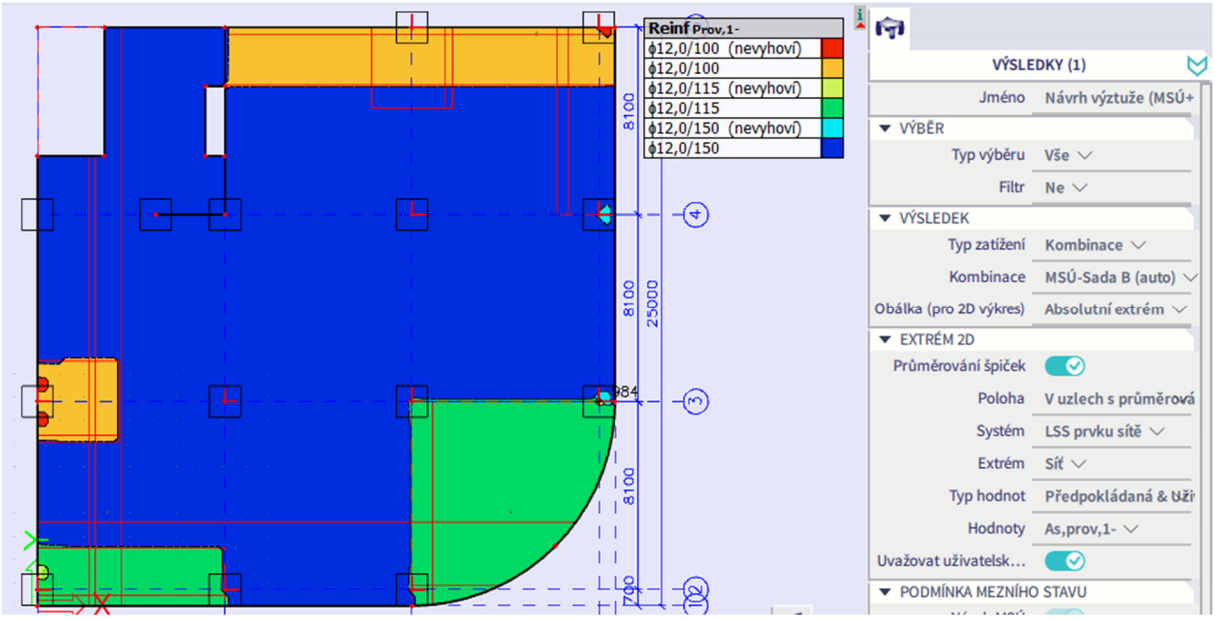
$$x = \frac{a_s f_{yd}}{b f_{cd}} = \frac{1130 \cdot 435}{1000 \cdot 16,7} = 29,4 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4x = 272 - 0,4 \cdot 29,4 = 260 \text{ mm}$$

$$m_{Rd} = a_s f_{yd} z = 1130 \cdot 435 \cdot 260 = 127,8 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed}$$

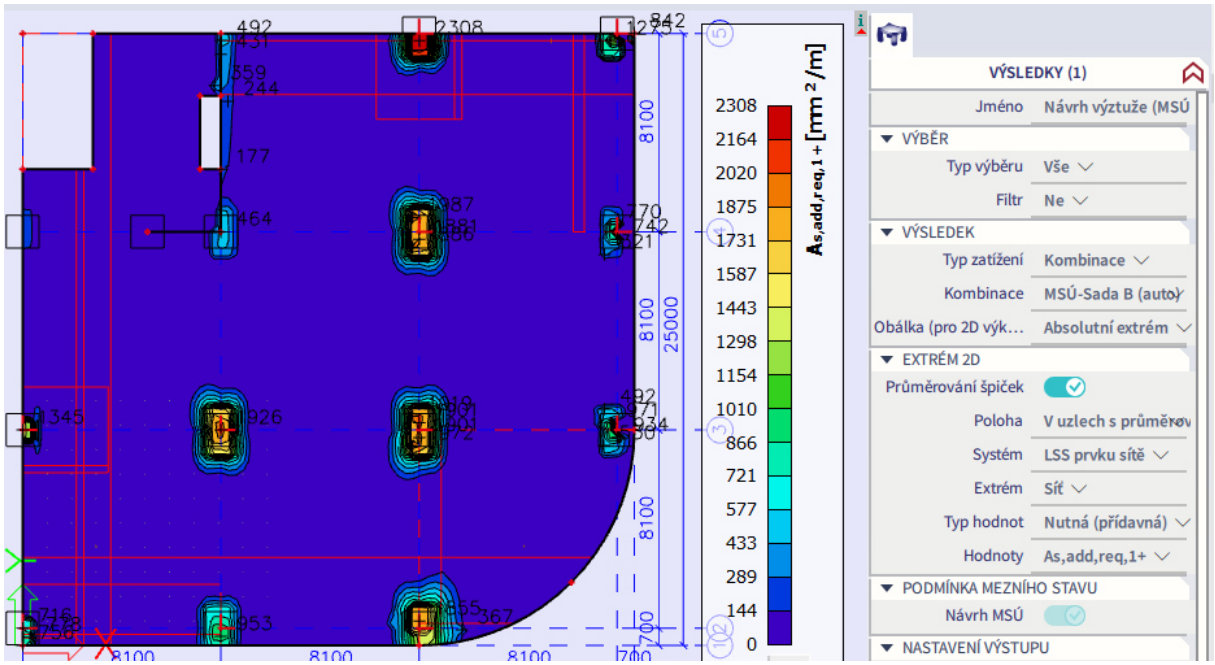


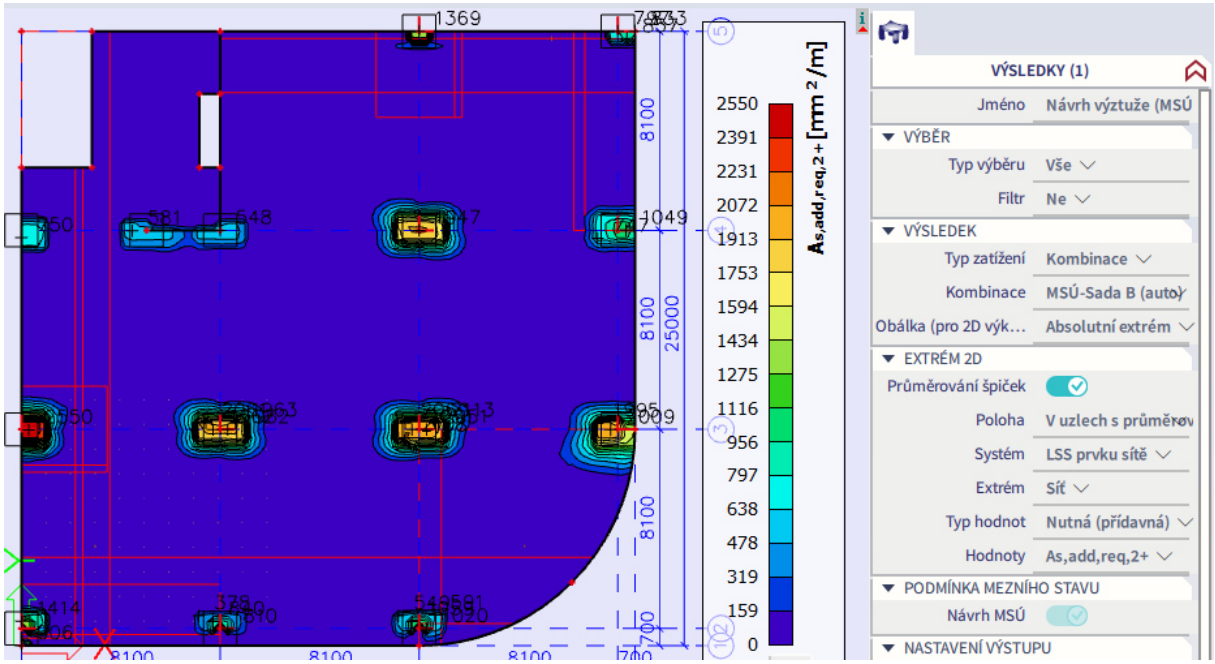
Poznámka k zadávání výztuže: Ve Scia vytváříme výpočetní model, nikoliv výkres výztuže konstrukce. Tak například v ose 5 desky ve směru *x* bychom při použití vázané výztuže nenavrhli základní výztuž Ø12/150 mm s příložkami Ø12/300 mm, ale výztuž Ø12/100 mm. První způsob návrhu byl použit v modelu, jelikož je snazší z hlediska postupu zadání výztuže do modelu. Z hlediska výpočtu není mezi oběma způsoby návrhu žádný rozdíl, jak ukazuje i výpis podrobností návrhu v Náhledu a vykreslení uživatelských ploch výztuže na obrázku níže. Program si dvě oblasti výztuže zadané na jednu geometrickou oblast sjednotí. Ve výkresu výztuže, který je podkladem pro stavbu, by byl použit druhý způsob odpovídající skutečnému vyztužení.



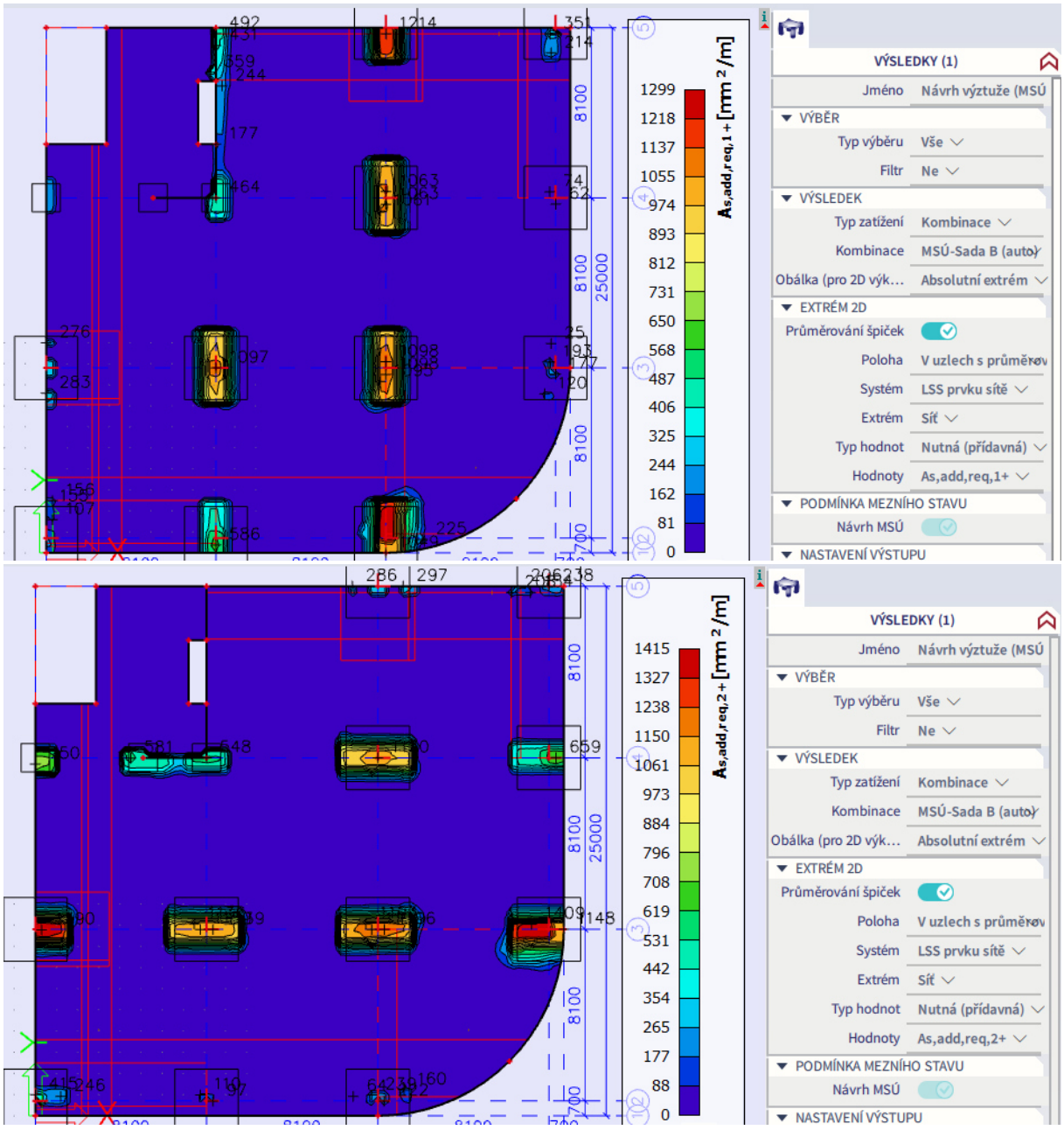
Výztuž horního povrchu

Pro návrh opět vyjdeme z izoploch požadované výztuže. Teoreticky v desce existují nemalé oblasti uprostřed polí, kde by nebyla nutná žádná výztuž horního povrchu, ovšem z hlediska omezení vlivu reologických jevů, roznášení lokálních zatížení i z hlediska MSP je vhodné vyztužovat desky při obou površích. Pro jednoduchost zvolíme stejné základní vyztužení jako na spodním povrchu (Ø12/150 mm v obou směrech na celém povrchu). Vložíme uživatelskou výztuž do konstrukce a vykreslíme potřebné plochy přílože na horním povrchu:

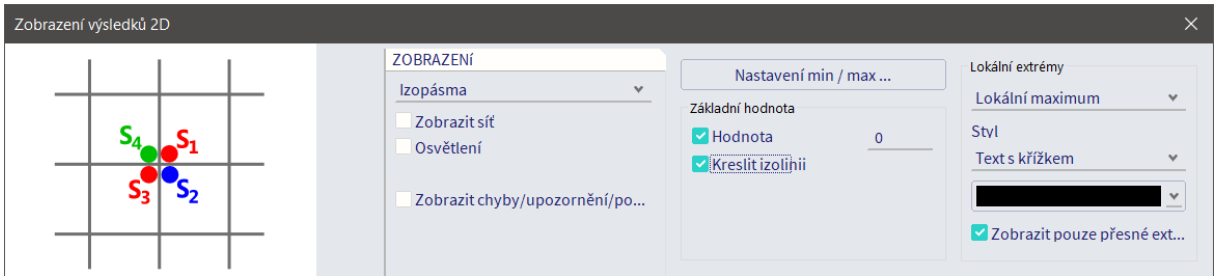


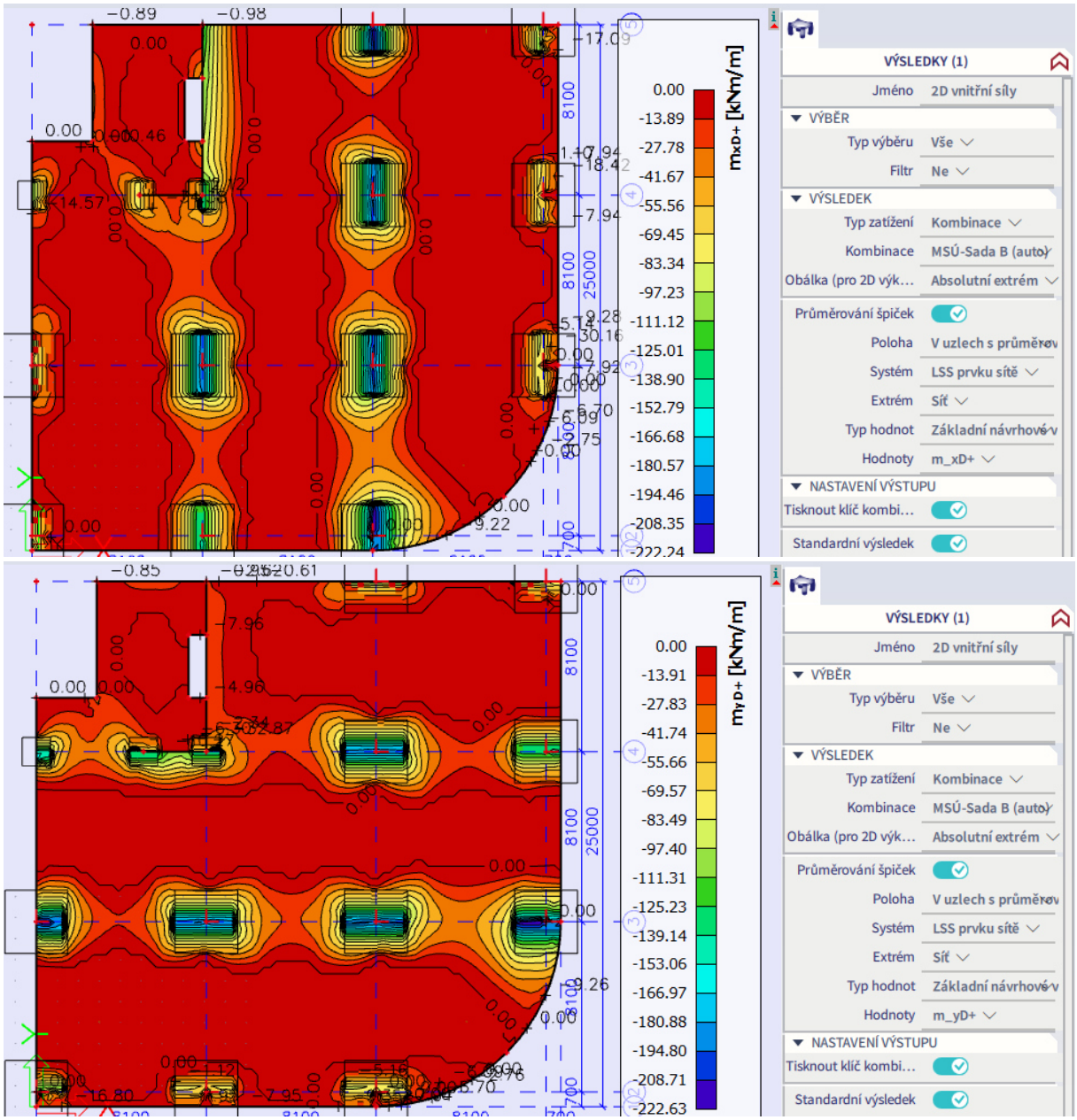


V krajních podporách by vycházelo až 2550 mm^2/m (příložky Ø20/120 mm). S ohledem na schopnost plastického chování železobetonu můžeme provést přerozdělení výztuže. Velikost průměrovacích bodů nad sloupy změníme na 3x3 m, což s určitou rezervou odpovídá oblasti, kde jsou potřebné příložky. Zvolená velikost průměrovacího bodu je pro naši desku přípustná také s ohledem na pravidlo pro šířku sloupových pruhů u metody součtových momentů, kterou by bylo možné použít pro ruční návrh výztuže desky. Upravené potřebné plochy příložek na horním povrchu:



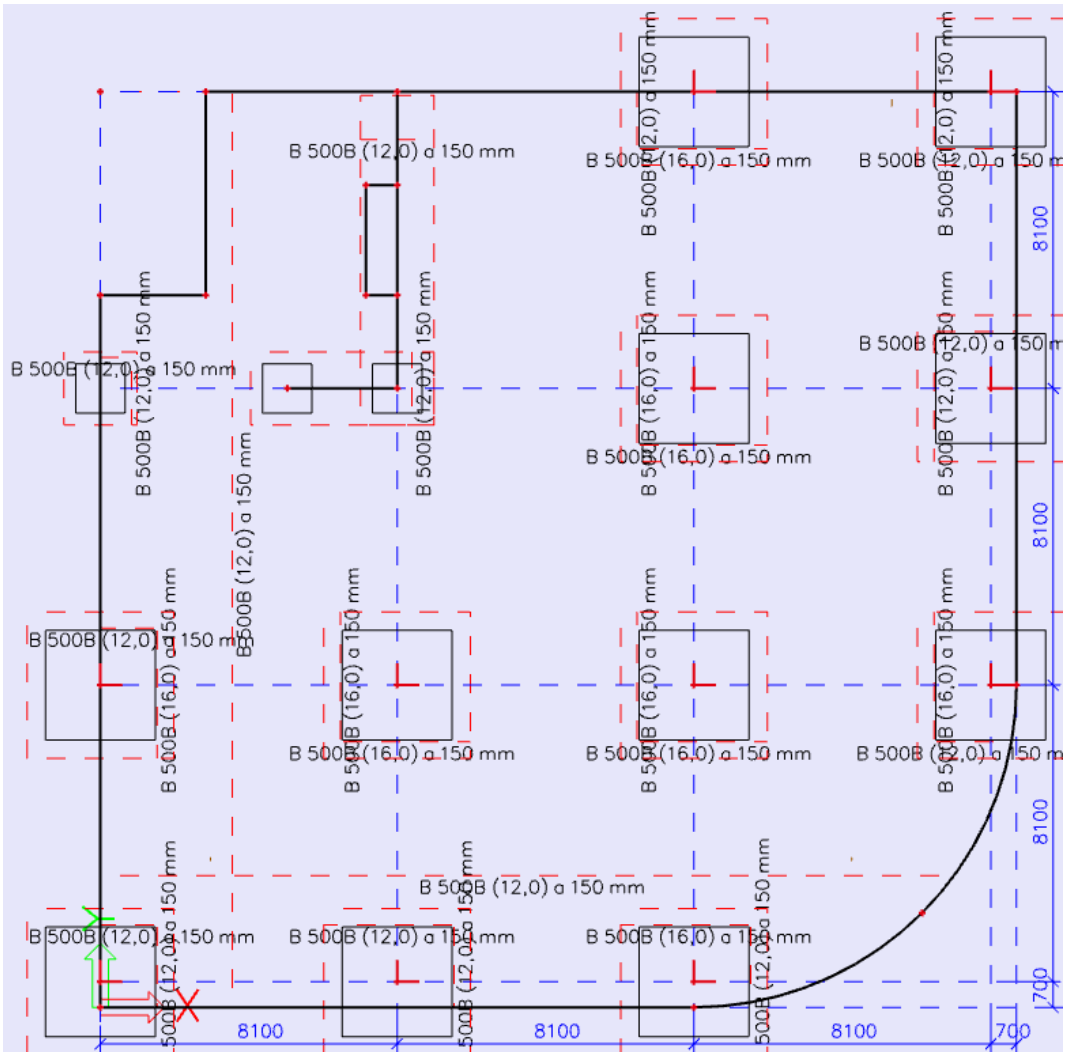
Zároveň je vždy vhodné zkontrolovat, zda celý průměrovací bod leží uvnitř oblasti záporného momentu. *Pro příklad:* Pokud bychom zprůměrovali moment +100 kNm/m s momentem -80 kNm/m, výsledkem by byl moment 10 kNm/m. Je však zřejmé, že takový výsledek by byl nesmyslný. Izolinii nulového momentu zapneme přes Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D. Vidíme, že v našem případě jsou průměrovací body uvnitř této izolinie, velikost průměrovacích bodů je tedy přijatelná.

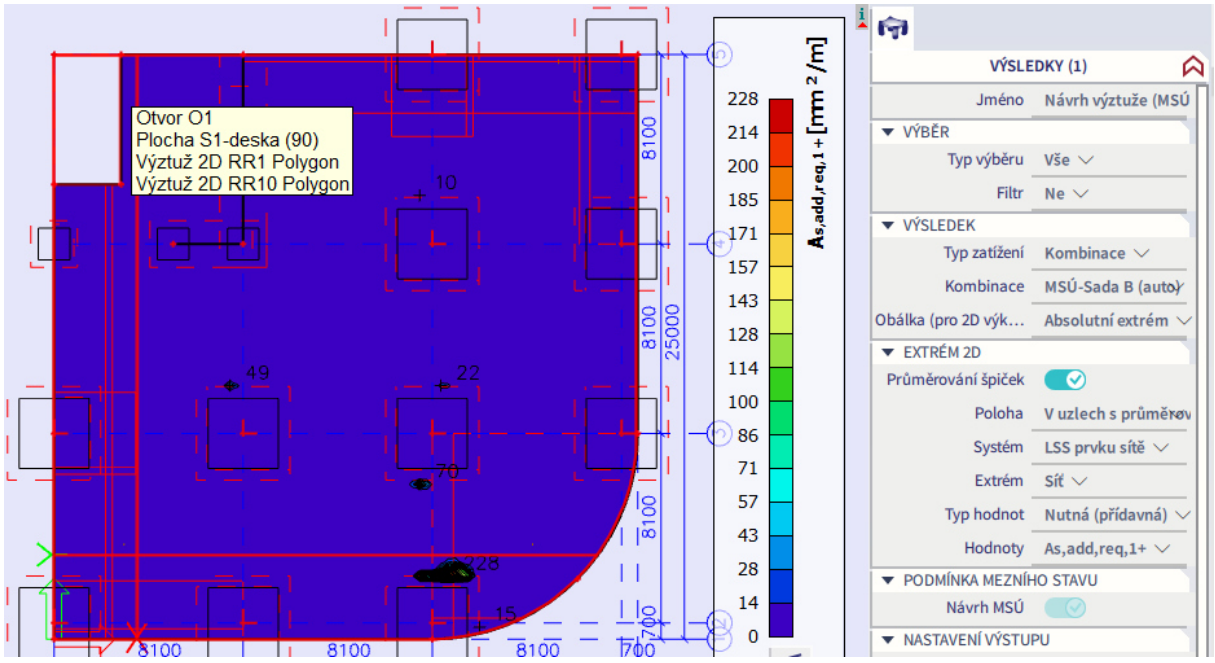


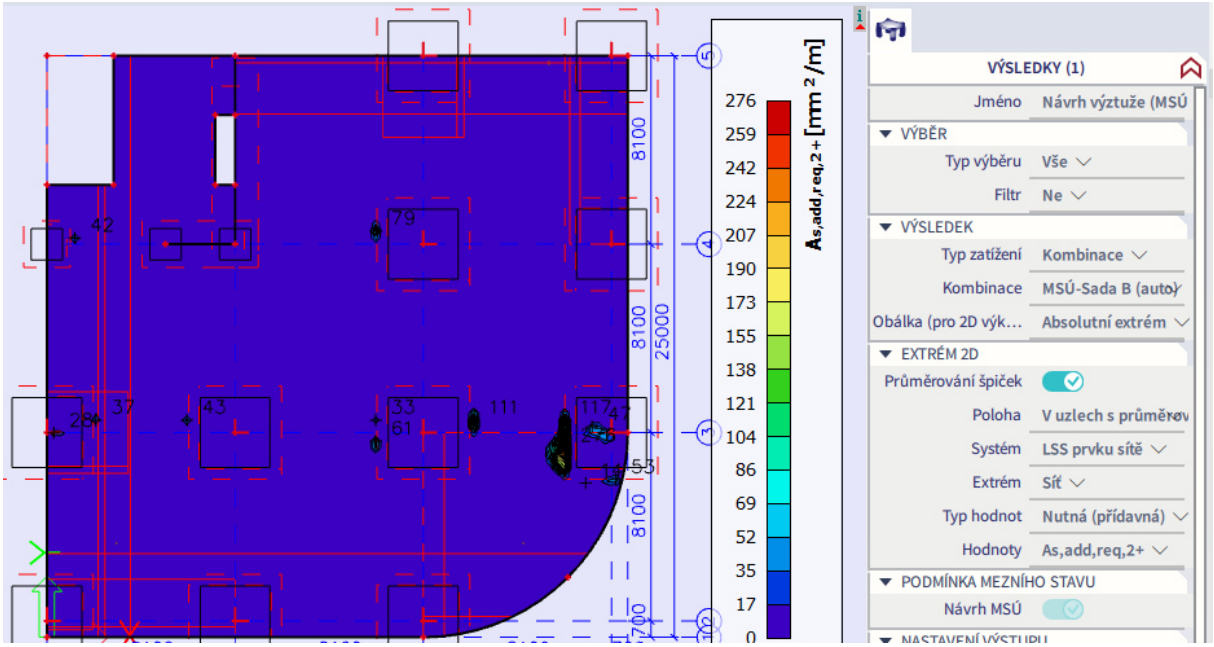


Pro vnitřní sloupy navrhneme příložky Ø16/150 mm (1333 mm^2/m) v obou směrech na oblasti 4x4 m. Pro ostatní podpory použijeme příložky Ø16/150 mm nebo Ø12/150 (752 mm^2/m) v potřebném směru a na potřebné ploše, viz obrázek níže. Příložky vložíme do konstrukce jako uživatelskou výztuž. Pro zadání opět využijeme možnost zadat příložky na oblast zadaných rozměrů definovanou bodem nebo linií.

Posléze znovu vykreslíme požadované plochy příložek. Kromě oblastí singularit je potřebná výztuž všude pokryta, návrh je tedy vyhovující.


B 500B (12,0) a 150 mm
B 500B (16,0) a 150 mm
8100
700


Otvor O1
Plocha S1-deska (90)
Výztuž 2D RR1 Polygon
Výztuž 2D RR10 Polygon
As,add,req,1+ [mm²/m]
228
214
200
185
171
157
143
128
114
100
86
71
57
43
28
14
0
VÝSLEDKY (1)
Jméno
Návrh výztuže (MSÚ
VÝBĚR
Typ výběru
Vše
Filtr
Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení
Kombinace
Kombinace
MSÚ-Sada B (auto)
Obálka (pro 2D výk...
Absolutní extrém
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha
V uzlech s průměrov
Systém
LSS prvku sítě
Extrém
Síť
Typ hodnot
Nutná (přídavná)
Hodnoty
As,add,req,1+
PODMÍNKA MEZNÍHO STAVU
Návrh MSÚ
NASTAVENÍ VÝSTUPU

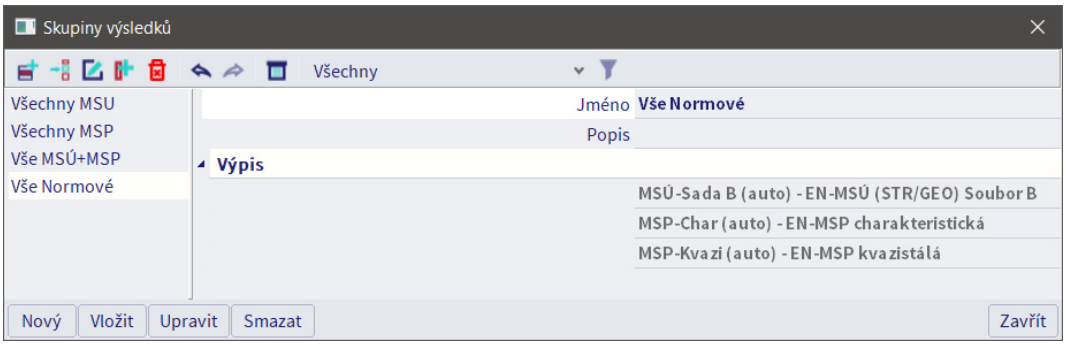


Poznámka k zadávání výztuže: Ve Scia vytváříme výpočetní model, nikoliv výkres výztuže konstrukce. V tomto případě by skutečně byly v konstrukci navrženy zvlášť základní profily a zvlášť příložky (mají různé průměry i délku), ale u příložek by bylo nutno ještě ověřit a případně upravit délku kotvení. V konstrukci by navíc byla lemovací výztuž kolem otvorů a okrajů desky. Tyto podrobnosti je zbytečné zadávat do modelu, ale ve výkresu výztuže jsou samozřejmě nezbytné.

Návrh podélné výztuže desky na MSÚ+MSP

Zvolíme-li ve Vlastnostech Typ zatížení = Třídy, můžeme při návrhu požadované plochy výztuže kromě kritéria únosnosti částečně zohlednit také kritérium použitelnosti konstrukce. Návrh v současné podobě zahrnuje podmínky mezního stavu únosnosti, omezení šířky trhlin a omezení napětí ve výztuži.

Třída zatížení představuje soubor kombinací zatěžovacích stavů. Výsledky zobrazené pro třídu vyhovují všem kombinacím, které jsou ve třídě obsaženy. Abychom dále získali relevantní výsledky, vytvoříme si přes Akce > Zatížení > Skupiny výsledků novou třídu obsahující všechny normové kombinace, kterou nazveme Vše Normové. Ta nebude na rozdíl od automaticky vytvořené třídy Vše MSÚ+MSP obsahovat námi ručně vytvořené kombinace, které sloužily pouze pro kontrolu výsledků.



Spojený návrh na MSÚ+MSP má však v současné podobě dva nedostatky:

- Nezohledňuje kritérium průhybů a omezení napětí v betonu. MSP tedy nejsou pokryty kompletně.
- Pokud posudek nevyhoví, není možné pomocí grafického zobrazení výsledků rychle zjistit, které konkrétní kritérium je v daném místě konstrukce příčinou. Informaci je možno dohledat v náhledu posudku, což je však poměrně pracné (viz dříve) a pro vyhodnocení ve více místech konstrukce nepraktické.

Proto je spojený návrh na MSÚ+MSP v tomto dokumentu zmíněn pouze pro úplnost. Pro větší názornost i dosažení lepší kontroly nad postupem výpočtu je v aktuální verzi programu vhodnější provádět návrh na MSÚ a MSP odděleně.

V případě naší konstrukce by požadované plochy výztuže při návrhu na MSÚ+MSP pro třídu Vše Normové byly stejné, jako plochy výztuže stanovené návrhem na MSÚ pro kombinaci MSÚ-SadaB. Šířka trhlin a napětí ve výztuži nejsou tedy pro konstrukci rozhodujícími kritérii návrhu, jak se lze přesvědčit i v náhledu pro jeden z kritických bodů konstrukce (poslední sloupec ΔA udává nutný přídavek k návrhu plochy výztuže dle MSÚ):

Souhrn návrhu

	Stav	α_σ [°]		m_{Ed} [kNm]	n_{Ed} [kN]	$A_{s,ult,\sigma}$ [mm²]	$A_{s,serv,\sigma}$ [mm²]	σ_{ct} [MPa]	σ_s [MPa]	w_k [mm]	$\Delta A_{s,serv}$ [mm²]
σ_I[+]	MSP-Char (auto)/7	-77,8	Ch	**-0,23**	**0,00**	336	336	0,02	-0,1	0.000	Δ_{1+}=**0**
			Qp	**-0,23**	**0,00**			≤ 2,60	≤ 400,0	≤ 0,400	Δ_{2+}=**0**
σ_{II}[+]	MSP-Char (auto)/7	12,2	Ch	**57,69**	**0,00**	16	16	-3,75	18,7	0.000	Δ_{1+}=**0**
			Qp	**57,69**	**0,00**			≤ 2,60	≤ 400,0	≤ 0,400	Δ_{2+}=**0**
σ_I[-]	MSP-Char (auto)/6	12,1	Ch	**69,69**	**0,00**	1014	1014	4,38	238,2	0,160	Δ_{1-}=**0**
			Qp	**61,29**	**0,00**			> 2,60	≤ 400,0	≤ 0,400	Δ_{2-}=**0**
σ_{II}[-]	MSP-Char (auto)/6	102,1	Ch	**0,45**	**0,00**	382	382	0,03	0,0	0.000	Δ_{1-}=**0**
			Qp	**-0,03**	**0,00**			≤ 2,60	≤ 400,0	≤ 0,400	Δ_{2-}=**0**

α_σ - směr hlavního napětí; m_{Ed}, n_{Ed} - přepočtené výpočtové zatížení; $A_{s,ult/serv,\sigma}$ - přepočtené nutná plocha výztuže z návrhu podle MSÚ/MSP včetně konstrukčních zásad; σ_{ct} - maximální tahové napětí v betonu (porovnávané s σ_{cr}), σ_s - napětí v tažené výztuži (porovnávané s $\sigma_{s,lim}$); w_k - šířka trhlin (porovnávaná s w_{max}); $\Delta A_{s,serv}$ - zvětšit nutnou plochu výztuže z návrhu podle MSP

Posouzení desky na protlačení

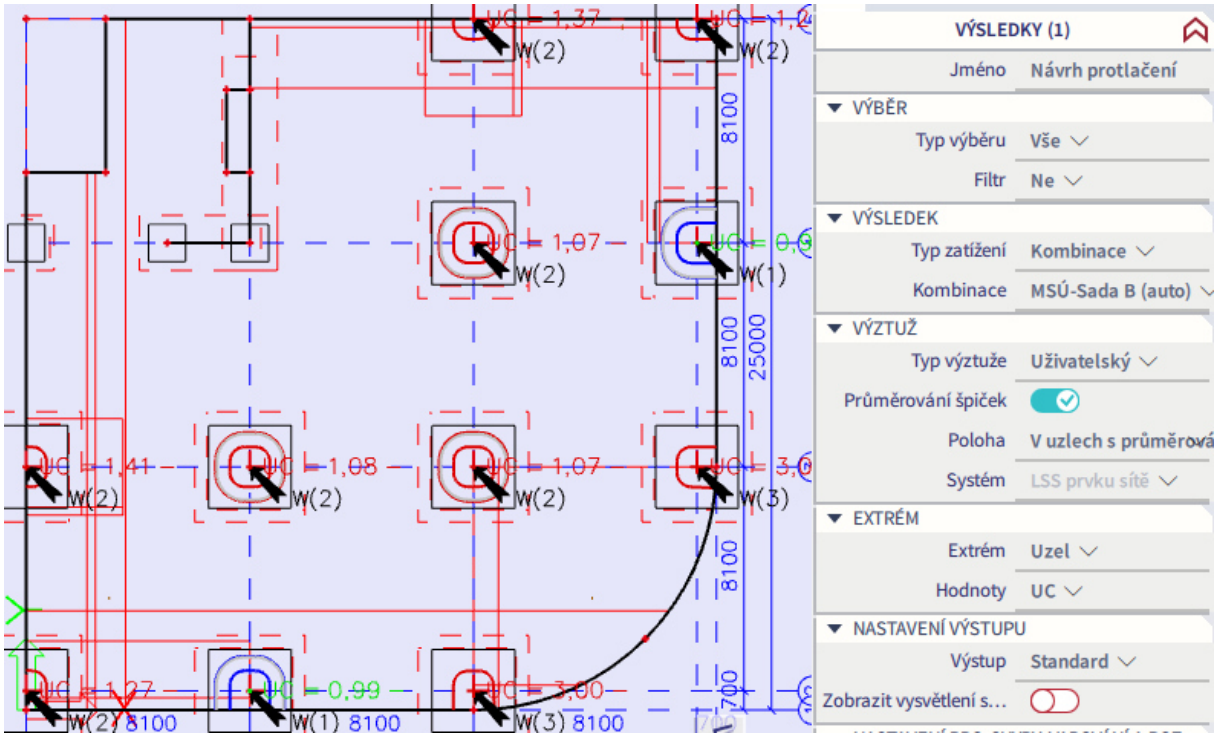
Pomocí Akce > Beton > Návrh protlačení podle MSÚ můžeme provést posudek protlačení. Nastavíme výpočet pro normovou kombinaci. Abychom viděli hodnoty posouzení pro všechny sloupy, vybereme Extrém = Uzel. Typ výztuže:

- Nutná – jako plocha podélné výztuže se použije spočtená nutná plocha výztuže. Lze s výhodou použít, pokud v konstrukci ještě není zadána podélná výztuž.
- Předpokládaná – použije se plocha podélné výztuže zadaná v šabloně Výchozího nastavení návrhu.
- Uživatelský – použije se uživatelská výztuž skutečně vložená do konstrukce uživatelem. Použijeme.

Hodnoty:

- UC – celkový jednotkový posudek (unity check)
- UCvRdmax – jednotkový posudek únosnosti tlačené diagonály ($v_{Ed,0}/v_{Rd,max}$)
- UCvRdc – jednotkový posudek únosnosti desky bez výztuže v základním kontrolovaném obvodu ($v_{Ed,1}/v_{Rd,c}$)
- UCvRd,cs – jednotkový posudek únosnosti desky s výztuží v základním kontrolovaném obvodu ($v_{Ed,1}/v_{Rd,cs,1}$)
- UCAsw,det – jednotkový posudek konstrukčních zásad na protlačení
- Asw,tot – plocha smykové výztuže navržená uvnitř základního kontrolovaného obvodu. Program navrhuje třmínkovou výztuž (nikoliv trny).
- VEd – návrhová síla na protlačení
- Pokud pro UC vyjde hodnota větší než 1 (červený popisek), posudek nevyhověl. Hodnota menší než 1 (zelený popisek) znamená, že posudek vyhověl.

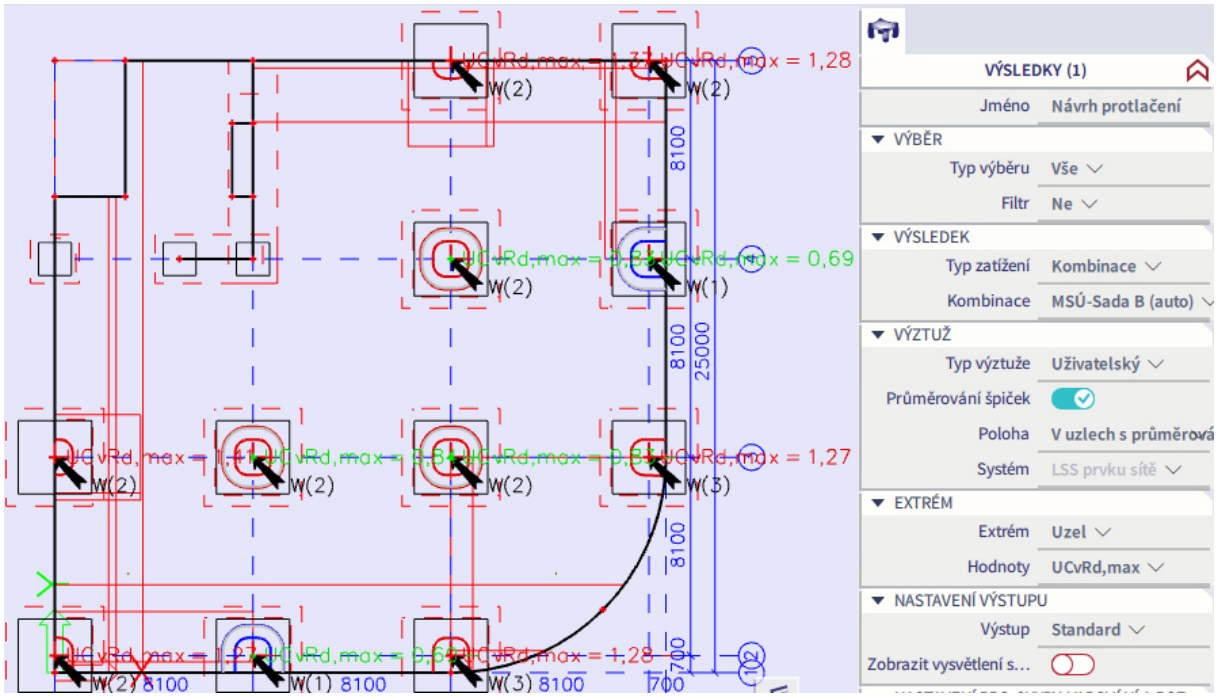
Vykreslíme UC. Vidíme, že konstrukce na protlačení nevyhovuje.



Barvy kontrolovaných obvodů:

- Zelená = vyhovuje beton bez výztuže
- Modrá = je třeba navrhnout výztuž na protlačení
- Šedá = u_{out}
- Červená = není možné vyztužit, nutno upravit konstrukci

Na některých krajních a rohových sloupech nevyhoví již podmínka únosnosti tlačené diagonály.



Podrobnější číselné hodnoty pro všechny posuzované body lze vypsat přes Tabulkové výsledky, které však v použité verzi programu nejsou dostupné. Zobrazíme proto Náhled typu Standard pro jeden z vnitřních sloupů konstrukce. Je možno zkontrolovat např. spočtené délky kontrolovaných obvodů apod.

Shrnutí

Jméno	Stav	Případ protlačení	Tvar protlačení	$UC_{vRd,max}$ [-]	$UC_{vRd,c}$ [-]	Obvody smykové výztuže	$UC_{vRd,cs}$ [-]	$UC_{Asw,det}$ [-]	UC [-] Posudek	CH/V/P
N17	MSÚ-Sada B (auto)/1	Vnitřní sloup	Obdélník (400;400)	**0,84**	**1,61**	4x 18Ø8(radiální) 130+3x160=610	**1,08**	**1,00**	1,08 Nevyhovuje	W6/102, W6/117

Beton

Jméno	Stav	Případ protlačení β [-]	Tvar protlačení	V_{Ed} [kN] ΔV_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm] $M_{Ed,z}$ [kNm]	Deska h [m]	Materiál f_{cd} [MPa]	d_{eff} [m] ρ_l [%]	u_0 [m] u_1 [m]	$v_{Ed,u0}$ [MPa] $v_{Ed,u1}$ [MPa]	$v_{Rd,max}$ [MPa] $v_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,max}$ [-] $UC_{vRd,c}$ [-]
N17	MSÚ-Sada B (auto)/1	Vnitřní sloup 1,15	Obdélník (400;400)	**1091,15** 0,00	35,85 32,85	Strop 0,30	C25/30 16,67	0,26 0,80	1,600 4,873	3,01 0,99	3,60 0,61	**0,84** **1,61**

Výztuž

Jméno	Stav	Obvody smykové výztuže	u_{out} [m] a_{out} [mm]	$s_{t,u1}$ [mm] $s_{t,out}$ [mm]	Kontrolované obvody (vzdálenost/únosnost)	Materiál $f_{ywd,ef}$ [MPa]	$A_{sw,req}$ [mm²] $A_{sw1,min}$ [mm²]	A_{sw} [mm²] $A_{sw,tot}$ [mm²]	$v_{Rd,cs}$ [MPa] $k_{max} v_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,cs}$ [-] $UC_{Asw,det}$ [-]
N17	MSÚ-Sada B (auto)/1	4x 18Ø8(radiální) 130+3x160=610	7,869 997	246 302	521/108%, 1042/75%	B 500B 315,1	873 26	905 **3619**	1,01 0,92	**1,08** **1,00**

Vzhledem k výsledkům posouzení je jasné, že bude nutno upravit geometrii konstrukce. Přesto si ještě na stávající jednoduché konstrukci ukážeme posouzení na MSP.

Posouzení desky na MSP – trhliny

Modul Beton umožňuje stanovit šířky trhlin v souladu se zvolenou normou. Nejedná se o šířky trhlin spočtené nelineárním výpočtem, ale o normově závislý odhad šířky trhlin podle geometrie konstrukce, jejího vyztužení, parametrů materiálů a zatížení. Program umožňuje stanovit šířku trhlin postupem popsaným v Eurokódu 2, který vychází z maximální vzdálenosti trhlin a rozdílu poměrného přetvoření výztuže a poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami. Limitní šířka trhlin je dána zvolenou třídou prostředí, v našem případě pro prostředí XC1 platí 0,4 mm.

Pro posouzení použijeme normovou kvazistálou kombinaci zatížení. Pro zdárný výpočet šířky trhlin je potřeba určit, zda chceme zohlednit dlouhodobé účinky zatížení. Doba trvání zatížení se ve výpočtu projevuje součinitelem tahového zpevnění k_t. Je-li v Nastavení betonu (konstrukce) v sekci MSP zapnuta volba Použití efektivního modulu průřezu, pak se jednak místo střední hodnoty modulu průřezu použije hodnota efektivní a jednak se pro výpočet šířky trhlin použije hodnota $k_t = 0{,}4$ pro dlouhodobé působení (náš případ). Jinak by se použila hodnota $k_t = 0{,}6$ pro krátkodobé působení.

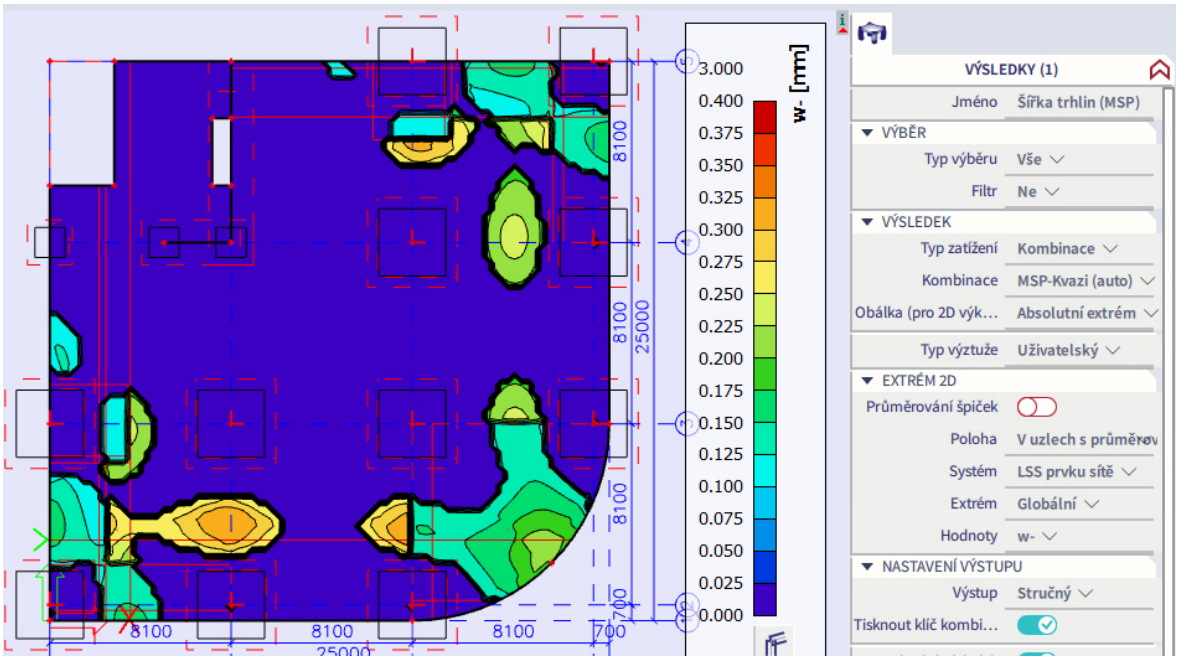
Výpočet šířky trhlin provedeme přes Akce > Beton > Posudek šířky trhlin 2D podle MSP. V závislosti na volbě položky Typ výztuže ve Vlastnostech je možné provést posouzení pro tři varianty výztuže:

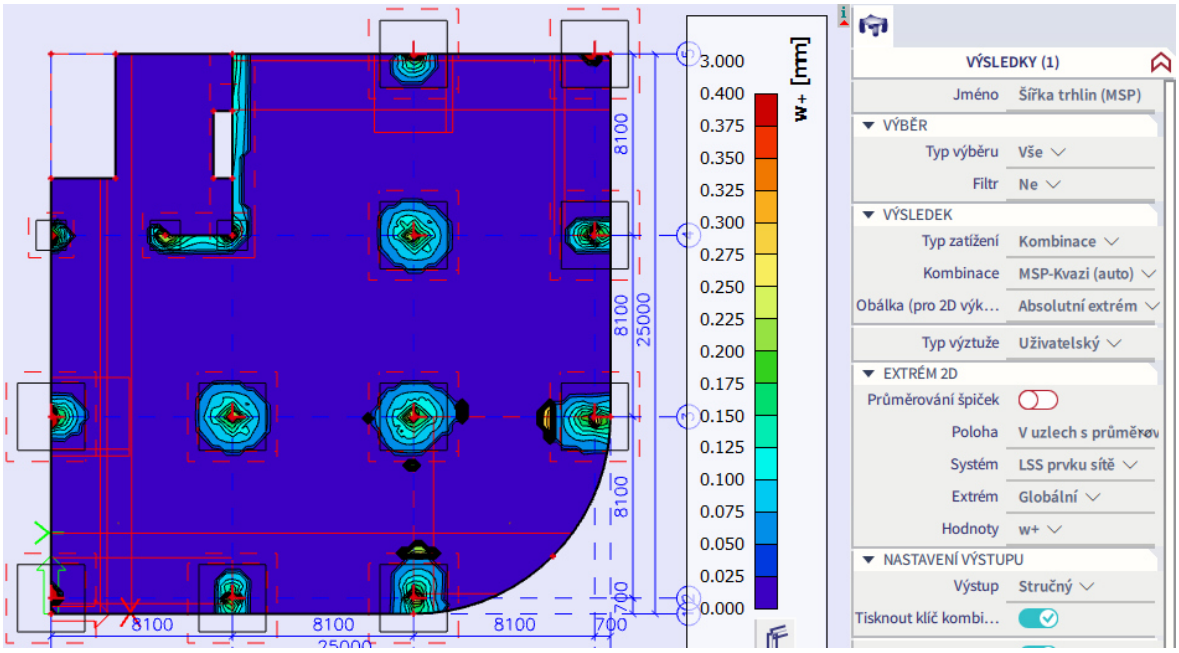
- Nutná – pro výpočet se uvažuje teoreticky nutná výztuž spočtená pro vybranou kombinaci. Výhodou této volby je, že umožňuje rychle odhadnout šířky trhlin bez nutnosti pracně zadávat uživatelskou výztuž do konstrukce.
- Předpokládaná – uvažuje se výchozí výztuž zadaná v šabloně ve Výchozím nastavení návrhu.
- Uživatelská – uvažuje se výztuž, kterou uživatel vložil do konstrukce. Tato volba je nejpřesnější, ale musí již být zadána výztuž. Jelikož již máme výztuž zadánu, můžeme ji použít.

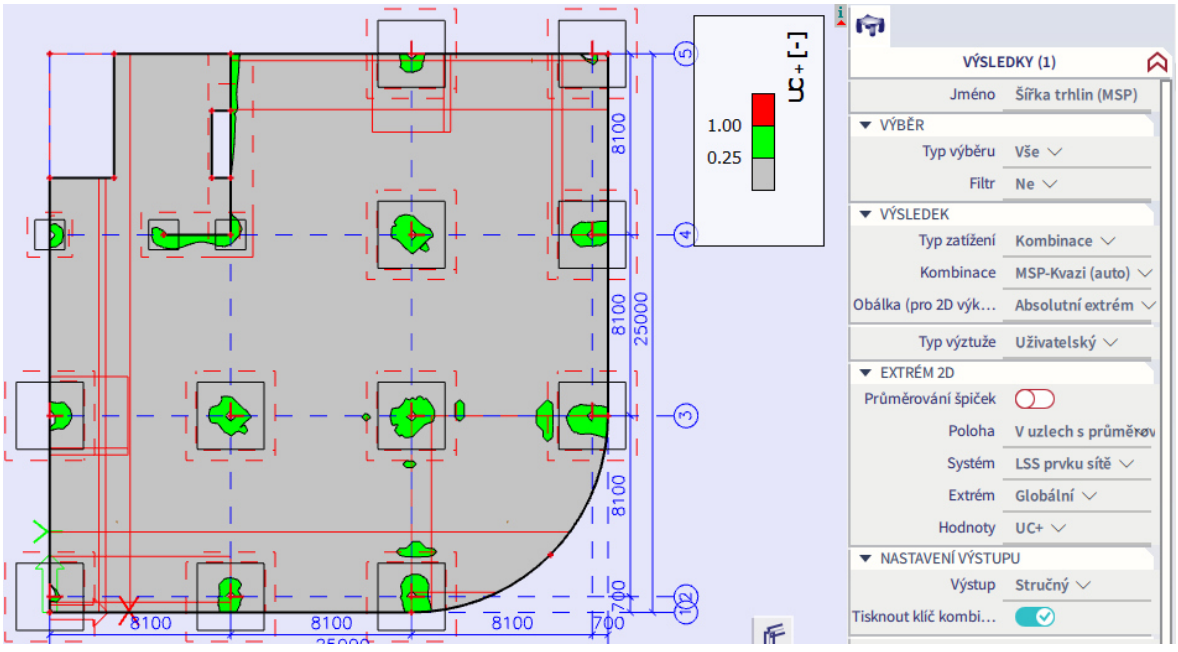
Pro výpočet ve Vlastnostech vypneme volbu Průměrování špiček. Při posudku MSP pracujeme s konstrukcí v pružném stavu, nelze tedy uvažovat její plastické chování (šlo by však použít průměrování na minimální oblasti pro ošetření singularit). Po provedení výpočtu je možno zobrazit tyto hodnoty:

- UC – jednotkový posudek, poměr mezi spočtenou a limitní šířkou trhlin. Je-li UC < 1, šířka trhlin vyhovuje.
- w+/- – spočtená šířka trhlin na kladném/záporném povrchu ve směru osy *z*.
- wmax+/- – limitní šířka trhlin na kladném/záporném povrchu ve směru osy *z*.
- UC+/- – jednotkový posudek na kladném/záporném povrchu ve směru osy *z*.

Obrázky níže ukazují postupně vykreslení w-, w+ a UC+ (po vhodné úpravě palety přes Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D). Je vidět, že šířky trhlin jsou vyhovující kromě velmi malých oblastí na horním povrchu. Tyto nevyhovující oblasti se nacházejí uvnitř svislých nosných konstrukcí, takže vznik trhlin v nich je nereálný.


w- [mm]
3.000
0.400
0.375
0.350
0.325
0.300
0.275
0.250
0.225
0.200
0.175
0.150
0.125
0.100
0.075
0.050
0.025
0.000
8100
8100
8100
700
25000
VÝSLEDKY (1)
Jméno
Šířka trhlin (MSP)
VÝBĚR
Typ výběru
Vše
Filtr
Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení
Kombinace
Kombinace
MSP-Kvazi (auto)
Obálka (pro 2D výk…
Absolutní extrém
Typ výztuže
Uživatelský
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha
V uzlech s průměrov
Systém
LSS prvku sítě
Extrém
Globální
Hodnoty
w-
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Výstup
Stručný
Tisknout klíč kombi…


w+ [mm]
3.000
0.400
0.375
0.350
0.325
0.300
0.275
0.250
0.225
0.200
0.175
0.150
0.125
0.100
0.075
0.050
0.025
0.000
8100
8100
8100
700
25000
VÝSLEDKY (1)
Jméno
Šířka trhlin (MSP)
VÝBĚR
Typ výběru
Vše
Filtr
Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení
Kombinace
Kombinace
MSP-Kvazi (auto)
Obálka (pro 2D výk…
Absolutní extrém
Typ výztuže
Uživatelský
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha
V uzlech s průměrov
Systém
LSS prvku sítě
Extrém
Globální
Hodnoty
w+
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Výstup
Stručný
Tisknout klíč kombi…


UC+ [-]
1.00
0.25
8100
8100
8100
700
25000
VÝSLEDKY (1)
Jméno
Šířka trhlin (MSP)
VÝBĚR
Typ výběru
Vše
Filtr
Ne
VÝSLEDEK
Typ zatížení
Kombinace
Kombinace
MSP-Kvazi (auto)
Obálka (pro 2D výk…
Absolutní extrém
Typ výztuže
Uživatelský
EXTRÉM 2D
Průměrování špiček
Poloha
V uzlech s průměrov
Systém
LSS prvku sítě
Extrém
Globální
Hodnoty
UC+
NASTAVENÍ VÝSTUPU
Výstup
Stručný
Tisknout klíč kombi…

Poznámka: Při vykreslování výsledků se může stát, že se výsledky i přes správné nastavení v menu Vlastnosti nepodaří vykreslit. Například bude zapnuta volba Standardní výsledek, ale výsledky v ploše se nebudou zobrazovat, přestože výpočet proběhne správně (bude možné zobrazit výsledky do Náhledu). V takovém případě mohou pomoci následující kroky:

- Vymazat výsledky přes Akce > Konstrukce > Čistič > Všechny položky vztahující se k výsledkům a znovu přepočítat model.
- Vymazat obsah složky Temp po vypnutí programu (c:\Users*jméno počítače*\ESA*verze*\Temp).
- Vymazat obsah složky User po vypnutí programu (c:\Users*jméno počítače*\ESA*verze*\User).
- Nastavit horší kvalitu vykreslování v Hlavní menu > Pohled > Nastavení prostředí.

Posouzení desky na MSP – průhyby

Přes Akce > Výsledky můžeme vykreslit lineární deformace konstrukce. Reálné průhyby železobetonových konstrukcí jsou však násobně větší vlivem změn tuhostí průřezů po vzniku trhlin a reologických změn betonu. Modul Beton umožňuje poměrně jednoduše stanovit tzv. normově závislé průhyby (NZP). Nejedná se o průhyby stanovené nelineárním výpočtem, ale spočtené postupem odpovídajícím Eurokódu 2. Je proveden lineární výpočet s efektivním modulem pružnosti (pro zohlednění vlivu dotvarování) a určí se, kde v konstrukci vzniknou trhliny. Vznik trhlin se posuzuje podle charakteristické kombinace, protože ztráta tuhosti způsobená vznikem trhlin je nevratná. Spočtou se změny tuhosti konstrukce po vzniku trhlin a na konstrukci s upravenými tuhostmi se znovu lineárním výpočtem spočtou průhyby. Výpočet lze označit jako kvazi-nelineární.

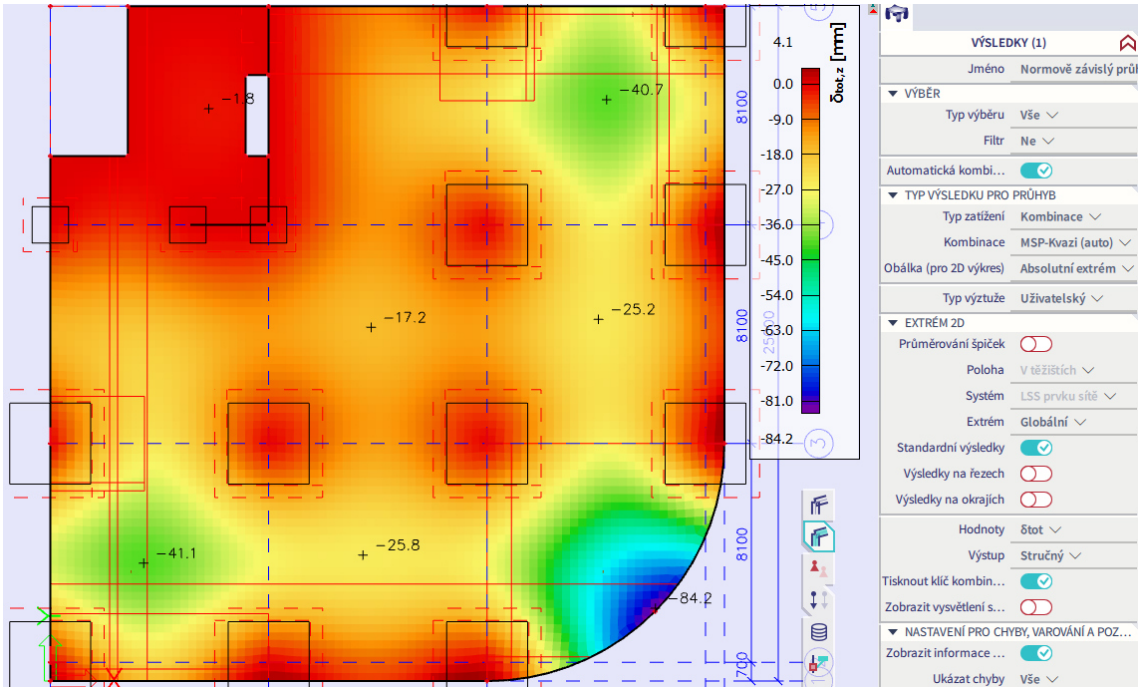
Pro zdárný výpočet NZP je potřeba:

- Mít dostatečně jemnou síť. V Nastavení sítě je nutné mít nastaven průměrný počet prvků na 1D dílci alespoň 5 (v tuto chvíli se neuplatní, jelikož nemáme zadány 1D dílce).
- V Nastavení pro betonové konstrukce provést nastavení výpočtu součinitele dotvarování. Budeme uvažovat stav na konci životnosti, tj. ve stáří 50 let. Vlhkost 50 % (obvyklá hodnota pro vnitřní konstrukce).

Výpočet průhybů provedeme pro kvazistálou kombinaci přes Akce > Beton > Normově závislý průhyb. V závislosti na volbě položky Typ výztuže ve Vlastnostech je možné provést posouzení pro tři varianty výztuže:

- Nutná – pro výpočet průhybů se uvažuje teoreticky nutná výztuž spočtená pro vybranou kombinaci. Výhodou této volby je, že umožňuje rychle odhadnout reálné průhyby bez nutnosti pracně zadávat výztuž do konstrukce.
- Předpokládaná – uvažuje se výchozí výztuž zadaná v šabloně ve Výchozím nastavení návrhu.
- Uživatelská – uvažuje se výztuž, kterou uživatel vložil do konstrukce. Tato volba je nejpřesnější. Jelikož již máme výztuž zadánu, můžeme ji použít.

Pro výpočet průhybů ve Vlastnostech vypneme volbu Průměrování špiček (vysvětlení viz trhliny). Automaticky je vybrána Poloha V těžištích. Pro výpočet použijeme kombinace podle normy (volba Automatická kombinace). Úpravy použitých kombinací jsou umožněny pouze pro speciální účely.



Po provedení výpočtu je možno zobrazit tyto hodnoty:

- UC – jednotkový posudek, poměr mezi spočteným a dovoleným průhybem. Je-li UC < 1, průhyb vyhovuje.
- δtot – celkový spočtený průhyb.
- δtot,lim – dovolený průhyb, nastaví se v Nastavení betonu (konstrukce). Obvykle L/250.
- δlin – lineární průhyb (bez vlivu trhlin a dotvarování+smršťování).
- δimm – okamžitý průhyb (s vlivem trhlin, krátkodobý = bez vlivu dotvarování+smršťování, pouze od stálého zatížení).
- δshort – krátkodobý průhyb (s vlivem trhlin, s vlivem krátkodobých proměnných zatížení).
- δcreep – průhyb od dotvarování.
- δshr – průhyb od smršťování.
- δadd – přídavný průhyb (tj. δtot mínus δimm), odpovídá průhybu po zabudování prvku do konstrukce.
- δadd,lim – dovolený přídavný průhyb, nastaví se v Nastavení betonu (konstrukce). Obvykle L/500.

Je patrné, že naše konstrukce nevyhovuje v místě zaobleného okraje desky (limitní průhyb je 1/250*11450 mm = 45,8 mm).

Úprava geometrie konstrukce – přidání žeber a hlavic

Stanovení nových rozměrů

S ohledem na výsledky analýzy protlačení a průhybů provedeme úpravy konstrukce. **Desku ztenčíme na 250 mm a zvýšíme třídu betonu na C30/37.** Do míst sloupů přidáme deskové hlavice a po obvodě klasický trám (na nepřekonzolovaných okrajích) nebo deskové žebro (na překonzolovaných okrajích). Rozměry klasického trámu budou:

$$h = \frac{1}{12} l = \frac{1}{12} \cdot 8100 = 675 \text{ mm}$$

$b = 400$ mm (jako sloup) => Návrh: 400/650 mm

Moment setrvačnosti trámu je:

$$I = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 650^3 = 9{,}15 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

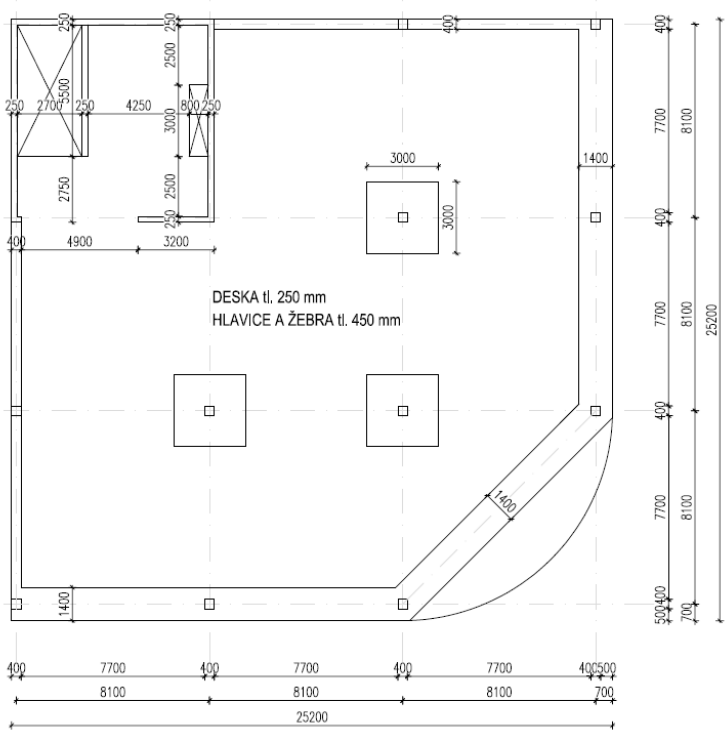
Požadujeme šířku deskového žebra $b_{ž}$ = 1400 mm (délka konzoly 700 mm od osy, symetrické žebro). Žebro přidáváme do desky proto, abychom zvýšili její tuhost v kritických místech. Potřebná výška pro zachování stejné ohybové tuhosti jako při použití trámu bude:

$$h_{ž} = \sqrt[3]{\frac{12I}{b_{ž}}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 9{,}15 \cdot 10^9}{1400}} = 428 \text{ mm}$$

Navrhneme tedy obvodové žebro výšky 450 mm. Stejnou výšku použijeme i pro deskové hlavice nad sloupy. Pro návrh půdorysných rozměrů hlavice využijeme velikost u_{out} spočtenou při posouzení protlačení. Nejvyšší hodnota byla 8,799 m. Budeme požadovat, aby v desce s hlavicemi nebyla nutná výztuž na protlačení. To by mělo být splněno, pokud hlavice pokryje oblast uvnitř původního u_{out}, která měla poloměr:

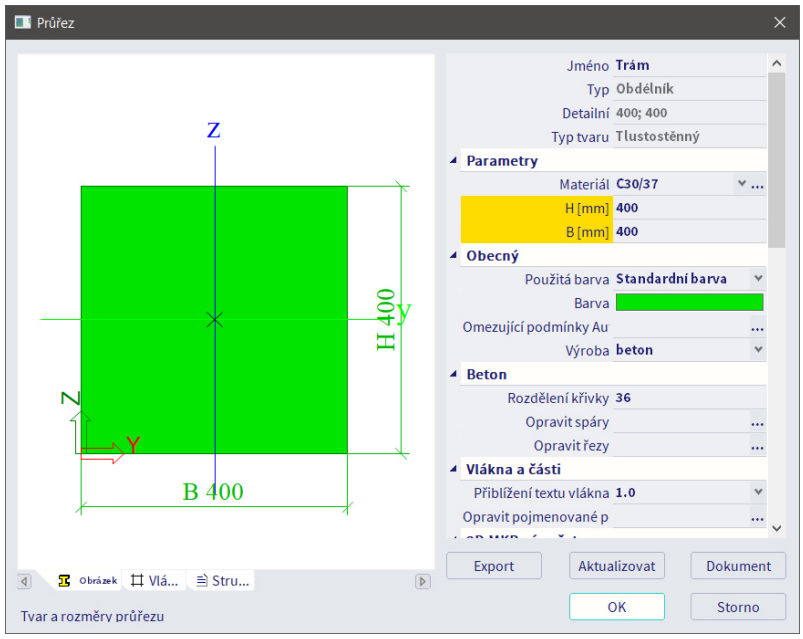
$$r_{out} = \frac{u_{out}}{2\pi} = \frac{7{,}869}{2\pi} = 1{,}25 \text{ m}$$

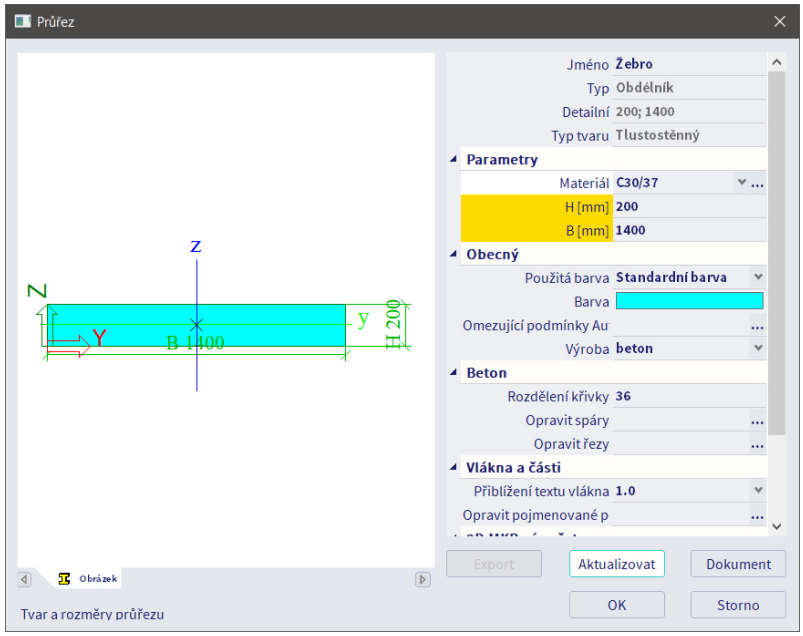
Navrhneme hlavici o půdorysu 3x3 m. Schéma upravené geometrie konstrukce:



Zadání žeber

Jakékoliv liniové ztužující prvky (trámy, desková žebra), které mají správně spolupůsobit s deskou, musíme zadávat jako tzv. žebra (tj. nikoliv jako samostatné 1D dílce – viz ilustrativní příklad na konci této kapitoly). Nadefinujeme průřezy žeber pro naši konstrukci přes Akce > Konstrukce > Průřez. Modelovat budeme pouze části žeber ležící pod deskou, které následně zalícujeme se spodní hranou desky.





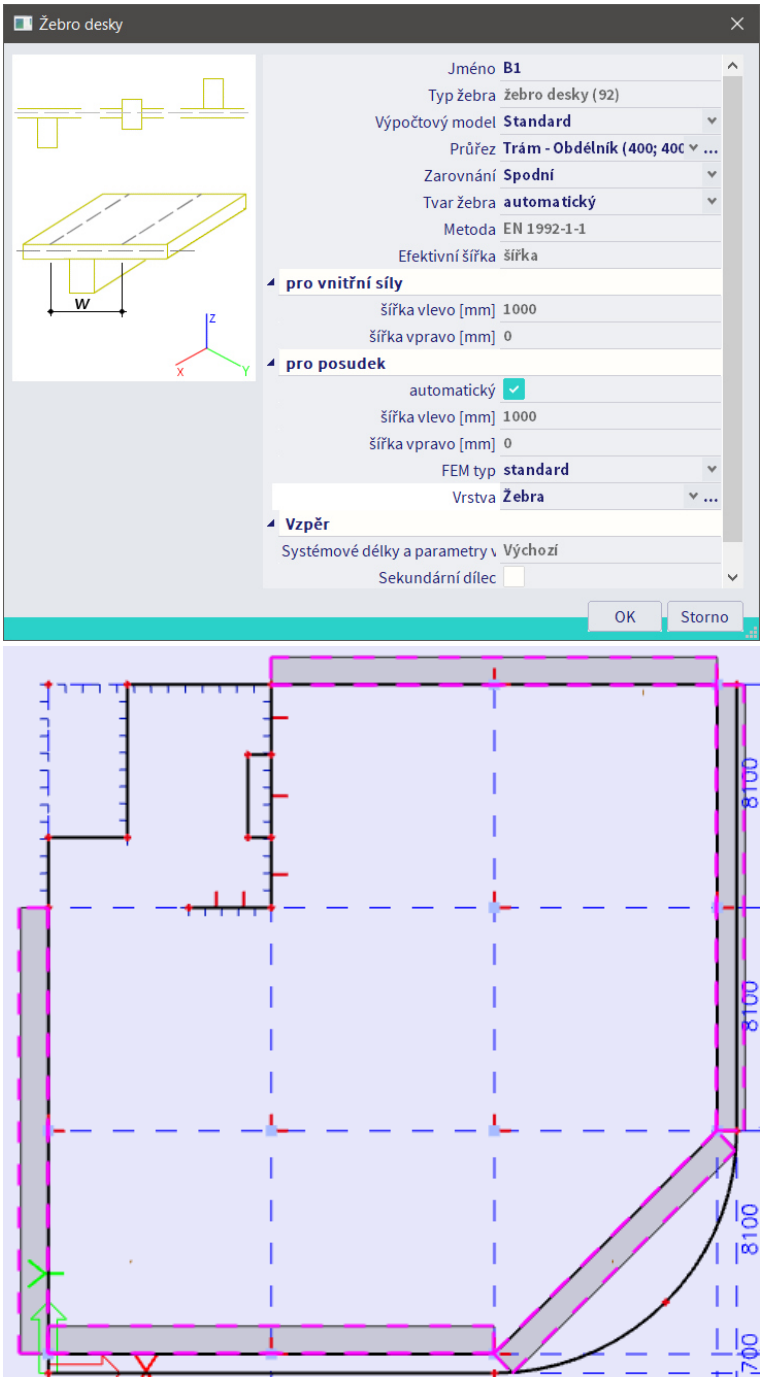
Vytvoříme novou vrstvu Žebra, do které budeme obvodová žebra zadávat. Žebra budeme vkládat přes Panel > Konstrukce > 1D dílce > Žebro. Vysvětlivky:

- Volba Zarovnání určuje polohu žebra. V našem případě bude zadáno Spodní, aby žebro bylo pod deskou.
- Volba Tvar žebra určuje, na které straně od žebra se bude nacházet spolupůsobící šířka desky. Při volbě Automatický dojde k automatickému stanovení polohy a šířky spolupůsobící části desky. Při jiné volbě je možno explicitně zadat ručně spočtenou hodnotu.

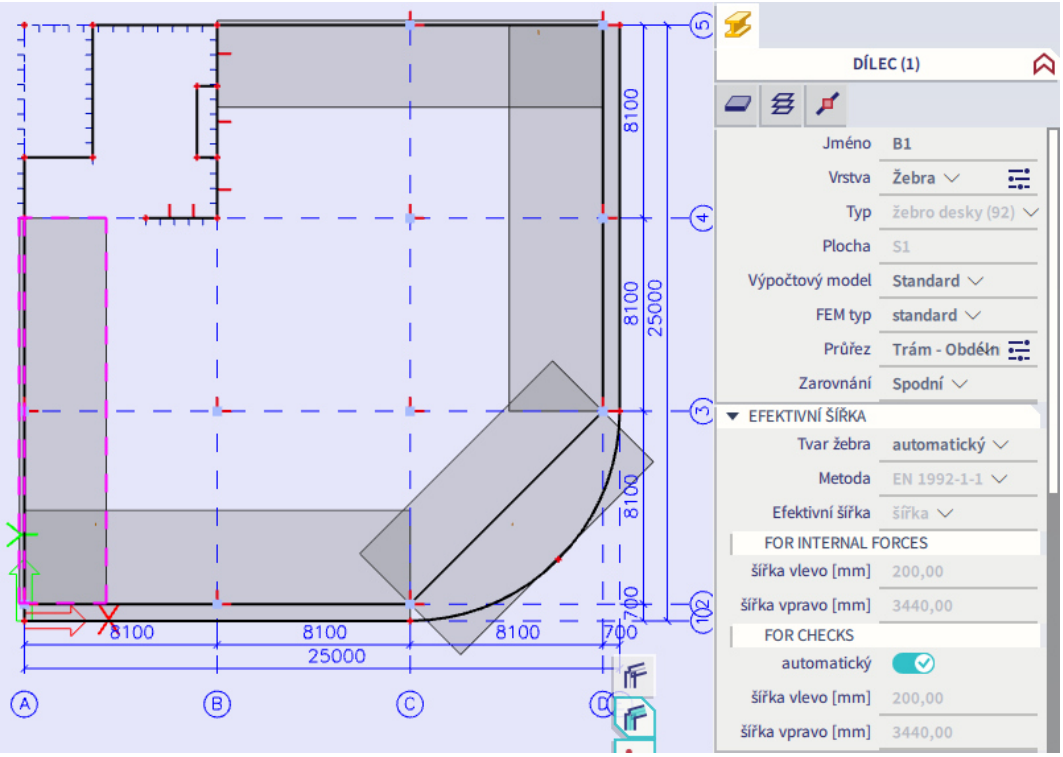
Z pedagogických důvodů se zadání žeber pokusíme provést několika způsoby. První dva, ač lákavě snadné, nepovedou k úspěchu. Teprve třetí, uživatelsky náročnější způsob, zaručí správné výsledky. Pro čtenáře by mělo jít o připomenutí toho, aby nekriticky nepřijímal jednoduchá řešení nabízená softwarovými nástroji.

Způsob 1:

Nejprve se pokusíme využít automatického stanovení spolupůsobící šířky. V prvním kroku se žebra zadají s výchozí spolupůsobící šířkou 1000 mm.

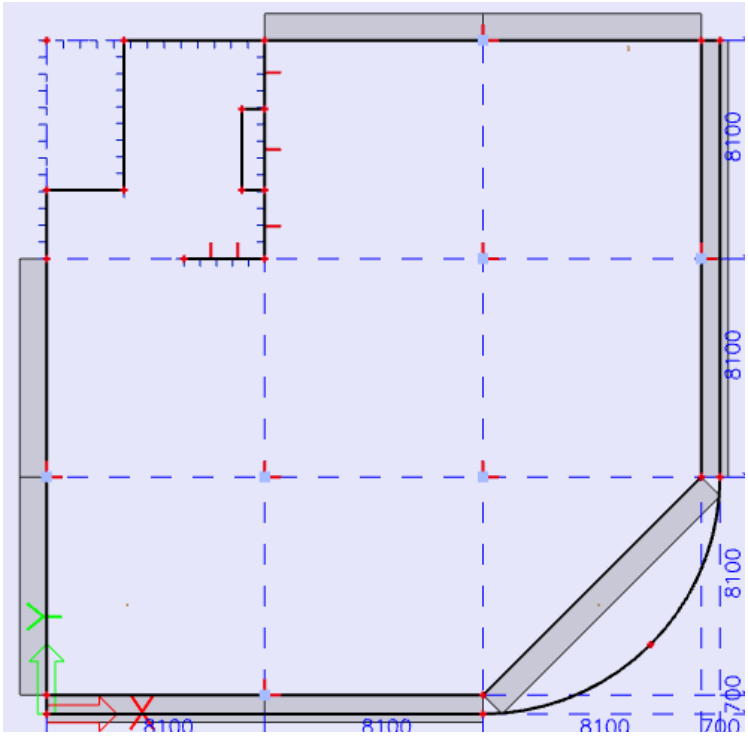


Následně vybereme jedno ze žeber a v okně Vlastnosti zvolíme akční příkaz Spočítat efektivní šířku. Tím se pro všechna žebra provede stanovení spolupůsobící šířky podle postupu definovaného v Eurokódu 2. Spolupůsobící šířky jsou jednak vykresleny, jednak je možno po vybrání určitého žebra ve Vlastnostech zobrazit konkrétní spočtené hodnoty.

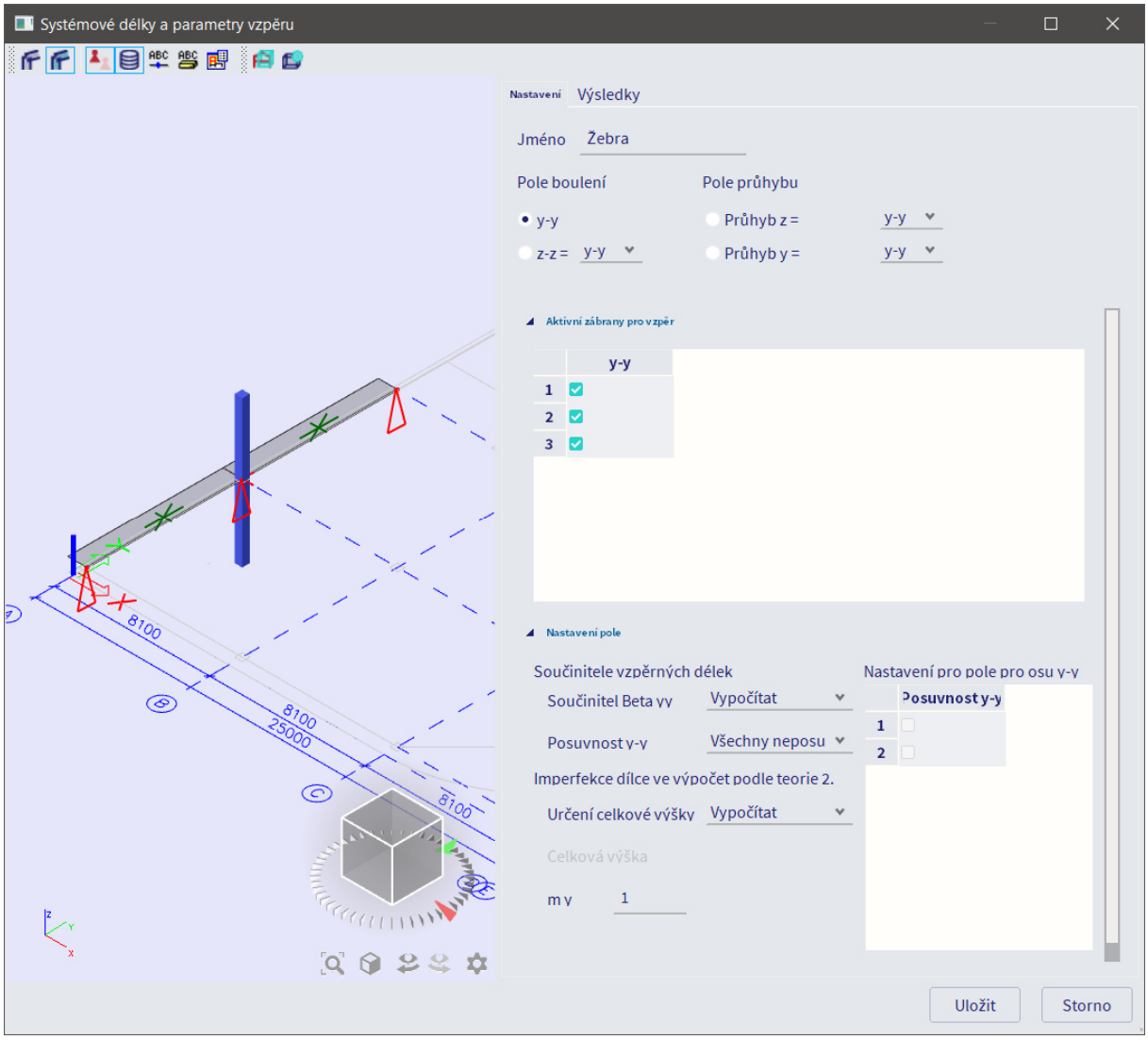


Stanovené šířky na první pohled neodpovídají. Zasahují prakticky do poloviny rozpětí desky a jsou tedy příliš velké. Důvodem je skutečnost, že automatický výpočet neumí pracovat s žebry o více polích (více o omezeních automatického výpočtu zde).

Způsob 2:
Žebra tedy smažeme a zadáme znovu tak, aby každé pole bylo tvořeno samostatným prvkem.

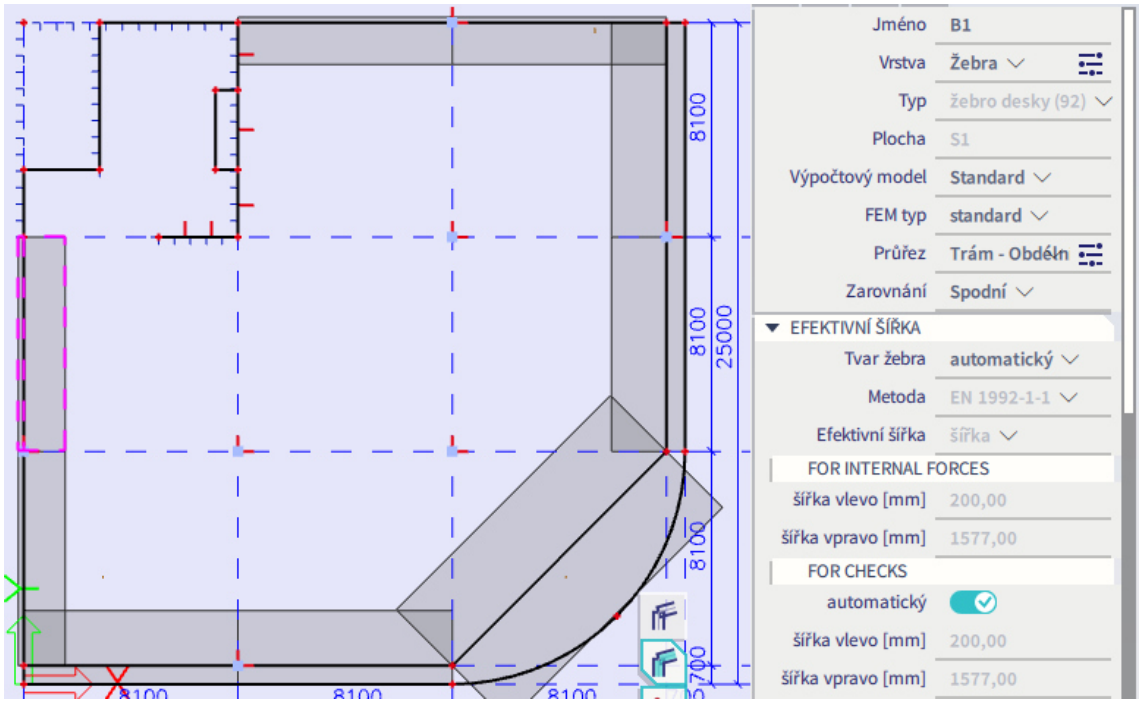


Dále je nutno upravit nastavení systémových délek prvků (to při prvním způsobu návrhu nebylo provedeno, nicméně na spočtené spolupůsobící šířky by to nemělo vliv). Vybereme konkrétní žebro, ve Vlastnostech v části Vzpěr otevřeme nastavení pro Systémové délky a parametry vzpěru a přesvědčíme se, že žebro má ve všech podporách nastaveny aktivní zábrany pro vzpěr v obou směrech. Provedeme pro všechna žebra v konstrukci.



Poté znovu necháme automaticky spočítat spolupůsobící šířky. Takto stanovené spolupůsobící již lépe odpovídají inženýrskému odhadu. Pro kontrolu provedeme též ruční výpočet spolupůsobících šířek a výsledky porovnáme v následující tabulce.

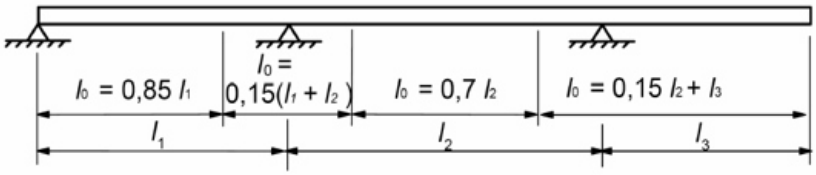
Oblast konstrukce	**Část trámu**	**Scia [mm]**	**Ručně [mm]**
Nepřekonzolované okraje	Krajní pole	1777	1777
	Vnitřní pole	1777	1534
Překonzolované okraje	Krajní pole	2777	2777
	Vnitřní pole	2777	2534
Šikmý okraj	Směrem do konstrukce	2991	1976
	Směrem konzoly	2991	1985



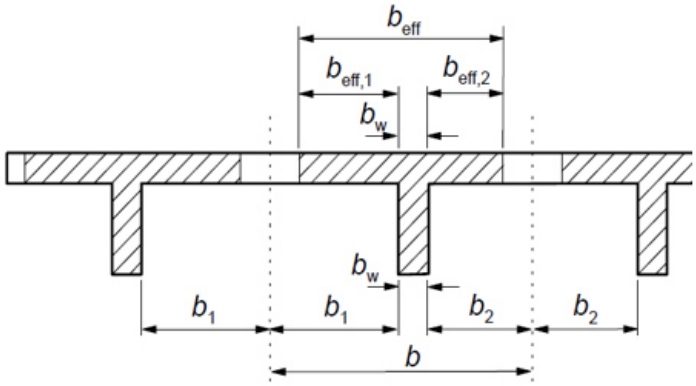
Nepřekonzol.	b_w	l	souč.	l_0	b_1	$b_{eff,1}$	b_{eff}
Krajní pole	400	8100	0,85	6885	3850	1377	1777
Vnitřní pole	400	8100	0,70	5670	3850	1134	1534
						ZADAT	1600

Překonzol.	b_w	l	souč.	l_0	b_1	$b_{eff,1}$	b_{eff}	$b_{eff,in}$	$b_{eff,out}$
Krajní pole	1400	8100	0,85	6885	3600	1377	2777	2077	700
Vnitřní pole	1400	8100	0,70	5670	3600	1134	2534	1834	700
							ZADAT	1900	700

Šikmý okraj	b_w	l	souč.	l_0	$b_{in/out}$	$b_{eff,in/out}$	b_{eff}	$b_{eff,in}$	$b_{eff,out}$
Do konstrukce	1400	11455	0,7	8019	2414	1285	3961	-	1985
Konzola	1400	11455	0,7	8019	2372	1276		1976	-
							ZADAT	2000	2000



(4) Pokud se nepožaduje velká přesnost, dovoluje se při analýze konstrukce předpokládat konstantní spolupůsobící šířku desky po celém rozpětí. Lze použít hodnotu stanovenou pro průřez v poli.



$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \le b$$

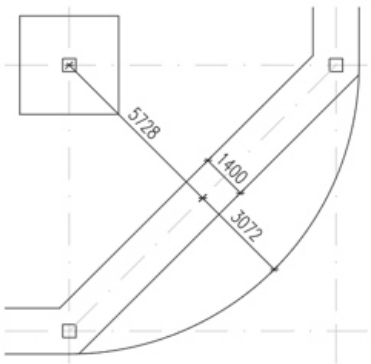
kde

$$b_{eff,i} = 0{,}2 b_i + 0{,}1 l_0 \le 0{,}2 l_0$$

a

$$b_{eff,i} \le b_i$$

Šikmé žebro:



Z porovnání je patrných několik skutečností:

- Pro krajní pole žeber funguje automatický výpočet správně.
- Pro vnitřní pole žeber program dává stejnou hodnotu, jako pro krajní pole. To je dáno tím, že na naše vnitřní pole žeber z jedné strany navazují pouze stropní desky a program je proto považuje také za pole krajní. Rozdíl je směrem na stranu nebezpečnou, avšak poměrně malý.
- Pro žebro na šikmém okraji je rozdíl již poměrně značný, a to opět na stranu nebezpečnou. Program totiž pro výpočet jednak uvažuje, že daný trám působí jako prostý nosník (tj. $l_o = 1{,}0l$) a jednak chybně stanovuje vzdálenost od hrany trámu k polovině přilehlého rozpětí (předpokládá $b_{in} = b_{out} = 5728$ mm). Lze se přesvědčit, že při této volbě vstupních parametrů skutečně dospějeme k programem stanovené efektivní šířce:

Šikmý okraj	b_w	l	souč.	l_0	$b_{in/out}$	$b_{eff,in/out}$	b_{eff}	$b_{eff,in}$	$b_{eff,out}$
Do konstrukce	1400	11455	1	11455	5728	2291	5982	-	2991
Konzola	1400	11455	1	11455	5728	2291		2991	-

Je tedy možno konstatovat, že pro trámy na překonzolovaných a nepřekonzolovaných okrajích desky je automatický výpočet spolupůsobící šířky použitelný, pro trám na šikmém okraji však nikoliv. Pro tento trám bude nutno zadat spolupůsobící šířky manuálně podle výsledků ručního výpočtu.

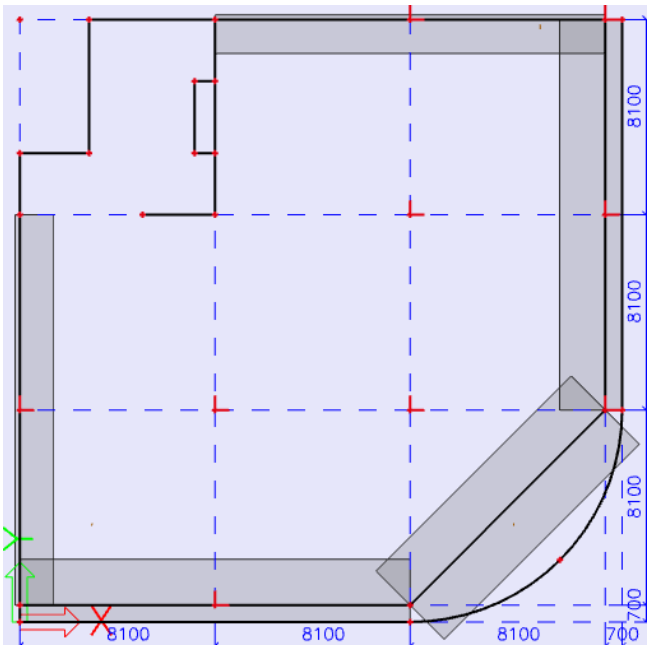
Způsob 3:

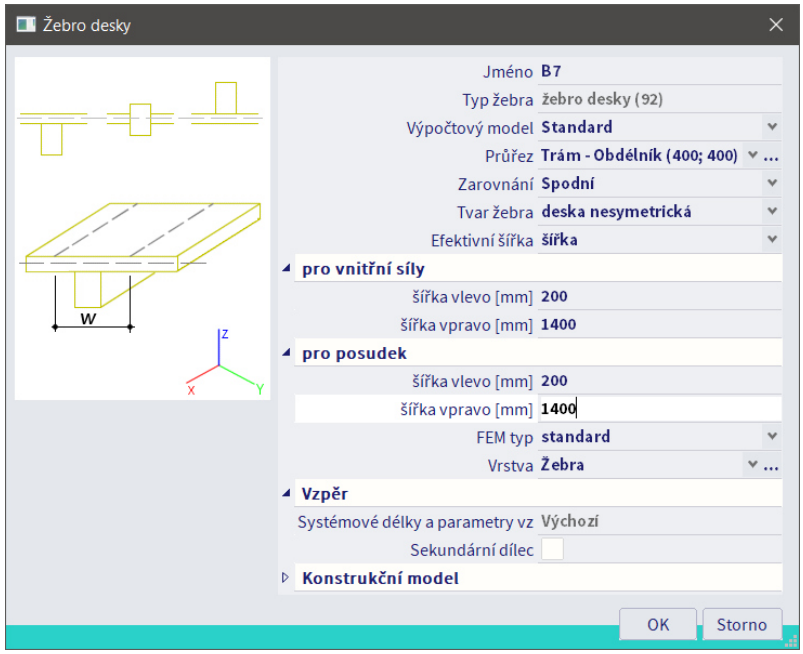
Dále je nutno si uvědomit, že pokud rozdělíme dvoupolová žebra na jednotlivá pole, jak to bylo učiněno při předchozím způsobu jejich zadání, bude to činit určité obtíže při následném vkládání výztuže do trámů a jejich posuzování v oblasti vnitřních podpor.

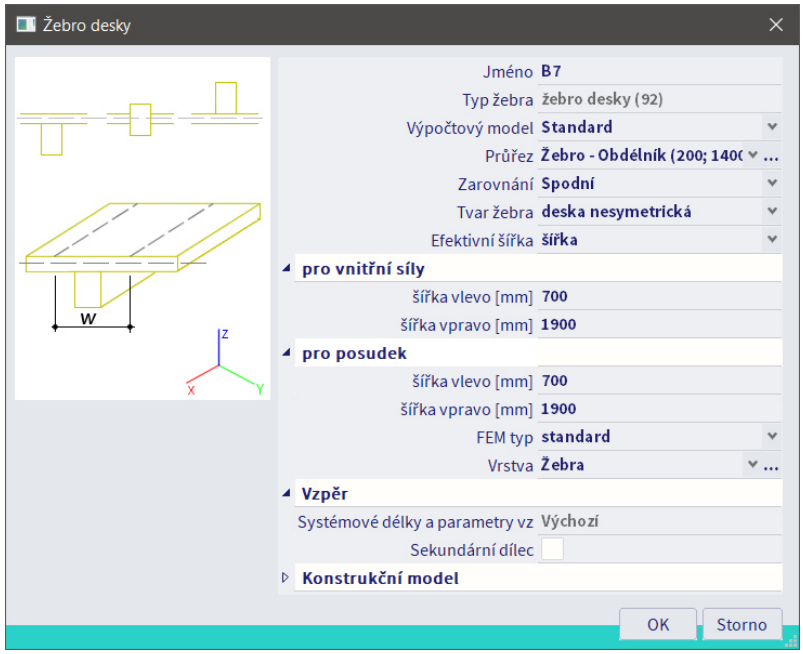
Proto se vrátíme k původní myšlence zadat dvoupolová žebra jako spojitá přes dvě pole a uchýlíme se k manuálnímu zadání spolupůsobících šířek podle ručního výpočtu (viz zelené hodnoty v tabulce na předchozí straně). Pro každé žebro je přitom potřeba zadat dva typy efektivní šířky:

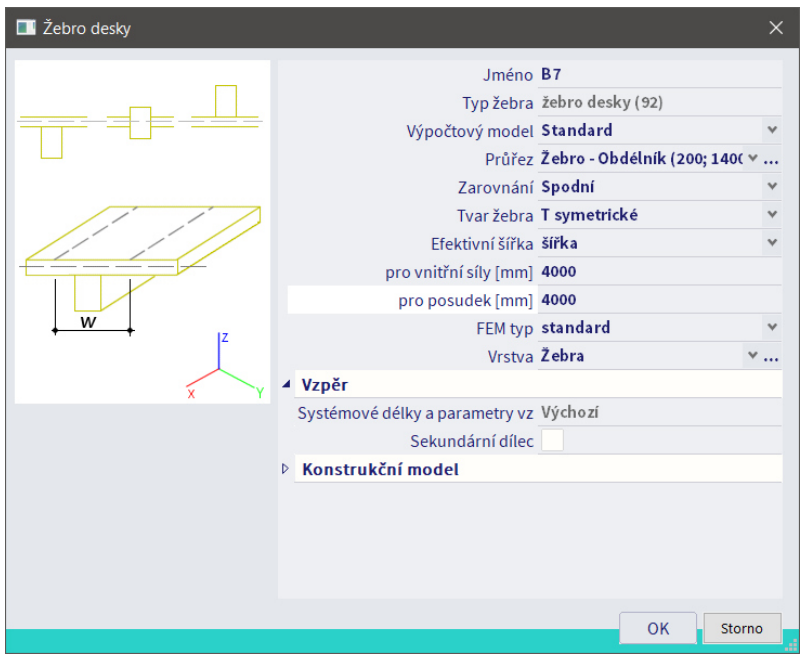
- Hodnota „pro vnitřní síly“ je použita k přepočítávání vnitřních sil vytvořeného spřaženého průřezu. Použijeme hodnoty spočtené výše.
- Hodnota „pro posudek“ je použita k definování průřezu pro potřeby návrhu a posudku výztuže průřezu. Použijeme stejné hodnoty jako pro vnitřní síly.

Následující obrázky ukazují postupně konstrukci se zadanými žebry a parametry definované u jednotlivých typů žeber (postupně nepřekonzolovaný, překonzolovaný a šikmý okraj).



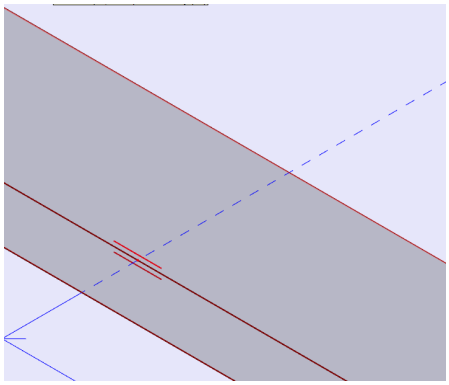

Žebro desky
W
Z
X
Y
Jméno B7
Typ žebra žebro desky (92)
Výpočtový model Standard
Průřez Trám - Obdélník (400; 400)
Zarovnání Spodní
Tvar žebra deska nesymetrická
Efektivní šířka šířka
pro vnitřní síly
šířka vlevo [mm] 200
šířka vpravo [mm] 1400
pro posudek
šířka vlevo [mm] 200
šířka vpravo [mm] 1400
FEM typ standard
Vrstva Žebra
Vzpěr
Systémové délky a parametry vz Výchozí
Sekundární dílec
Konstrukční model
OK
Storno

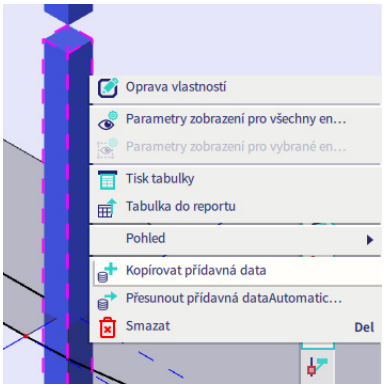

Žebro desky
W
Z
X
Y
Jméno B7
Typ žebra žebro desky (92)
Výpočtový model Standard
Průřez Žebro - Obdélník (200; 140
Zarovnání Spodní
Tvar žebra deska nesymetrická
Efektivní šířka šířka
pro vnitřní síly
šířka vlevo [mm] 700
šířka vpravo [mm] 1900
pro posudek
šířka vlevo [mm] 700
šířka vpravo [mm] 1900
FEM typ standard
Vrstva Žebra
Vzpěr
Systémové délky a parametry vz Výchozí
Sekundární dílec
Konstrukční model
OK
Storno


Žebro desky
W
Z
X
Y
Jméno B7
Typ žebra žebro desky (92)
Výpočtový model Standard
Průřez Žebro - Obdélník (200; 140
Zarovnání Spodní
Tvar žebra T symetrické
Efektivní šířka šířka
pro vnitřní síly [mm] 4000
pro posudek [mm] 4000
FEM typ standard
Vrstva Žebra
Vzpěr
Systémové délky a parametry vz Výchozí
Sekundární dílec
Konstrukční model
OK
Storno

Při tomto způsobu zadání je dále nutné předefinovat vnitřní podpory trámů. Na původní deskové konstrukci jsme všechny uzly zadali jako vnitřní uzly na desce. Jiný postup nebyl možný, neboť konstrukce neobsahovala žebra. To by však později mělo za následek, že program by při určitých operacích (např. při nastavení systémových délek, redukci vnitřních sil nebo vkládání výztuže) nebyl schopen zohlednit přítomnost vnitřních podpor na žebrech a považoval by je za jednopolová.

Na všech dvoupolových žebrech smažeme prostřední uzly zadané jako vnitřní uzly na desce a znovu je vložíme jako vnitřní uzly žeber přes Panel > Konstrukce > 1D dílce > Vnitřní uzel na 1D. Kopírováním přídavných dat přes Kontextové menu zkopírujeme do nově zadaných vnitřních uzlů sloupovou podporu z některého z vedlejších uzlů.

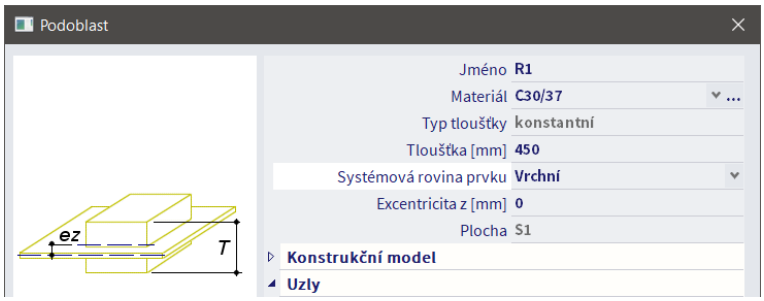




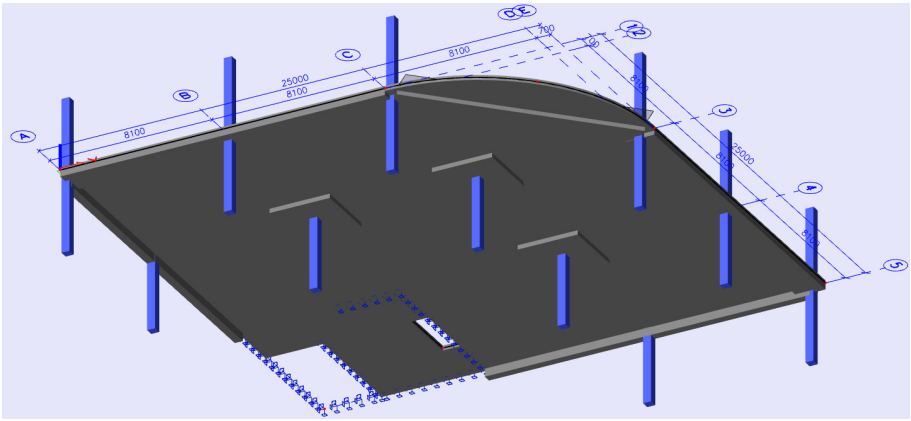
Upravíme nastavení systémových délek prvků tak, aby všechna žebra měla ve všech podporách nastaveny aktivní zábrany pro vzpěr v obou směrech.

Zadání hlavic

Přes Akce > Konstrukce > Plochy > Podoblast zadáme hlavice jako oblasti s větší tloušťkou desky 450 mm. Zarovnání bude provedeno na vrchní hranu desky, takže se slícují horní povrchy desky a hlavice. Pro definici polohy prvního vrcholu vůči podpoře při zadávání využijeme pomocné čáry, kterou lze zadat přes Panel > Konstrukce > Kreslení.

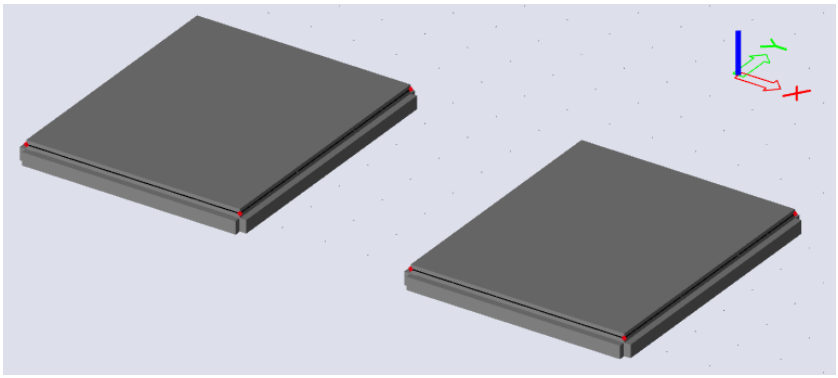


Konstrukce po zadání žeber a hlavic:

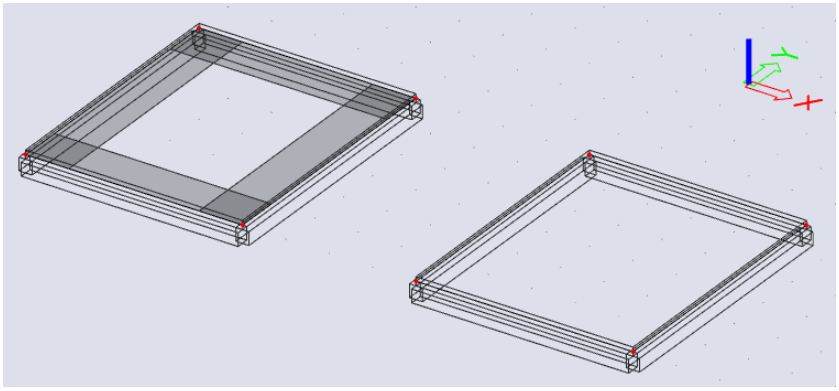


Porovnání správného a nesprávného způsobu zadání žeber

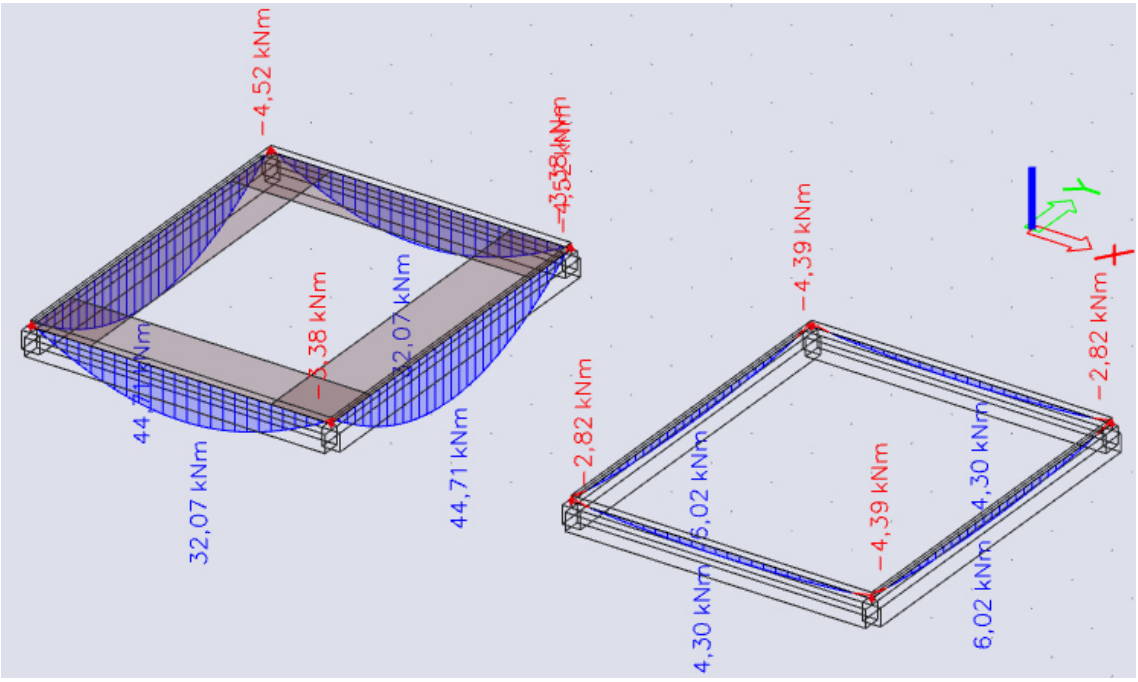
Pro názornost si na jednoduché konstrukci ukážeme rozdíl mezi správným a nesprávným způsobem zadání obvodových trámů. Zadáme desku tl. 200 mm o rozměrech 5x7 m, po obvodě podepřenou trámy 300x500 mm (zadaná výška trámu je 500 – 200 = 300 mm). Na obrázcích vlevo jsou trámy zadány jako žebra se spolupůsobící šířkou (zvolena pro jednoduchost všude 1 m), vpravo jako 1D prvky (nosníky) s excentricitou připojení e_z = 300/2 + 200/2 = 250 mm. Na pohled vypadají obě konstrukce stejně.



Na levé konstrukci však část desky spolupůsobí s trámem, jak lze vidět při drátovém zobrazení modelu:



Rozdíl se jasně projeví při vykreslení vnitřních sil. Vlevo trám přebírá zatížení ze spolupůsobící šířky desky, vpravo nikoliv (zjednodušeně lze říci, že nese pouze svou vlastní tíhu). Je zřejmé, že na takto zadaném trámu by nebylo možné správně navrhnout výztuž.



Shrnutí postupu pro zadání žeber

Správný postup pro zadání žeber lze shrnout následovně:

- Prutové prvky spolupůsobící s deskou zadáváme zásadně jako komponentu plochy typu „žebro“. Nikdy je nezadáváme jako samostatné nosníky.
- Vždy zkontrolujeme, případně upravíme nastavení systémových délek prvků.
- Automatický výpočet spolupůsobící šířky žeber lze korektně použít jen pro žebra o jednom poli. Dělení spojitých žeber na jednotlivá pole je možné, ale přináší určité problémy v dalším postupu návrhu. Preferujeme proto ruční zadání spolupůsobící šířky.
- Vnitřní uzly vícepolových žeber je nutno připojit přímo k žebru, nikoliv k desce.

Kontrola upravené konstrukce

S ohledem na menší tloušťku desky zjemníme síť MKP, a to na velikost prvku 0,25 m. Provedeme výpočet. Přes Akce > Výsledky > Výkaz materiálu a Vlastnosti > Náhled můžeme zjistit objem betonu použitého pro konstrukci. V okně Vlastnosti zadáme Způsob třídění = Materiál. Změnou geometrie jsme přibližně zachovali původní objem betonu, ale bude efektivněji využit (vlevo původní, vpravo upravená geometrie).

Výkaz materiálu

Výběr: Vše
Způsob třídění: Materiál

Shrnutí

Materiál	Hmota [kg]	Povrch [m²]	Objem [m³]
Beton	442397,37	589,863	1,7696e+02
Celkem	442397,37	589,863	1,7696e+02

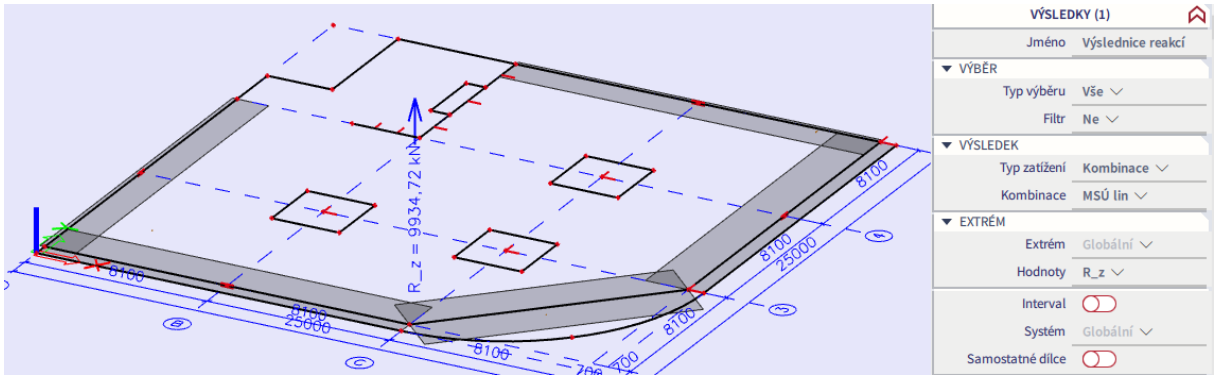
Výkaz materiálu

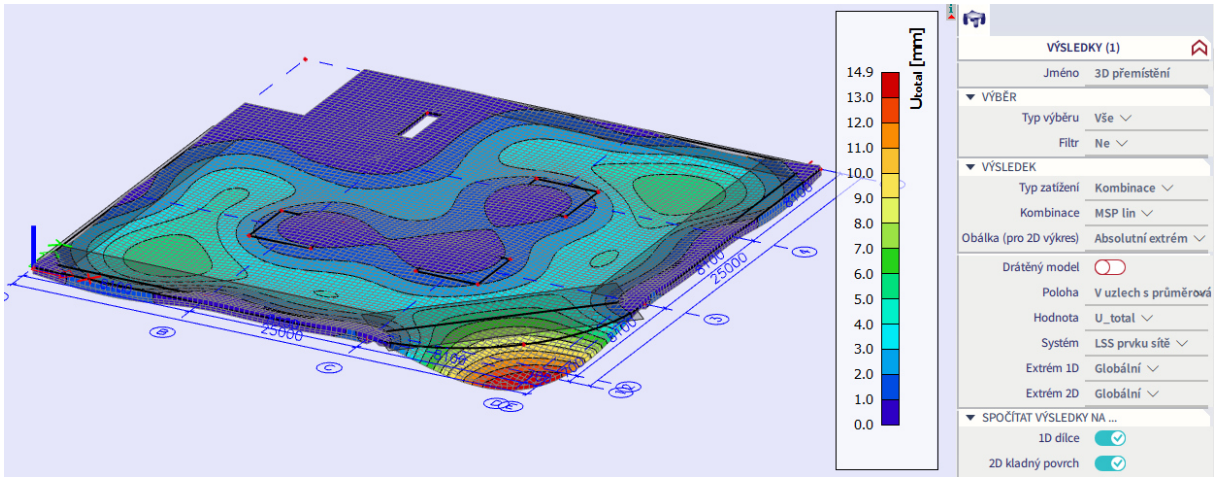
Výběr: Vše
Způsob třídění: Materiál

Shrnutí

Materiál	Hmota [kg]	Povrch [m²]	Objem [m³]
Beton	425825,47	782,043	1,7033e+02
Celkem	425825,47	782,043	1,7033e+02

Zkontrolujeme celkovou reakci a průběh lineárních průhybů. Hodnoty obou veličin jsou realistické.

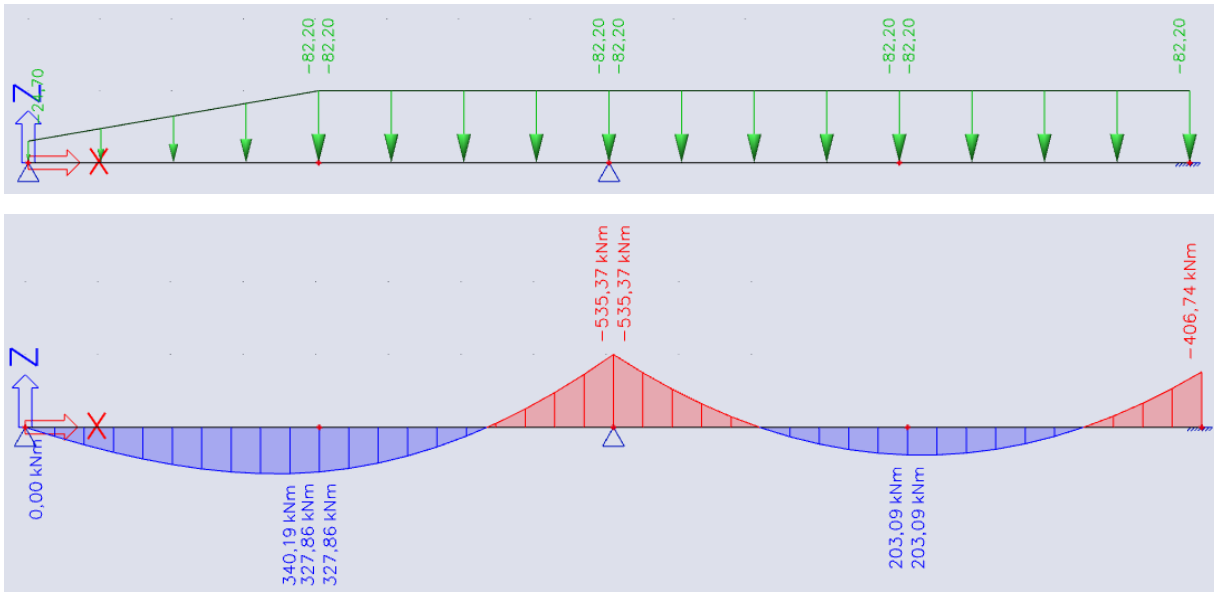




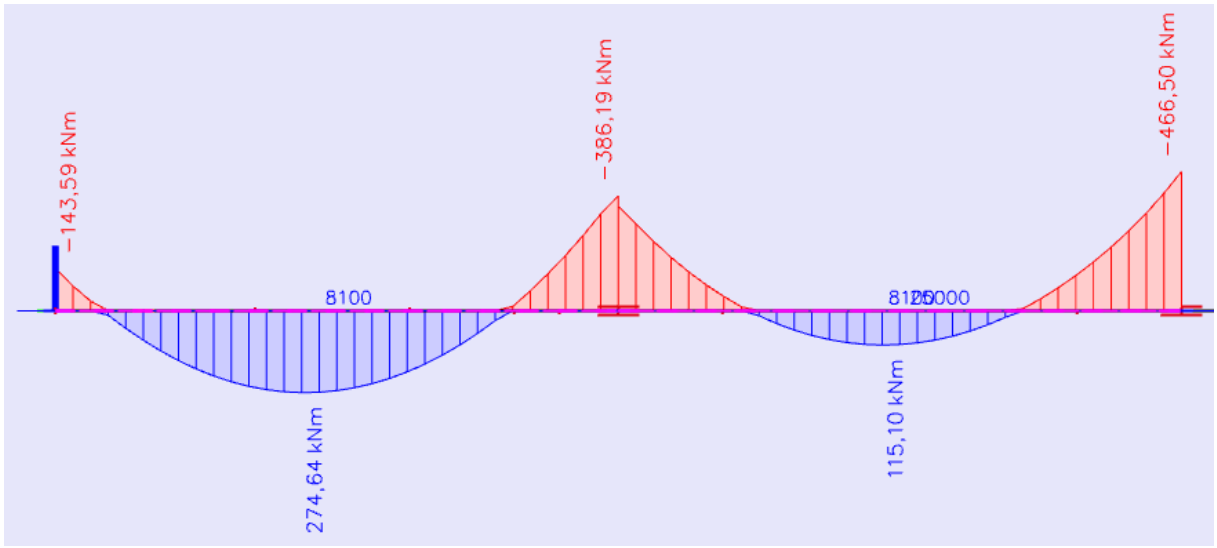
Můžeme provést i další kontroly jako u původní konstrukce. Ukážeme kontrolu momentů na žebru A2-C2. Ze zadaných hodnot zatížení a odhadnutých zatěžovacích ploch stanovíme liniové zatížení jednoduchého prutového modelu. Dále uvedené návrhové hodnoty zatížení odpovídají kombinaci MSÚ lin.

$$f_1 = 0{,}2*1{,}4*25*1{,}35 + 3{,}9*1{,}35 + 0{,}7*(0{,}25*25*1{,}35+1{,}5*1{,}35+2{,}5*1{,}5) = 24{,}7 \text{ kN/m}$$
$$f_2 = 0{,}2*1{,}4*25*1{,}35 + 3{,}9*1{,}35 + (0{,}7+4{,}05)*(0{,}25*25*1{,}35+1{,}5*1{,}35+2{,}5*1{,}5) = 82{,}2 \text{ kN/m}$$

Vytvoříme samostatný prutový model žebra A2-C2 a stanovíme na něm předpokládaný průběh momentů:



Z modelu stropní desky dostaneme pro lineární kombinací MSÚ lin průběh momentů na žebru A2-C2:

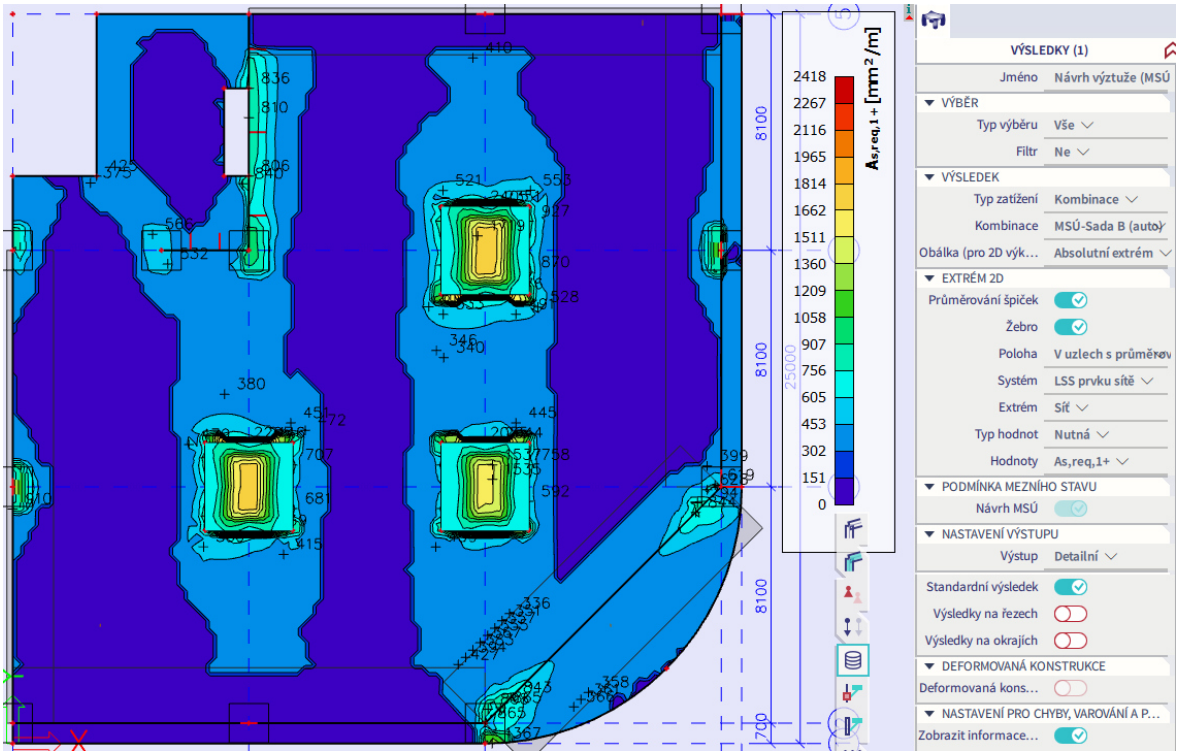


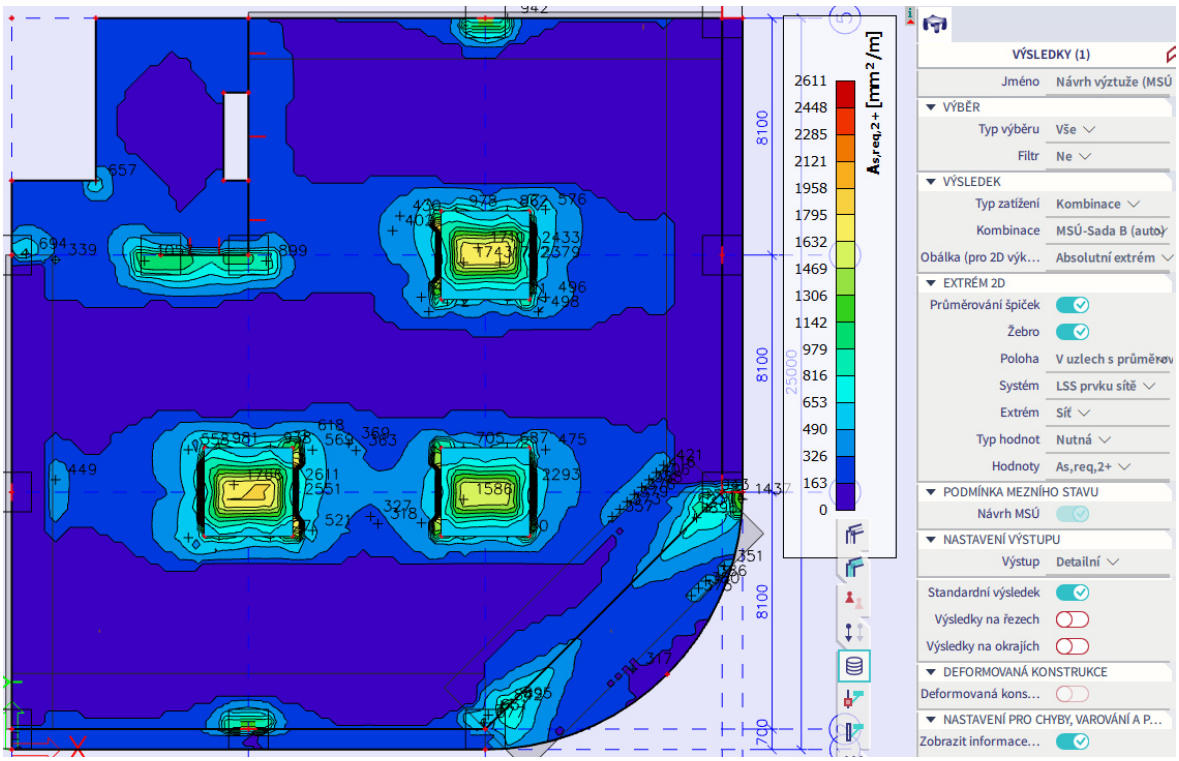
Shoda je vyhovující. Rozdíly jsou dány hlavně způsobem modelování krajních podpor. Na levé straně reálně není kloub, ale částečné vetknutí do sloupu a kolmého trámu. Na pravé straně skutečná konstrukce pokračuje velmi dlouhým žebrem, což vede ke zvýšení podporového momentu a poklesu momentu v poli.

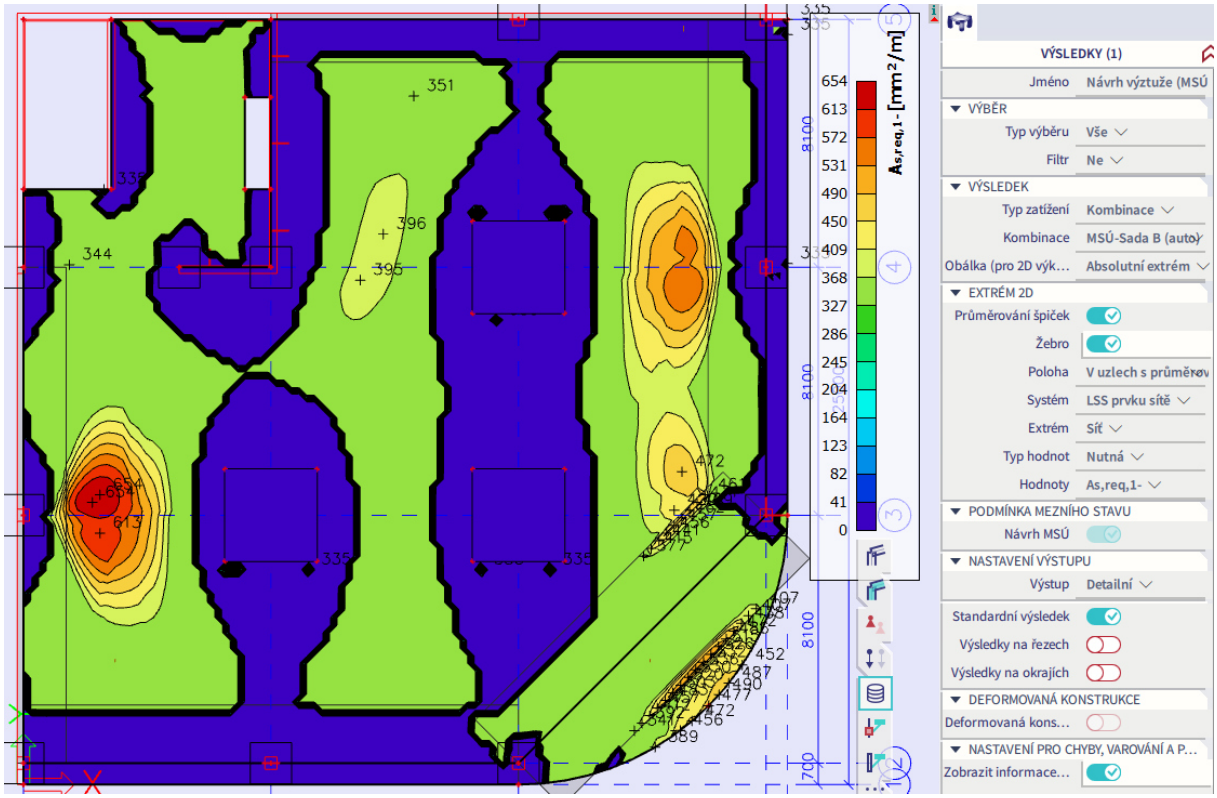
Návrh podélné výztuže upravené desky na MSÚ

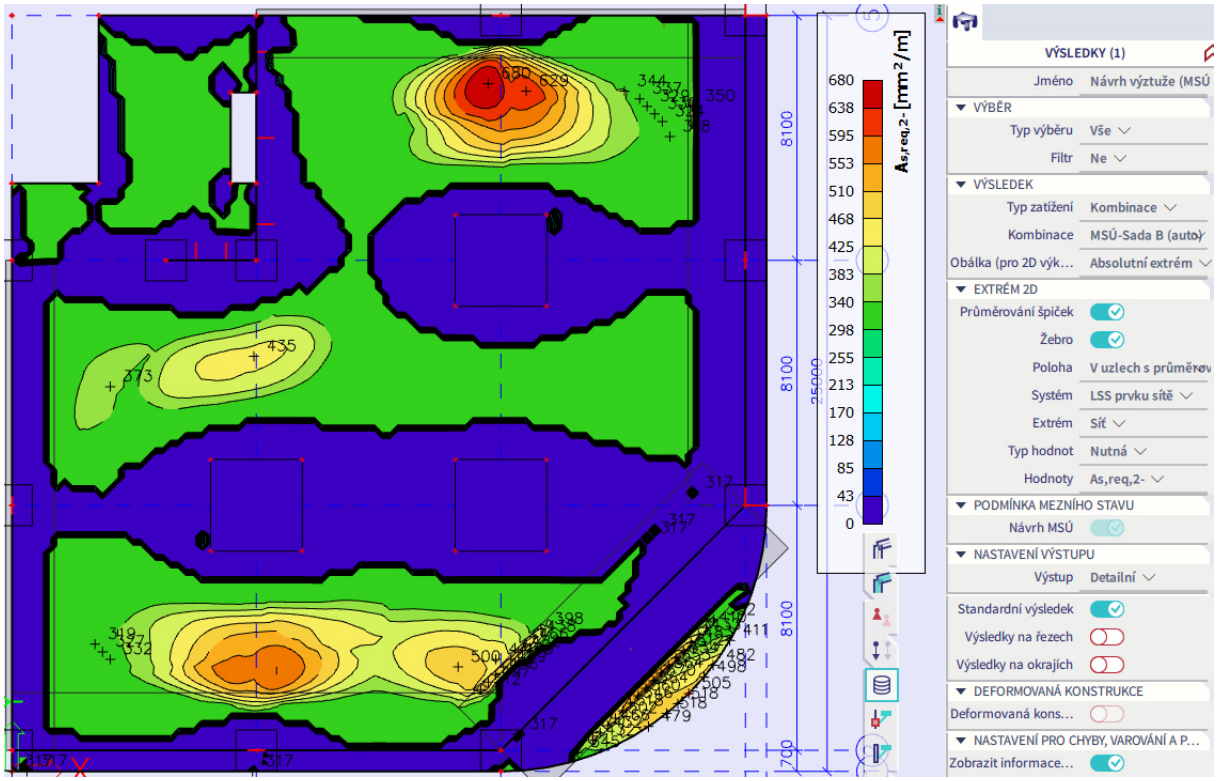
Podrobný výklad k návrhu podélné výztuže proběhl u původní desky. Zde již bude pouze proveden návrh výztuže pro upravenou konstrukci.

Vykreslíme potřebné plochy výztuže stejně jako u původní desky. Velikost všech průměrovacích bodů nastavíme na 1,35x1,35 m (0,4+2*0,45 m – minimální velikost pro ošetření singularit) a ve Vlastnostech zapneme Průměrování špiček. Rovněž zapneme volbu Žebro. To má za následek, že vnitřní síly ze spolupůsobící šířky desky jsou ve směru žeber přebrány zadanými žebry, a tedy i výztuž na ně program navrhne do žeber. V desce v oblasti spolupůsobící šířky ve směru žeber tak vychází nulová potřebná plocha výztuže.





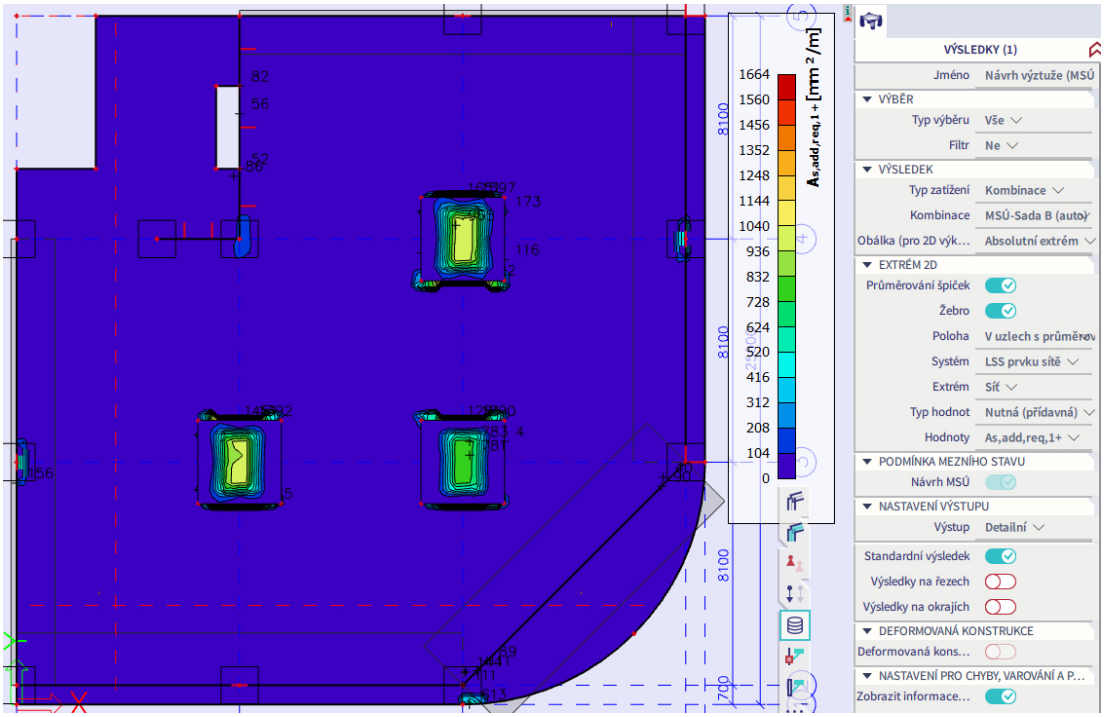




Vyztužení desky bude následující:

- Spodní povrch: Požadováno max. 680 mm^2/m => V obou směrech Ø12/150 mm na celém povrchu (754 mm^2/m). Příložky nejsou nutné.
- Horní povrch:
  - Základní výztuž pro jednoduchost stejná jako na spodním povrchu. Příložky ze schémat nutné přídavné výztuže uvedených dále.
  - Hlavice: Požadováno max. 1012 mm^2/m => V obou směrech Ø16/150 (1333 mm^2/m) na celé ploše hlavice.

- Sloup A3: Požadováno 681 mm^2/m => ve směru *x* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce 2 m, délka 1000 mm.
- Sloup D4: Požadováno 550 mm^2/m => ve směru *x* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce 2 m, délka 1700 mm.
- Stěna B4-B5: Požadováno max. 196 mm^2/m => ve směru *x* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce stěny, délka 2000 mm.
- Sloup B2: Požadováno 623 mm^2/m => ve směru *y* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce 2 m, délka 1700 mm.
- Sloup C5: Požadováno 724 mm^2/m => ve směru *y* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce 2 m, délka 1000 mm.
- Stěna A4-B4: Požadováno max. 330 mm^2/m => ve směru *y* Ø12/150 mm (754 mm^2/m) na šířce stěny, délka 2000 mm.



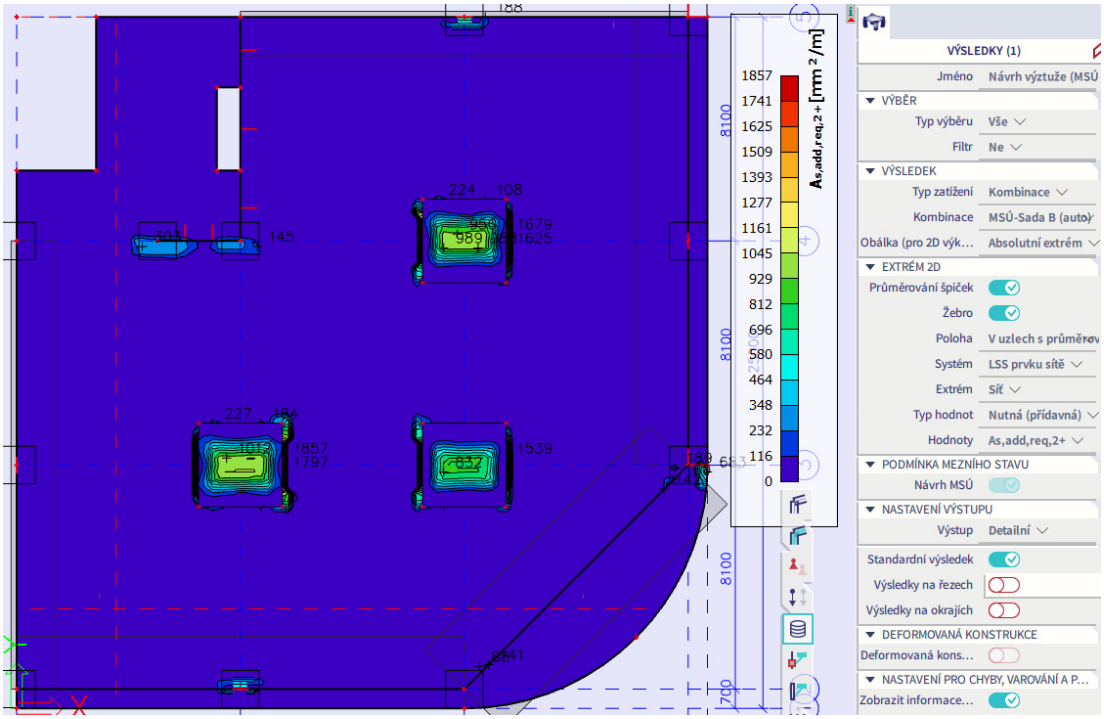
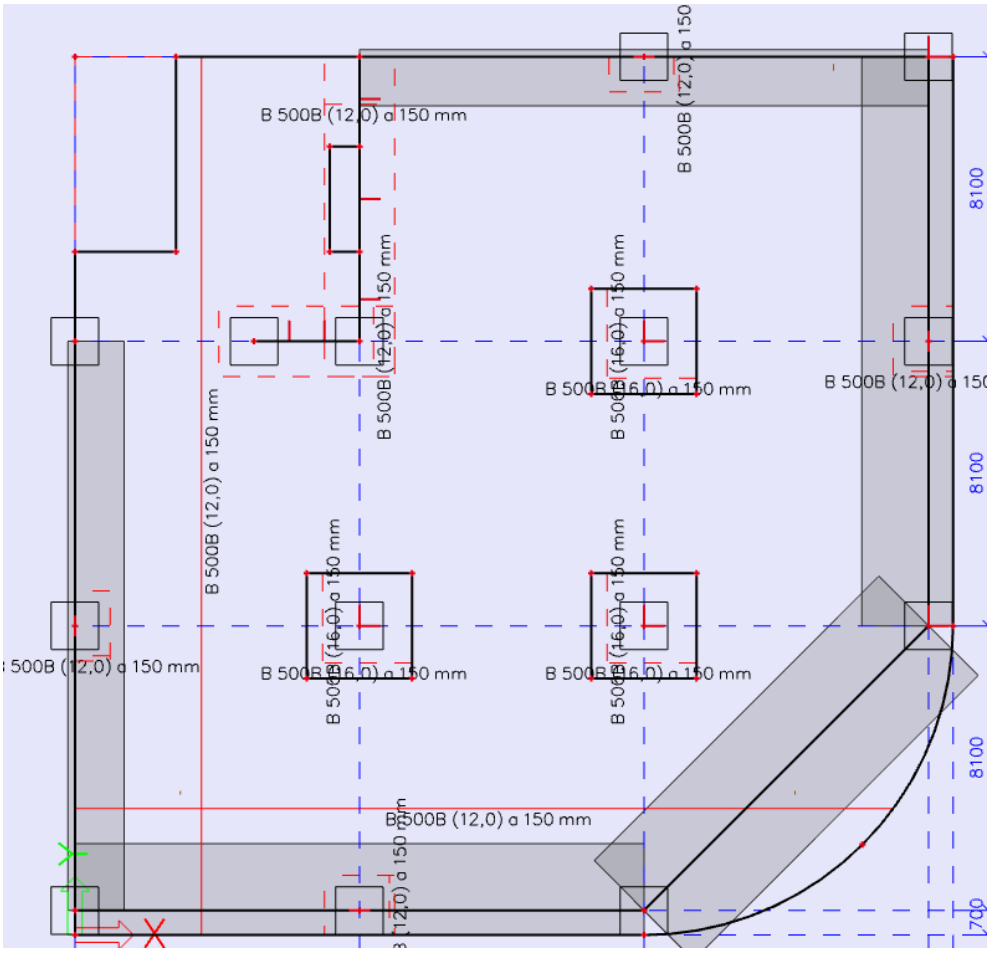
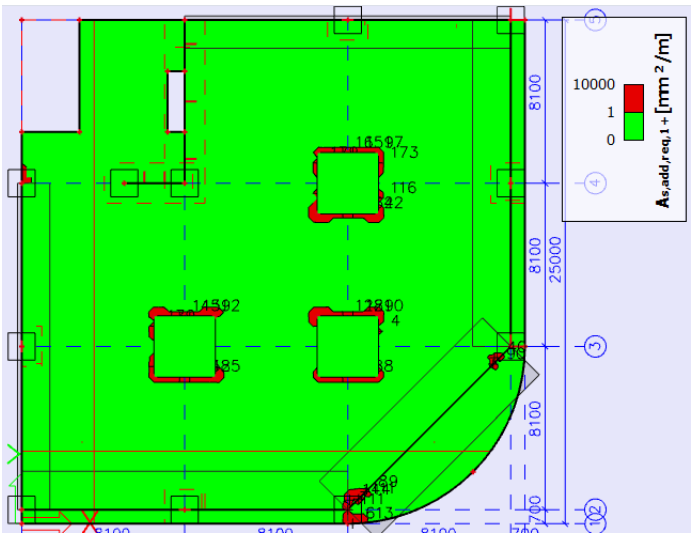
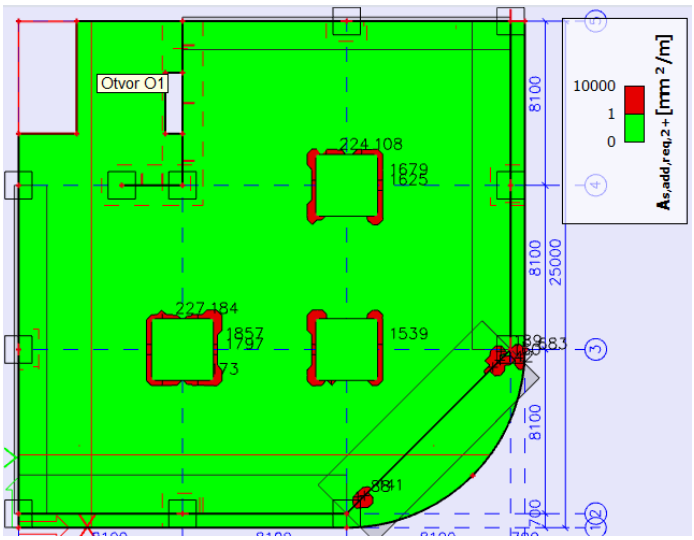


Schéma vyztužení horního povrchu:



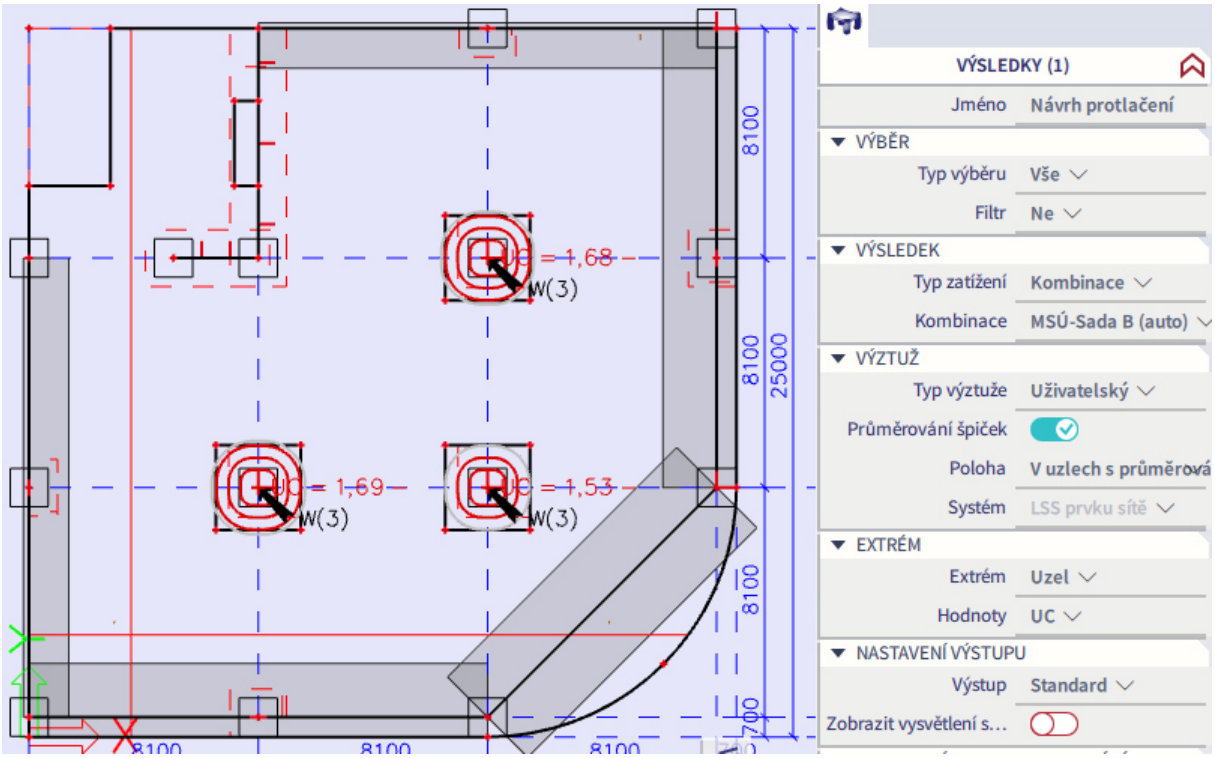
Po opětovném vykreslení příložek je návrh vyhovující až na singulární oblasti (liniové singularity na hranách hlavic a bodové oblasti, kde bude navržena výztuž žeber).



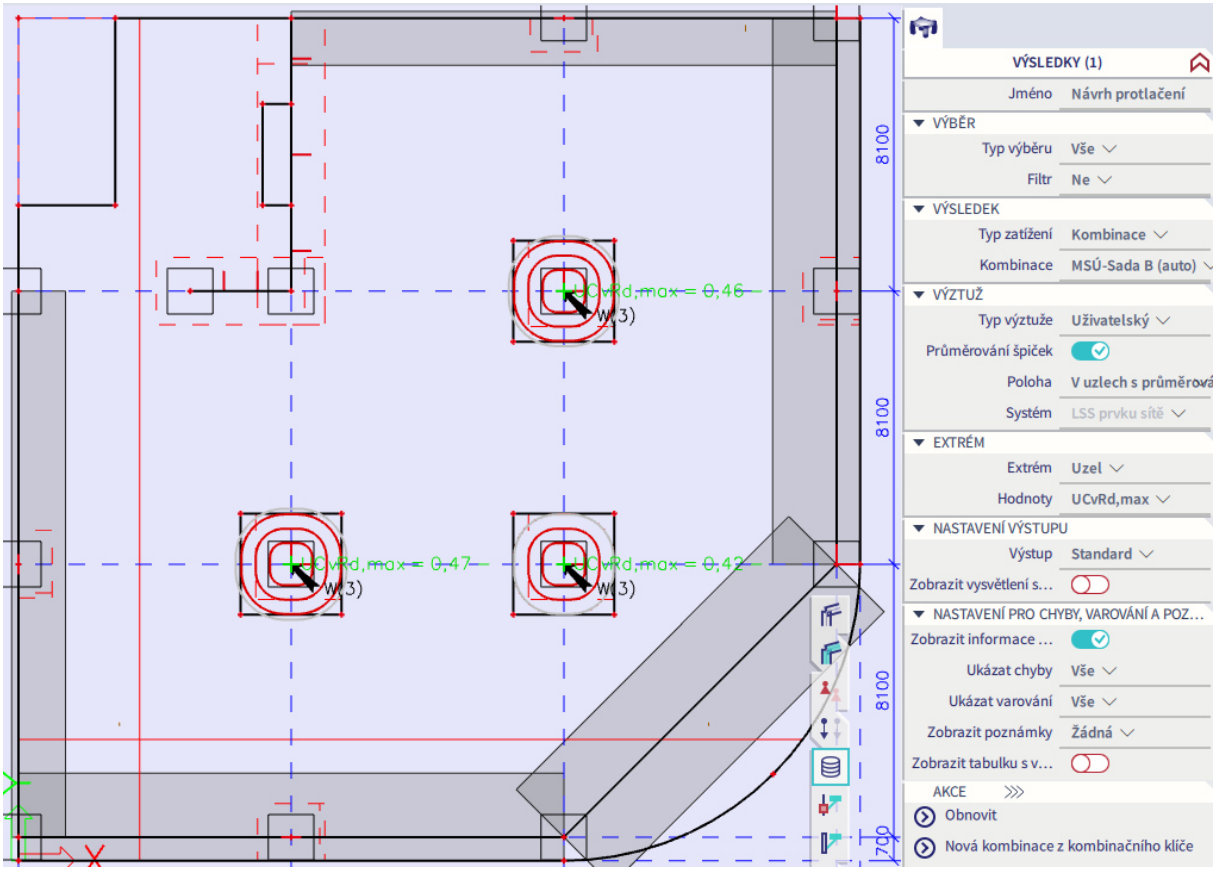


Návrh výztuže upravené desky na protlačení

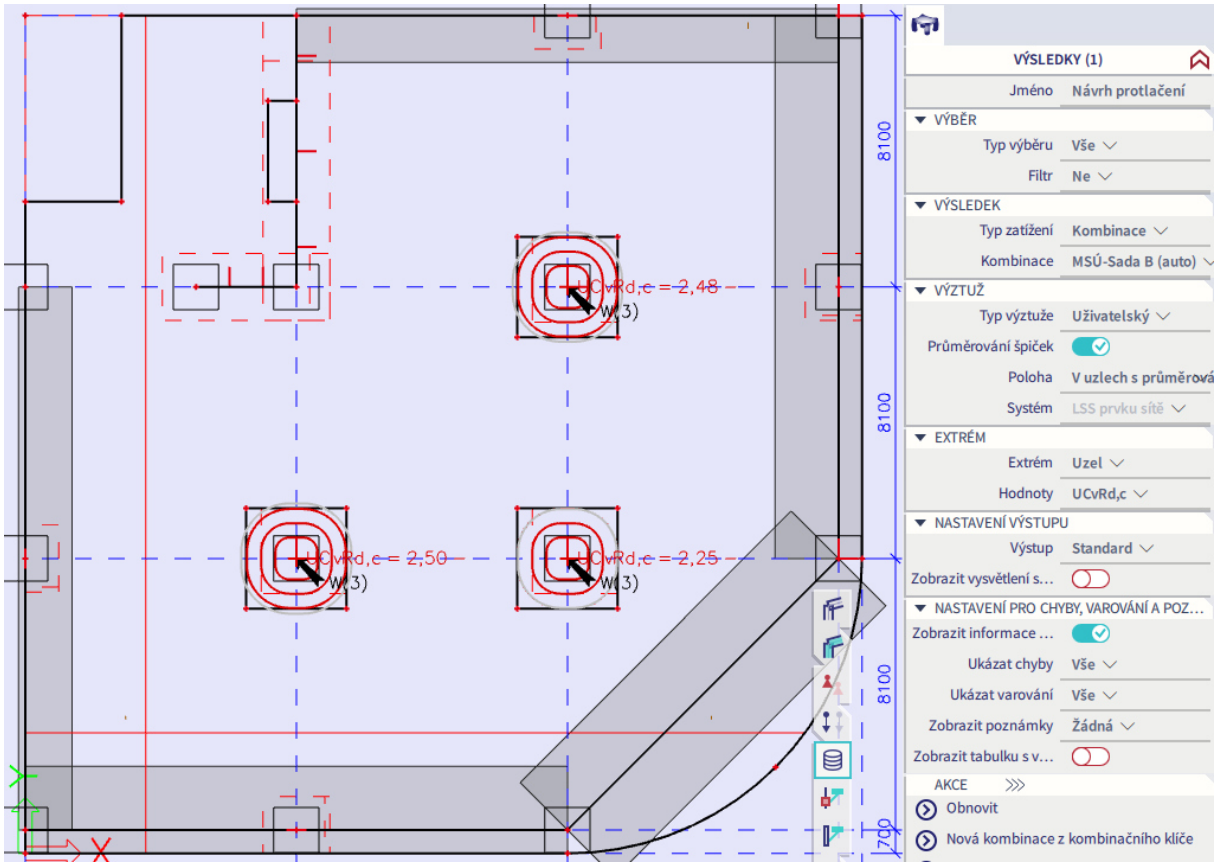
Podrobný výklad k návrhu protlačení proběhl u původní desky. Zde již bude pouze proveden návrh pro upravenou konstrukci. Budeme se zabývat pouze sloupy s deskovými hlavicemi. Sloupy připojené k žebrům nás nezajímají, deska v místě žebra není lokálně podepřená. Reakce se do sloupu přenáší přes žebro. V následujících kapitolách bude proveden návrh žeber na smyk. Vykreslíme UC.



Celkový posudek nevyhoví. Posudek na únosnost tlačené diagonály vyhovuje:



Posudek na únosnost bez výztuže však výrazně nevyhovuje:

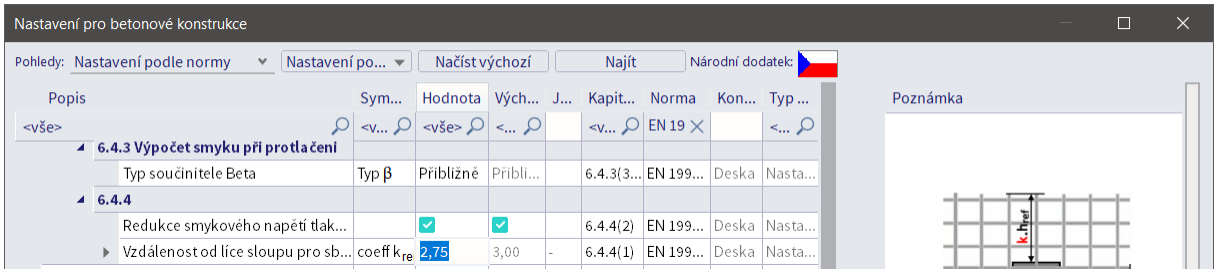


To je podezřelé vzhledem k velké tloušťce hlavice. Problém je v tom, že posudek neuvažuje zvětšenou tloušťku desky v oblasti hlavic a zadané příložky podélné výztuže. Z Náhledu pro sloup B3 (ve Vlastnostech nastavit Výstup = Standard) je patrné, že je pro hlavici tl. 450 mm uvazováno nesprávné d_{eff} = 210 mm, ze kterého se spočte chybné u_1 a chybný stupeň podélného vyztužení desky.

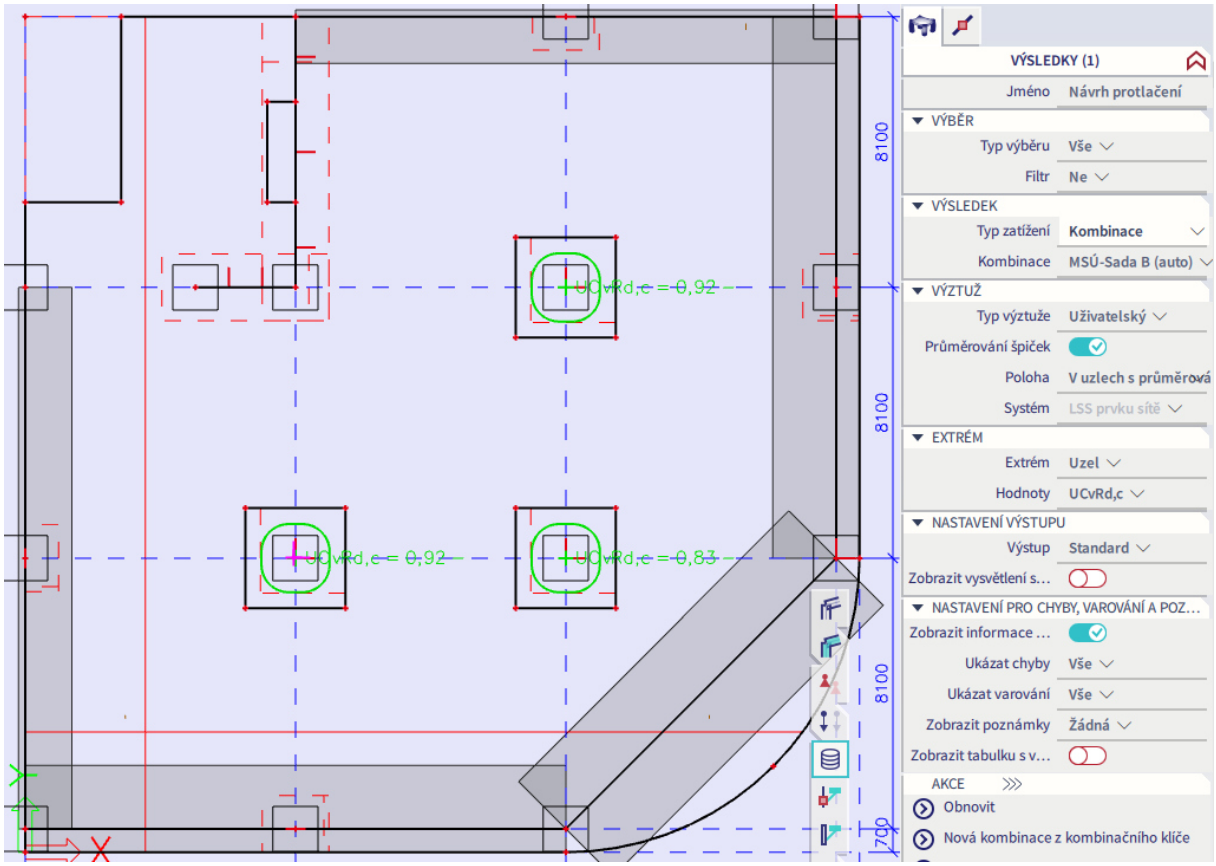
Beton

Jméno	Stav	Případ protlačení β [-]	Tvar protlačení	V_{Ed} [kN] ΔV_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm] $M_{Ed,z}$ [kNm]	Deska h [m]	Materiál f_{cd} [MPa]	d_{eff} [m] ρ_l [%]	u_0 [m] u_1 [m]	$v_{Ed,u0}$ [MPa] $v_{Ed,u1}$ [MPa]	$v_{Rd,max}$ [MPa] $v_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,max}$ [-] $UC_{vRd,c}$ [-]
N17	MSÚ-Sada B (auto)/2	Vnitřní sloup 1,15	Obdélník (400;400)	**1127,50** 0,00	36,48 57,58	Strop 0,45	C30/37 20,00	0,21 0,47	1,600 4,277	1,97 1,42	4,22 0,57	**0,47** **2,50**

Příčinou problému je, že program uvažuje pro posouzení desky parametry referenčního průřezu ve vzdálenosti 3*h* od líce sloupu. V našem případě zasahuje hlavice (3000-400)/2 = 1300 mm za líc sloupu, avšak 3*h* = 3*450 = 1350 mm, a referenční průřez tedy leží v nezesílené části desky. Přístup programu není zcela správný. Pro výpočet se má uvažovat vyztužení ve vzdálenosti 3*d* (nikoliv 3*h*) za lícem sloupu a tloušťka v posuzovaném místě. V Akce > Beton > Nastavení pro betonové konstrukce lze upravit, z jakého místa konstrukce se mají převzít data o desce. Upravíme koeficient na hodnotu *d*/*h**3 = 413/450*3 = 2,75, aby poloha referenčního průřezu odpovídala normě.



Nyní již výpočet proběhne se správnými vstupy a posudek vyhoví.



Beton

Jméno	Stav	Případ protlačení β [-]	Tvar protlačení	V_{Ed} [kN] ΔV_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm] $M_{Ed,z}$ [kNm]	Deska h [m]	Materiál f_{cd} [MPa]	d_{eff} [m] ρ_l [%]	u_0 [m] u_1 [m]	$v_{Ed,u0}$ [MPa] $v_{Ed,u1}$ [MPa]	$v_{Rd,max}$ [MPa] $v_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,max}$ [-] $UC_{vRd,c}$ [-]
N17	MSÚ-Sada B (auto)/1	Vnitřní sloup 1,15	Obdélník (400;400)	**1127,50** 0,00	36,48 57,58	Strop 0,45	C30/37 20,00	0,41 0,51	1,600 6,758	1,97 0,47	4,22 0,51	**0,47** **0,92**

Pro ověření provedeme posouzení pro sloup B3 i ručně, například v Excelu. Výsledky se shodují s programem.

Posouzení protlačení hlavice - obdélníkový sloup

Materiály

f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
f_{cd}	20,0	MPa
f_{yd}	434,8	MPa

Konstrukce

h	450	mm
c	25	mm
$Ø_x$	16	mm
$Ø_y$	16	mm
d_x	409	mm
d_y	401	mm
d	401	mm
a_x	400	mm
a_y	400	mm

Kontrolované obvody

u_0	1600	mm
u_1	6639	mm

Napětí v kontrolovaných obvodech

β	1,15	-
V_{Ed}	1128	kN
$v_{Ed,0}$	2,022	MPa
$v_{Ed,1}$	0,487	MPa

$$v_{Ed,i} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_i d}$$

Únosnost tlačené diagonály

ν	0,528	-
$v_{Rd,max}$	4,224	MPa

$$\nu = 0,6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \qquad v_{Rd,max} = 0,4\nu f_{cd}$$

Únosnost průřezu bez výztuže

$C_{Rd,c}$	0,12	-
k	1,706	-
$a_{s,x}$	2087	mm^2/m
$a_{s,y}$	2087	mm^2/m
$\rho_{l,x}$	0,005103	-
$\rho_{l,y}$	0,005204	-
ρ_l	0,005153	-
$v_{Rd,c}$	0,510	MPa
u_{out}	6342	mm
r_{out}	1009	mm

$$\rho_{l,j} = \frac{a_{s,j}}{1000 d_j}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,x}} \le 0,02$$

$$v_{Rd,c} = \max\left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_l \cdot f_{ck})};\ \ 0,035\sqrt{k^3 f_{ck}} \right]$$

$$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} \qquad r_{out} = \frac{u_{out}}{2\pi}$$

Posouzení únosnosti tlačené diagonály

$v_{Ed,0} \le v_{Rd,max}$ 2,022 ≤ 4,224 [MPa] **OK**

Posouzení zajištění požadovaného kotvení výztuže

k_{max} 1,5505 (bezpečně jako pro třmínky: 1,45 pro d = 200 mm, 1,7 pro d = 700 mm)

$v_{Ed,1} \le k_{max} \cdot v_{Rd,c}$ 0,487 ≤ 0,791 [MPa] **OK**

Posouzení únosnosti betonu bez výztuže

$v_{Ed,1} \le v_{Rd,c}$ 0,487 ≤ 0,510 [MPa] **OK**

Do hlavice bychom navrhli konstrukční výztuž na protlačení (2 ohyby Ø16 v každém směru), tuto výztuž však nemá smysl zadávat do modelu.

Dále je potřeba posoudit protlačení desky tl. 250 mm ve vzdálenosti 2*d* za lícem hlavice. Provedeme opět pomocí Excelu (Scia tento posudek nenabízí). Konstrukce i v tomto posudku vyhoví bez výztuže na protlačení.

Posouzení protlačení hlavice - obdélníkový sloup

Materiály

f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
f_{cd}	20,0	MPa
f_{yd}	434,8	MPa

Konstrukce

h	250	mm
c	25	mm
$Ø_x$	12	mm
$Ø_y$	12	mm
d_x	213	mm
d_y	207	mm
d	207	mm
a_x	3000	mm
a_y	3000	mm

Kontrolované obvody

u_0	12000	mm
u_1	14601	mm

Napětí v kontrolovaných obvodech

β	1,15	-	
V_{Ed}	1128	kN	
$v_{Ed,0}$	0,522	MPa	$v_{Ed,i} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_i d}$
$v_{Ed,1}$	0,429	MPa	

Únosnost tlačené diagonály

ν	0,528	-	$\nu = 0,6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$
$v_{Rd,max}$	4,224	MPa	$v_{Rd,max} = 0,4 \nu f_{cd}$

Únosnost průřezu bez výztuže

$C_{Rd,c}$	0,12	-	
k	1,983	-	
$a_{s,x}$	754	mm^2/m	
$a_{s,y}$	754	mm^2/m	
$\rho_{l,x}$	0,003540	-	$\rho_{l,i} = \frac{a_{s,i}}{1000 d_i}$
$\rho_{l,y}$	0,003643	-	
ρ_l	0,003591	-	$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,x}} \le 0,02$
$v_{Rd,c}$	0,535	MPa	$v_{Rd,c} = \max\left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_l \cdot f_{ck})};\ 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}} \right]$
u_{out}	11707	mm	$u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d}$
r_{out}	1863	mm	$r_{out} = \frac{u_{out}}{2\pi}$

Posouzení únosnosti tlačené diagonály

$v_{Ed,0} \le v_{Rd,max}$	0,522	≤	4,224	[MPa]	**OK**

Posouzení zajištění požadovaného kotvení výztuže

k_{max} 1,4535 (bezpečně jako pro třmínky: 1,45 pro d = 200 mm, 1,7 pro d = 700 mm)

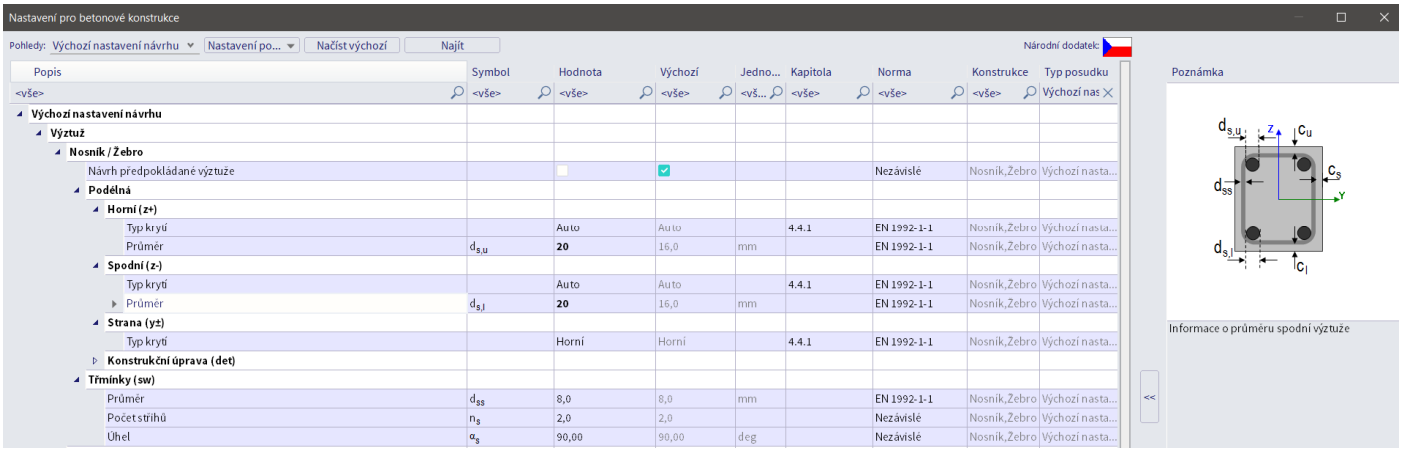
$v_{Ed,1} \le k_{max} \cdot v_{Rd,c}$	0,429	≤	0,778	[MPa]	**OK**

Posouzení únosnosti betonu bez výztuže

$v_{Ed,1} \le v_{Rd,c}$	0,429	≤	0,535	[MPa]	**OK**

Nastavení pro návrh výztuže žeber

Před návrhem výztuže žeber je opět nutno provést nastavení přes Akce > Beton > Nastavení pro betonové konstrukce. V pohledech Vnitřní síly a Nastavení podle normy již není v našem případě potřeba nic upravovat. Potřebné změny byly provedeny při návrhu původní desky. Je však potřeba specifikovat předpokládanou výztuž v pohledu Výchozí nastavení návrhu. Pro prvek typu Nosník/Žebro zrušíme použití šablon, zadáme základní profil horní i spodní výztuže 20 mm a třmínků 8 mm.

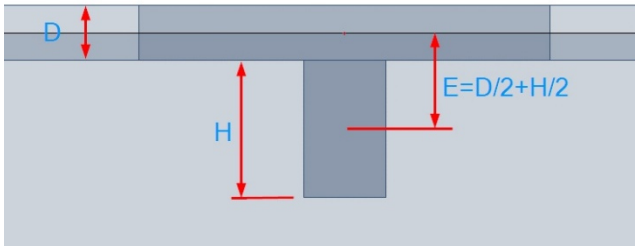


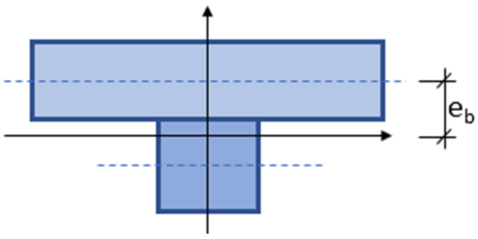
V nabídce se po zadání žeber objevila nová volba Akce > Beton > Data prutu. Pomocí této volby lze v případě potřeby pro vybrané 1D dílce změnit globální nastavení betonu. Dílci je pak přiřazena vlastní sada dat, která má přednost před globálním nastavením.

Návrh výztuže žeber na MSÚ

Normálová síla v žebru

Scia pracuje se žebry jako s nosníky excentricky připojenými k desce. V důsledku excentricity *E* mezi osou desky a osou žebra získáme v žebru zatíženém pouze svislým zatížením normálovou sílu (podrobnější vysvětlení zde). Je-li žebro pod deskou, vznikne v něm tah. V desce pak vznikne stejně velká opačně orientovaná (tlaková) normálová síla.





Velikost normálové síly i momentu na žebru závisí na spolupůsobící šířce desky. Spolupůsobící šířka desky se použije pouze pro přerozdělení vnitřních sil mezi desku a virtuální T-průřez. Na celkové vnitřní síly v konečněprvkovém modelu nemá žádný vliv. Pokud zmenšíme velikost spolupůsobící šířky, zmenší se sice síly v žebru, ale zbylé síly budou uvažovány při návrhu desky.

Otázkou je, zda je nutno při návrhu plochy podélné výztuže svisle zatíženého žebra kromě účinků ohybového momentu počítat i s účinky zmíněné normálové síly, a to buď přímo ve formě normálové síly, nebo formou přídavného momentu od normálové síly na excentricitě e_b mezi těžištěm desky a těžištěm spojeného T-průřezu. Odpověď není jednoznačná.

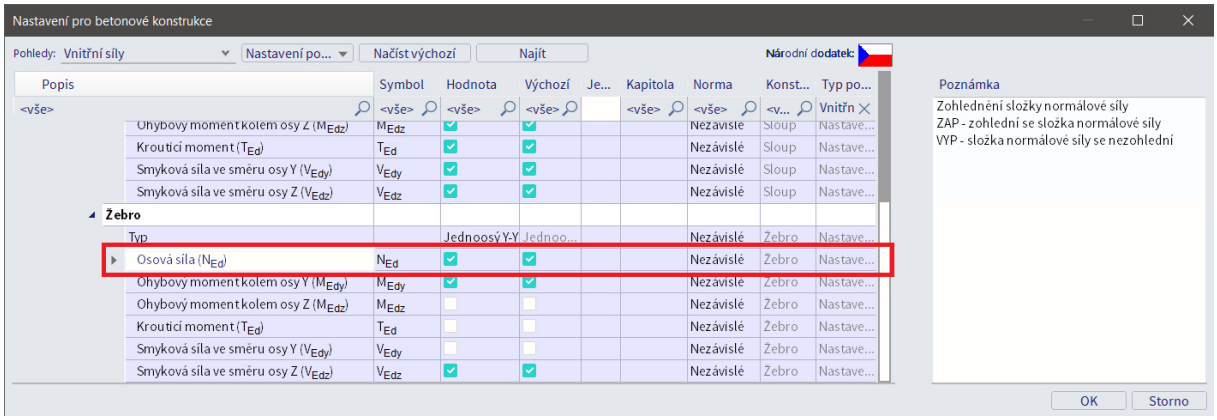
Podle manuálu k programu (viz zde) je ohybový moment *My* v žebru stanovován podle vztahu, který lze symbolicky zapsat následovně:

*My = My prutu + My desky, zleva + My desky, zprava + N desky, zleva * (Rameno síly zleva) – N desky, zprava * (Rameno síly zprava) + N prutu * (Rameno síly na prutu)*

Moment od excentrického připojení by v něm tedy již měl být zahrnut a nemělo by být nutno jej zvlášť přičítat. Tento názor byl autorovi textu potvrzen při korespondenci s odborníky helpdesku firmy Scia, kteří uvedli, že moment My je konečný a zohledňuje všechny potřebné silové účinky pro návrh podélné výztuže. Navíc je nutno si uvědomit, co je příčinou vzniku normálové síly v žebru. Model žebra je podepřen sloupem v jednom bodě v úrovni střednicové roviny desky. Žebro je tedy vůči teoretické podpoře umístěno excentricky a vzniká v něm tahová síla. Na reálné konstrukci však není podepření realizováno tímto způsobem. Ke styku trámu a sloupu dochází na oblasti rovné výšce trámu, teoretická podpora leží v těžišti T-průřezu a žádný dodatečný silový účinek nevzniká.

Na druhou stranu jiní odborníci firmy Scia při školeních doporučují s účinkem normálové síly v žebru počítat. Tomu odpovídá i výchozí nastavení programu, kde je složka normálové síly zohledněna při návrhu (viz níže).

Autor tohoto textu i přes jisté metodologické pochybnosti doporučuje držet se na straně bezpečné, používat výchozí nastavení programu a zohledňovat při návrhu žeber i účinek normálové sílu v žebru. Vliv na požadované plochy výztuže není zásadní, u řešené konstrukce představuje cca 10 %.



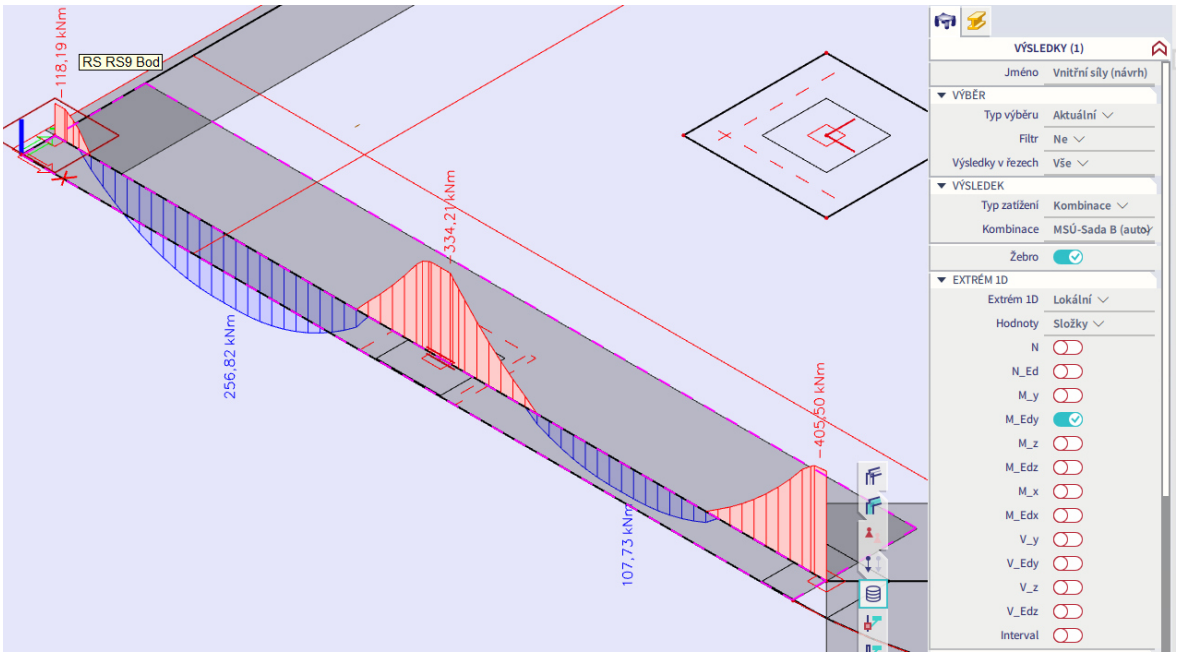
Vnitřní síly v žebru

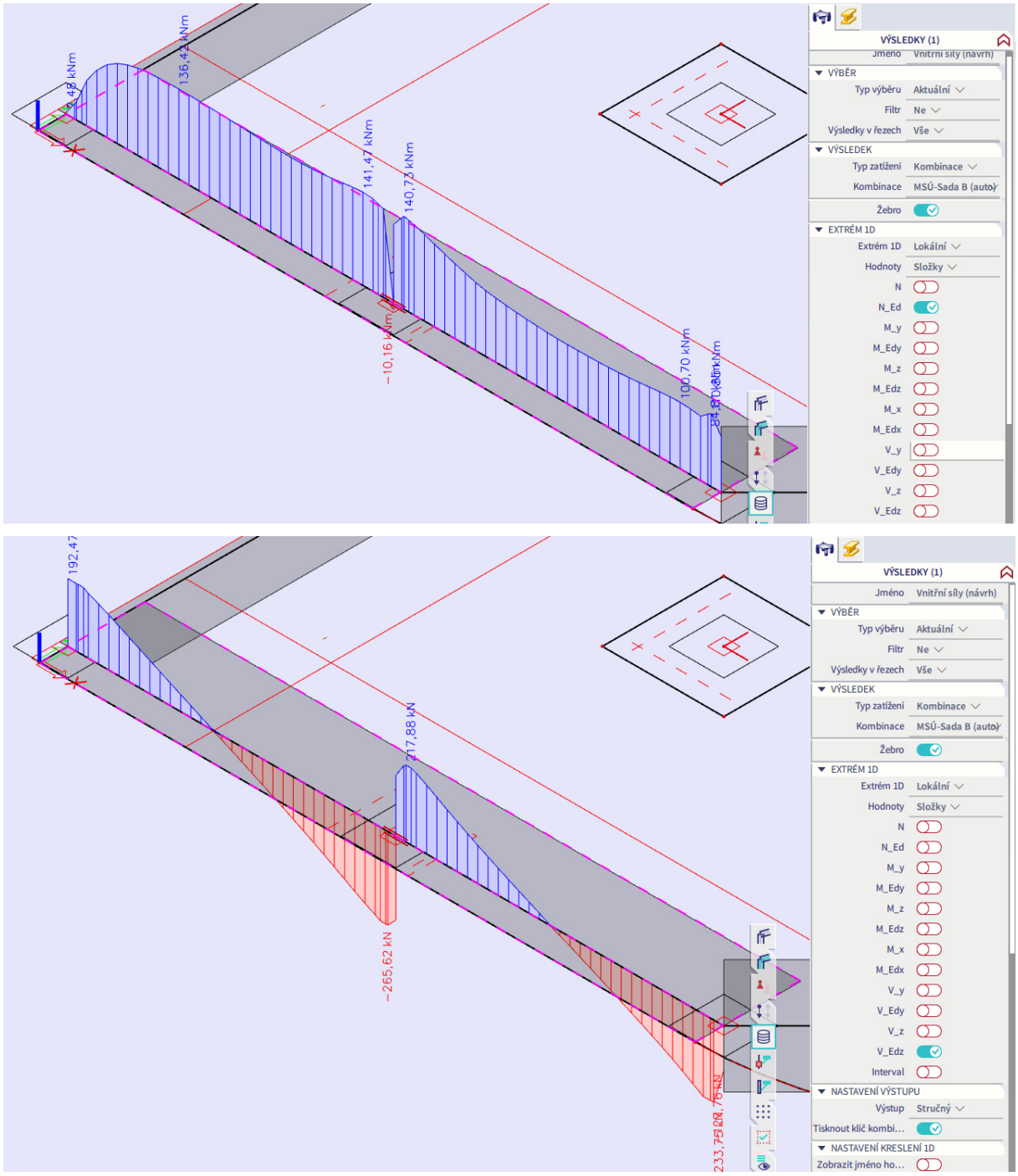
Provedeme návrh výztuže žebra na MSÚ. Pro demonstraci postupu zvolíme dvoupolové deskové žebro A2-C2. Přes Akce > Beton > Vnitřní síly pro návrh betonových 1D dílců vykreslíme vnitřní síly, které v žebru vznikají. Při vykreslování je důležité zatrhnout ve Vlastnostech volbu Žebro, aby žebro přebralo vnitřní síly ze spolupůsobící šířky desky. Vybereme dané žebro a položku Typ výběru ve Vlastnostech nastavíme na Aktuální, abychom pro urychlení výpočtu zobrazovali jen potřebné žebro.

Vysvětlení k volbě Hodnoty:

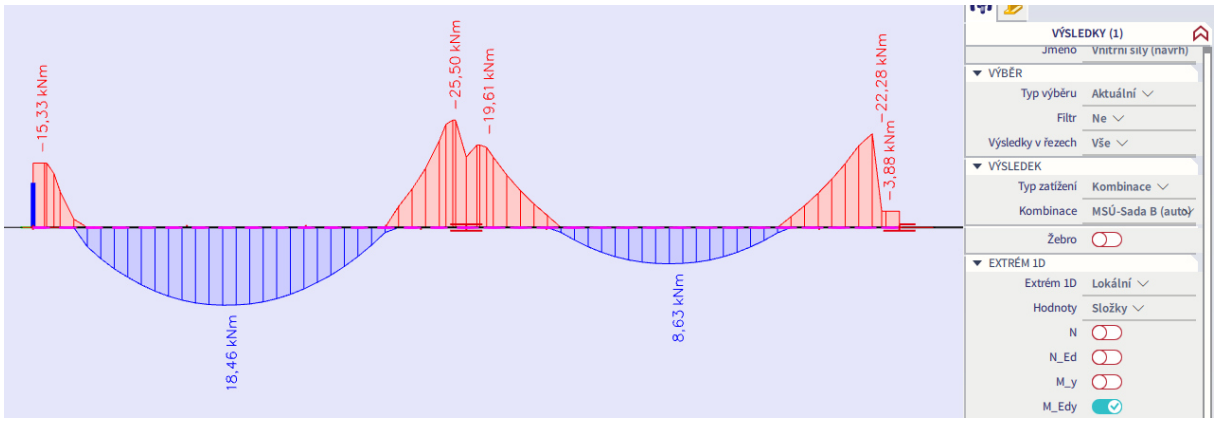
- N, M a V jsou základní hodnoty spočtených vnitřních sil (odpovídají výsledkům z výpočtu MKP v modulu Výsledky).
- N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed} jsou návrhové hodnoty po provedení redukcí, posunů obálky a přičtení přídavných momentů podle pravidel definovaných v Nastavení pro betonové konstrukce.
- M-M_{Ed} a V-V_{Ed} umožňují zobrazit v jednom grafu základní a návrhové hodnoty, což umožňuje snadno zkontrolovat vliv úprav obálky, které program provedl podle nastavení.
- M_{Edx} je návrhový kroutící moment.
- Volba Složky umožňuje zobrazit více hodnot najednou (nebo v případě M_{Ed} naopak zobrazit zvlášť M_{Edy} a M_{Edz}).
- Indexy směrů: Svislé zatížení vyvolává síly M_y a V_z, vodorovné M_z a V_y.

Podélnou výztuž žebra budeme navrhovat na moment M_{Edy} a normálovou sílu N_{Ed}, smykovou na posouvající sílu V_{Edz}. Hodnoty:

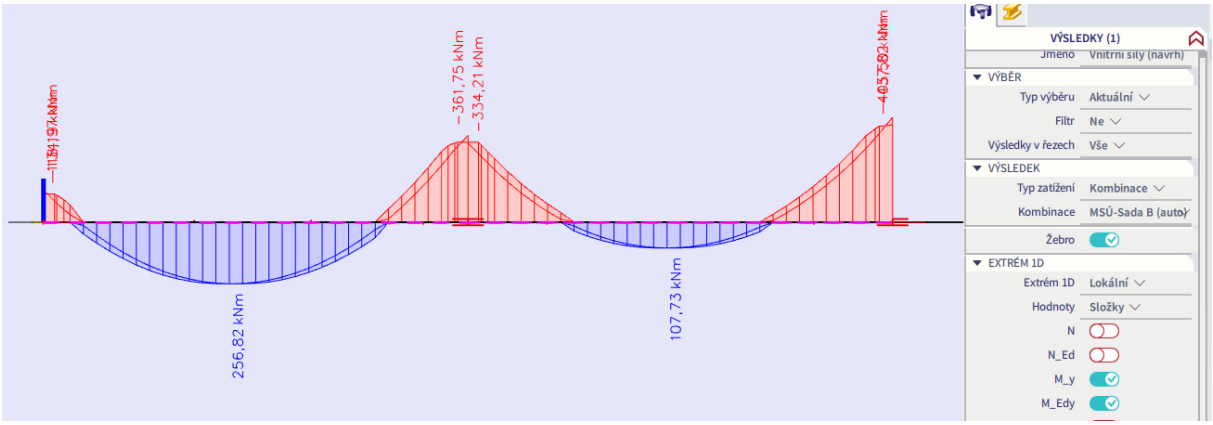




Srovnáním prvního obrázku M_{Edy} s následujícím je možné posoudit vliv zaškrtnutí přepínače Žebro na hodnotu momentu. Bez zaškrtnutí přepínače žebro nepřebírá zatížení z desky.



Následující obrázek srovnává základní moment M_y s návrhovým momentem M_{Edy}. Ukazuje tedy vliv redukce nadpodporových momentů a posunu obálky vlivem přídavné tahové síly od smyku. V okně Vlastnosti v části Nastavení kreslení 1D je nutno zvolit Rovina kreslení = 3D, aby se vykreslily oba grafy přes sebe (jinak budou v různých výškových úrovních).

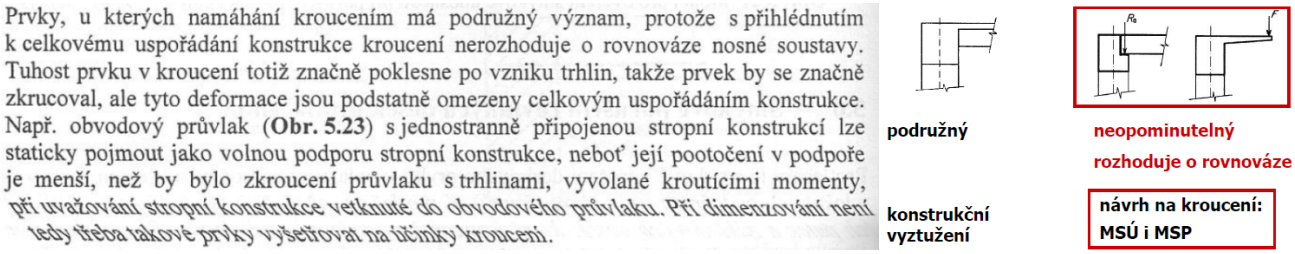


Na žebru lze vykreslit rovněž ohybový moment ve vodorovném směru M_z a posouvající sílu ve vodorovném směru V_y. Jde o důsledek šikmého ohybu okrajového žebra. Reálně bude ohybu žebra ve vodorovném směru bráněno monoliticky připojenou tuhou stropní deskou, která přebere vznikající silové účinky. To je při návrhu výztuže žebra zohledněno tak, že je v Nastavení pro betonové konstrukce pro žebra zvolen Typ návrhu Jednoosý Y-Y (viz obrázek na konci kapitoly Obecně k žebrům). Síly uvažované pro návrh M_{Edz} a V_{Edy} jsou pak nulové.

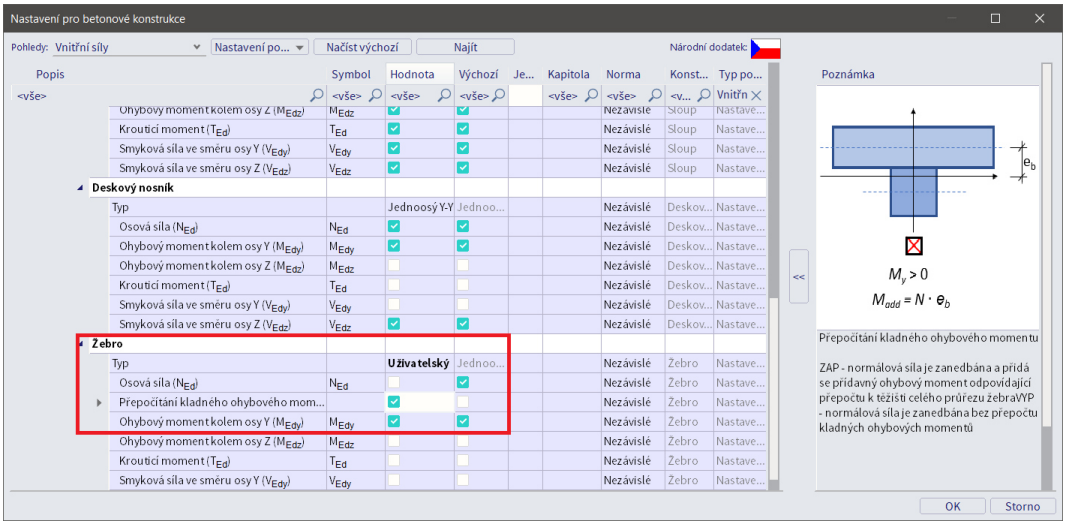
V žebru vzniká i krouticí moment M_{Edx}. Ten však u naší konstrukce není nutno zvlášť uvažovat při návrhu. Podle ČSN EN 1992-1-1, odst. 6.3.1: Pokud u staticky neurčitých konstrukcí vzniká kroucení pouze vlivem kompatibility a konstrukce z hlediska stability nezávisí na únosnosti v kroucení, není běžně nutné uvažovat kroucení v MSÚ. Postačí minimální vyztužení bránící rozvoji trhlin.

- Třmínky: uzavřené, vzdálenost třmínků $s_{l,\max} \le \min\left(0,75d; 400\ \text{mm}; b; h; \frac{u}{8}\right)$ kde b, h jsou rozměry průřezu, d je staticky účinná výška průřezu a u je obvod průřezu.
- Podélná výztuž: Alespoň 4 pruty v rozích, vzdálenosti prutů po obvodě průřezu max. 350 mm

Viz též skripta Procházka, přednášky Vašková:



Poznámka: Síly z modulu Beton jsou u žeber na rozdíl od desek použitelné i pro ruční návrh ploch výztuže v případě, že by uživatel nechtěl přebírat plochy navržené programem. V takovém případě by ale bylo vhodnější vyloučit normálovou sílu v žebru a zahrnout ji do hodnoty ohybového momentu formou přídavného momentu. K tomu by bylo potřeba upravit Nastavení pro betonové konstrukce následujícím způsobem:



Potřebné plochy podélné výztuže

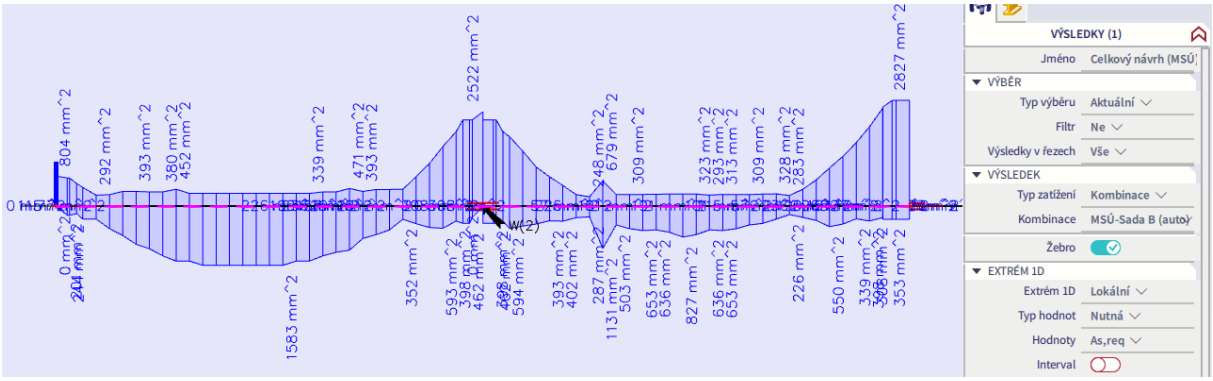
Potřebné plochy výztuže vykreslíme přes Akce > Beton > Návrh výztuže 1D. Opět musíme zatrhnout ve Vlastnostech volbu Žebro. Možnosti výběru volby Typ hodnot:

- Nutná – hodnoty vztahující se k nutné výztuži, kterou je potřeba do konstrukce navrhnout.
- Předpokládaná – hodnoty vztahující se k předpokládané výztuži definované pomocí šablony ve Výchozím nastavení návrhu. Je možné vykreslit její plochu, plochu k ní potřebných příložek atd. Pokud nepoužíváme šablony, nemá význam.
- Nutná ∩ Předpokládaná – kombinace obou sad hodnot. Pokud nepoužíváme šablony, nemá význam.

Možnosti výběru volby Hodnoty pro Typ hodnot = Nutná:

- As,req – nutná plocha podélné výztuže. **Pozor**, poněkud nelogicky odpovídá momentům M_{Edy} výztuž A_sz a naopak!
- Aswm,req – nutná plocha smykové výztuže.
- UC (As,max) – podíl As,req / As,max dle konstrukčních zásad. Umožňuje rychle zjistit, zda je průřez vyztužitelný na ohyb.
- UC (Aswm,max) – podíl Aswm,req / Aswm,max dle konstrukčních zásad. Umožňuje rychle zjistit, zda je průřez vyztužitelný na smyk.
- As,req(Ø) – zobrazí počty potřebných prutů podélné výztuže. Uvažuje se profil zadaný v Nastavení pro betonové konstrukce.
- Aswm,req(Ø/s) – zobrazí potřebné rozteče prutů smykové výztuže. Uvažuje se profil zadaný v Nastavení pro betonové konstrukce.
- Volba Složky umožňuje zobrazit více hodnot najednou nebo naopak zobrazit zvlášť hodnoty pro směry *y* a *z* a pro kladný a záporný povrch.

Vykreslíme As,req (ve Vlastnostech v Nastavení kreslení nastavíme volbu Rovina kreslení na 3D).



Kromě očekávané výztuže na spodním povrchu v polích a na horním povrchu nad podporami je vykreslena i požadovaná výztuž na opačných površích a rovněž na svislých površích. To je dáno jednak zohledněním konstrukčních zásad a jednak šikmým ohybem v důsledku nesymetrie průřezu tvořeného žebrem a spolupůsobící částí desky.

Ověříme, zda navržené plochy výztuže odpovídají momentu M_{Edy} pro největší momenty v poli a nad podporou. Ručním výpočtem dostaneme:

$$A_{s,mid} = \frac{M_{Ed,mid}}{0,9df_{yd}} = \frac{257 \cdot 10^6}{0,9 \cdot (450 - 25 - 20/2 - 8) \cdot 435} = 1612 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,sup} = \frac{M_{Ed,sup}}{0,9df_{yd}} = \frac{406 \cdot 10^6}{0,9 \cdot (450 - 25 - 20/2 - 8) \cdot 435} = 2548 \text{ mm}^2$$

Plochy navržené programem jsou odpovídající, rozdíly jsou dány nezohledněním normálové síly v ručním výpočtu a přesnějším postupem výpočtu v programu.

Je potřeba obezřetně přistupovat k vyztužení podle konstrukční zásady pro minimální plochu tažené výztuže. Ve studovaném žebru je na straně tažených vláken vždy potřeba podélnou výztuž navrhnout minimálně na:

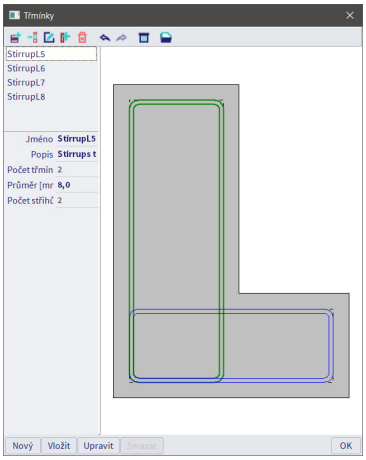
$$A_{s,min} = \max\left(0,26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_T d; 0,0013 b_T d\right) = \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1400 \cdot 407; 0,0013 \cdot 1400 \cdot 407\right) = 859 \text{ mm}^2$$

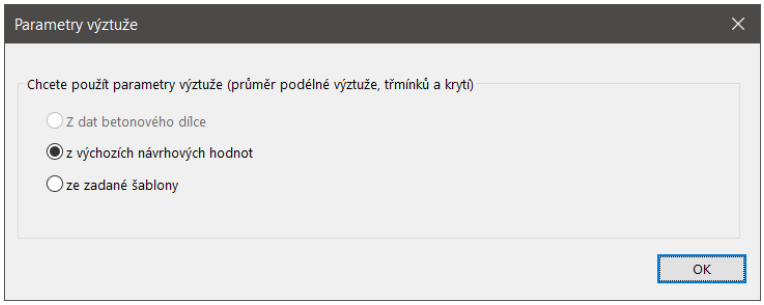
Tato hodnota v pravém poli není u dolního povrchu splněna, neboť část výztuže je umístěna na horní líc. Při pozdějším návrhu skutečného vyztužení je potřeba na tuto skutečnost pamatovat.

Poznámka: Deska a žebro se v programu při výpočtu vnitřních sil a při posudcích ovlivňují svými tuhostmi, ale výztuž jednoho prvku se do posudku druhého prvku nezapočítává. Proto jsme mohli do desky zadat uživatelskou výztuž v obou směrech při celém povrchu (i v místě žeber), aniž bychom tím ovlivnili návrh žebra. Do žebra pak zadáme výztuž žebra bez ohledu na již existující výztuž desky. V programu zpracováváme výpočetní model, nikoliv výkres výztuže. Ve výkresu bychom pak výztuž desky v místě žeber patřičně upravili.

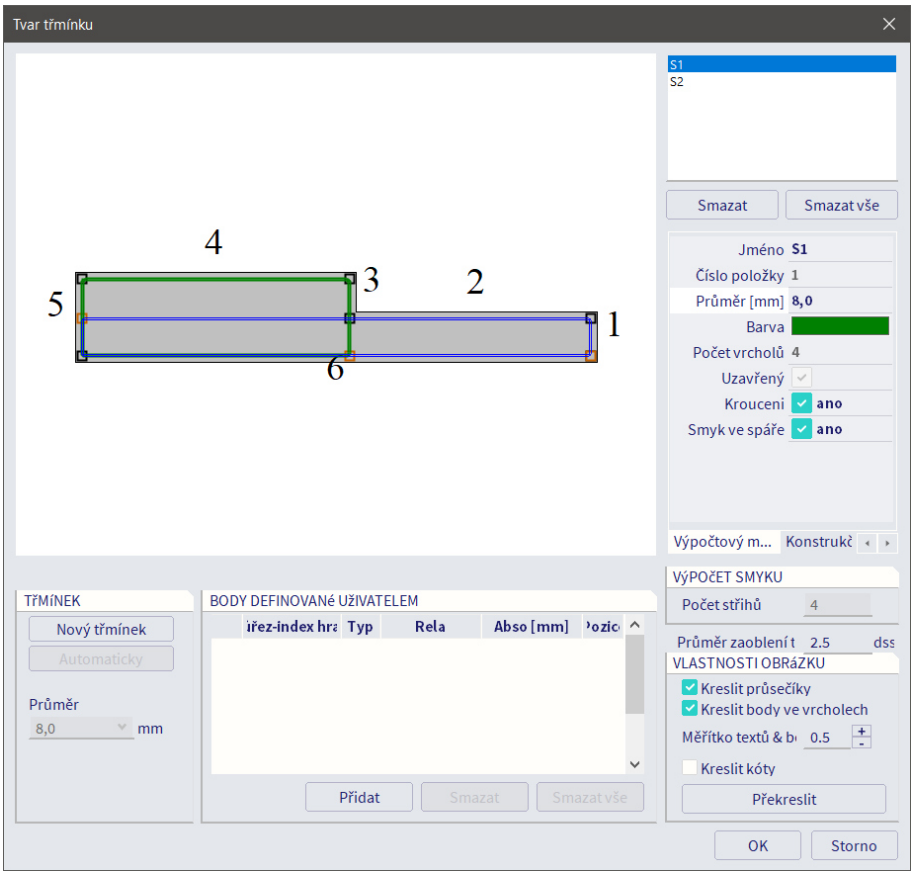
Zadání smykové výztuže

Na žebro zadáme armokoš. Zadání zahájíme přes Panel > Beton > Výztuž v betonu > Přidat třmínky na celý nosník. Na liniový prvek nelze zadat podélnou výztuž dříve než třmínky. Lze zadat oba typy výztuže najednou přes příkaz 1D výztuž, takový postup je ale méně přehledný. Jelikož pro naše atypické deskové žebro není k dispozici vhodná šablona třmínku, vybereme šablonu základní. Potvrdíme tlačítkem OK a zvolíme parametry výztuže „z výchozích návrhových hodnot“.





Dále provedeme úpravy třmínků tak, aby odpovídaly posouvající síle a geometrii daného žebra. Abychom dodrželi maximální příčnou rozteč větví třmínků $s_{t,max}$ = min(0,75d_T; 600 mm) = 0,75*407 = 305 mm, musí být třmínky 1400/305+1 = šestistřižné. Vybereme zadané třmínky a v okně Vlastnosti spustíme akční příkaz Opravit tvar třmínků.



Postup zadání bude následující:

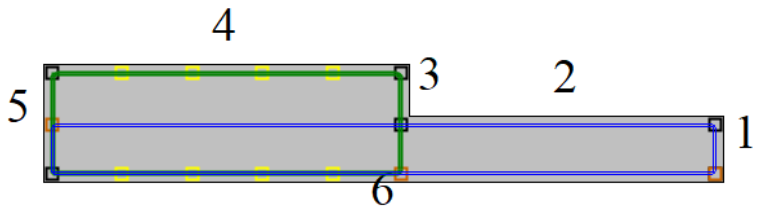
- **Pozor!** V průběhu úprav v dialogu pro výztuž nemačkat klávesu Esc. Na rozdíl od běžného zadávání ve Scia, kdy Esc potvrzuje, v tomto dialogu dojde stisknutím Esc k jeho zavření a ztrátě úprav.
- V okně Body definované uživatelem doplníme souřadnice vrcholů nových třmínků, které je třeba do konstrukce přidat.

BODY DEFINOVANé UŽIVATELEM

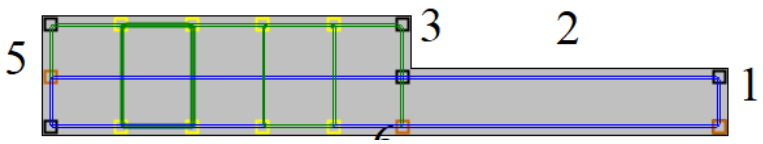
	řez-index hra	Typ	Rela	Abso [mm]	ozic
1	4.Hrana	Ab		268,000	Ko
2	4.Hrana	Ab		536,000	Ko
3	4.Hrana	Ab		804,000	Ko
4	4.Hrana	Ab		1072,000	Ko
5	6.Hrana	Ab		268,000	Za

BODY DEFINOVANé UŽIVATELEM

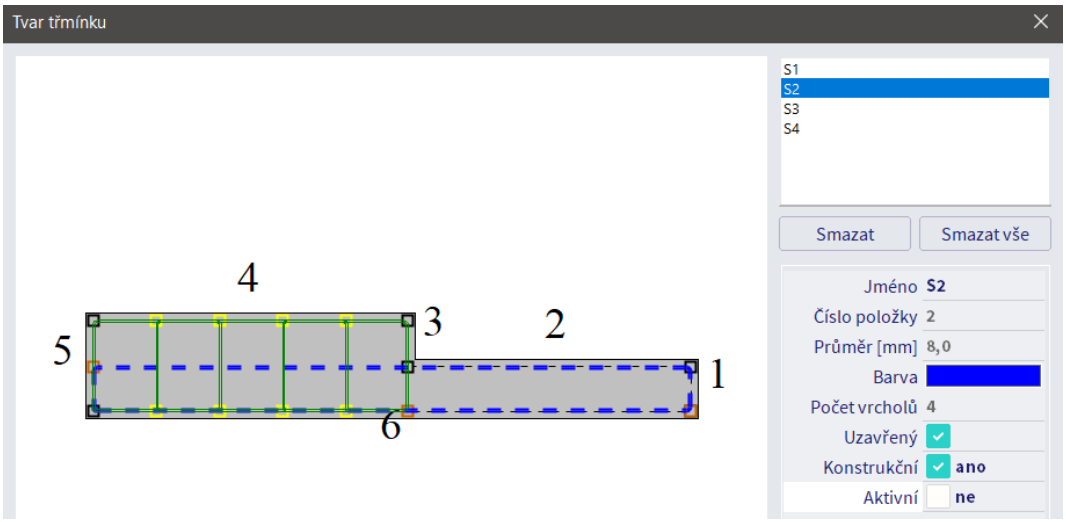
	řez-index hra	Typ	Rela	Abso [mm]	ozic
4	4.Hrana	Ab		1072,000	Ko
5	6.Hrana	Ab		268,000	Za
6	6.Hrana	Ab		536,000	Za
7	6.Hrana	Ab		804,000	Za
8	6.Hrana	Ab		1072,000	Za



- Přes tlačítko Nový třmínek graficky zadáme nové třmínky profilu 8 mm.



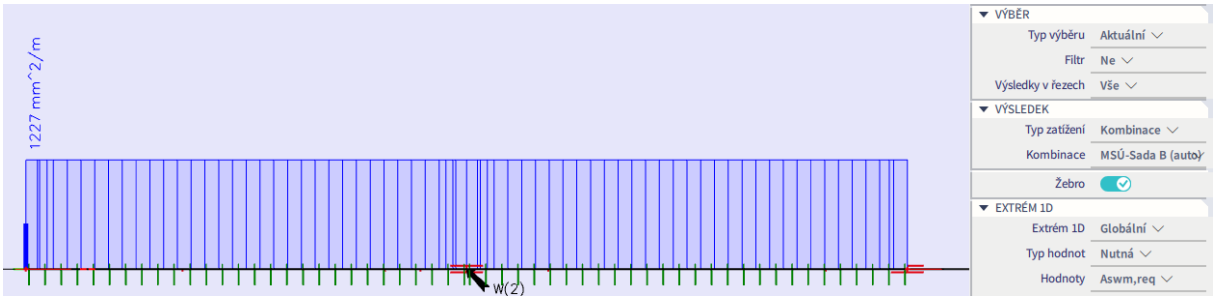
- U třmínku S2 aktivujeme parametr Konstrukční a deaktivujeme parametr Aktivní. Tento třmínek v reálné konstrukci nebude zadán, přilehlá část desky bude vyztužena výztuží desky. Pro korektní zadání v programu je však nezbytné, aby ve všech částech průřezu byl vložen nějaký třmínek. Aktivováním parametru Konstrukční se třmínek nepoužije pro výpočet smyku a kroucení. Deaktivováním volby Aktivní nebude vidět v konstrukci.



Vysvětlení dalších parametrů třmínků:

- Kroucení – určuje, zda se třmínek má uvažovat i pro kroucení. V našem případě aktivován pro třmínek S1.
- Smyk ve spáře – třmínek se použije ve výpočtu smykového napětí ve spárách fázovaných průřezů, např. mezi pásnicí a stojinou spřaženého průřezu. V našem případě není relevantní.

Při zadávání armokoše se automaticky zadala na celou délku žebra základní smyková výztuž Ø8/300 mm. To však nemusí odpovídat skutečně potřebné výztuži. Přes Akce > Beton > Návrh výztuže 1D dílce vykreslíme požadované plochy smykové výztuže Aswm,req. Po celé délce vychází konstantní plocha smykové výztuže. Je dána plochou dle konstrukčních zásad, která v daném prvku převyšuje staticky nutnou smykovou výztuž:



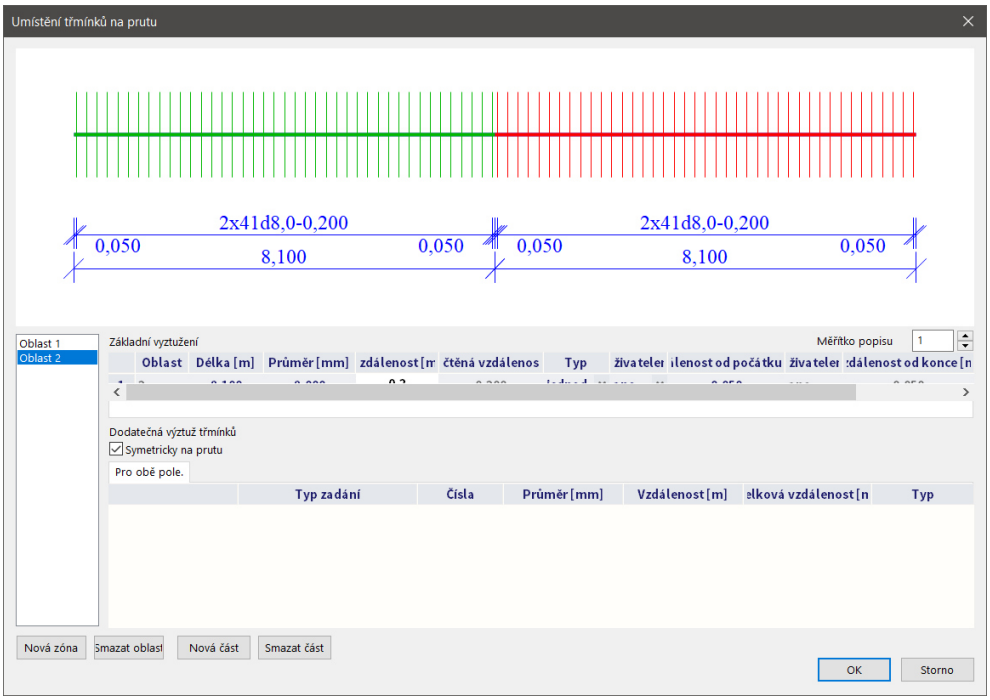
$$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08\sqrt{30}}{500} = 8,76 \cdot 10^{-4}$$

$$a_{sw} \geq a_{sw,min} = \rho_{sw,min} \cdot b \cdot l = 8,76 \cdot 10^{-4} \cdot 1400 \cdot 1000 = 1227 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Plocha jednoho šestistřižného třmínku Ø8 je $A_{sw,1}$ = 300 mm^2 a na metr délky je tedy potřeba 1227/300 = 4,09 = 5 třmínků. Podle konstrukčních zásad bude tedy nutno navrhnout šestistřižné třmínky Ø8/200 mm. Únosnost těchto třmínků je:

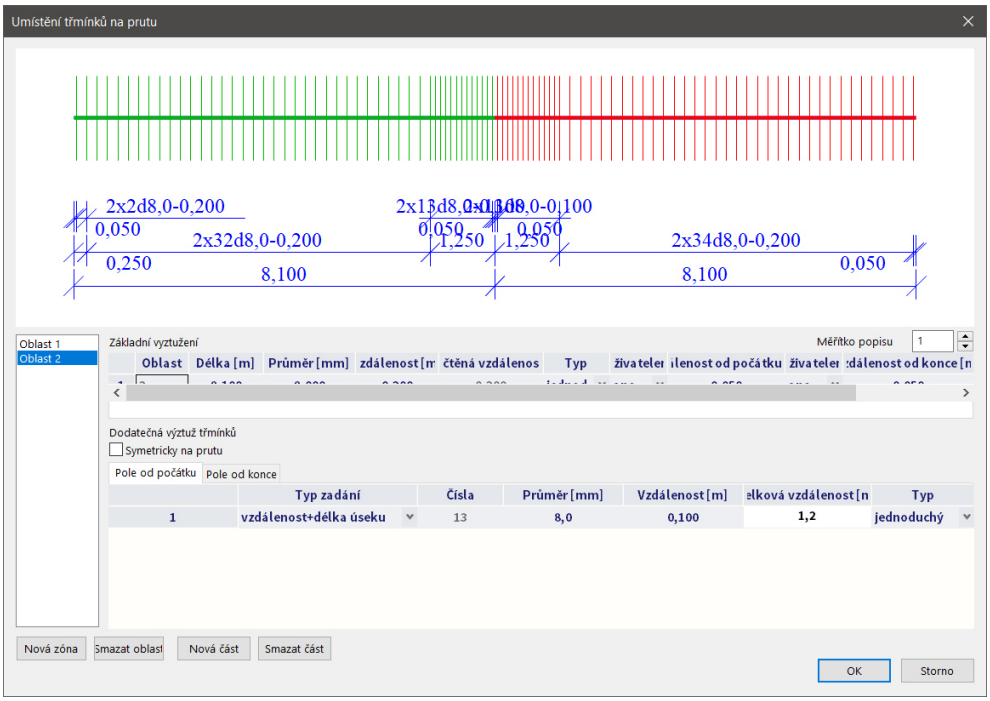
$$V_{Rd,kon} = \frac{A_{sw1} f_{yd}}{s_{kon}} \cdot z \cdot \cot\theta = \frac{300 \cdot 435}{200} \cdot 0,9 \cdot 407 \cdot 1,2 = 287 \; kN$$

Vzhledem k tomu, že maximální hodnota posouvající síly je 265,6 kN, je únosnost dostatečná. Konstrukční třmínky pokryjí veškeré posouvající síly. Vybereme zadané třmínky, v okně Vlastnosti zvolíme akční příkaz Opravit vzdálenost třmínků a na obou polích žebra (oblastech) změníme vzdálenost na 0,2 m. Tím jsou třmínky upraveny.



Taková úprava je triviální, a proto si cvičně ukážeme i složitější úpravu třmínků. Provedeme zhuštění na rozteč 100 mm v okolí střední podpory na zóně 6,9 až 9,3 m.

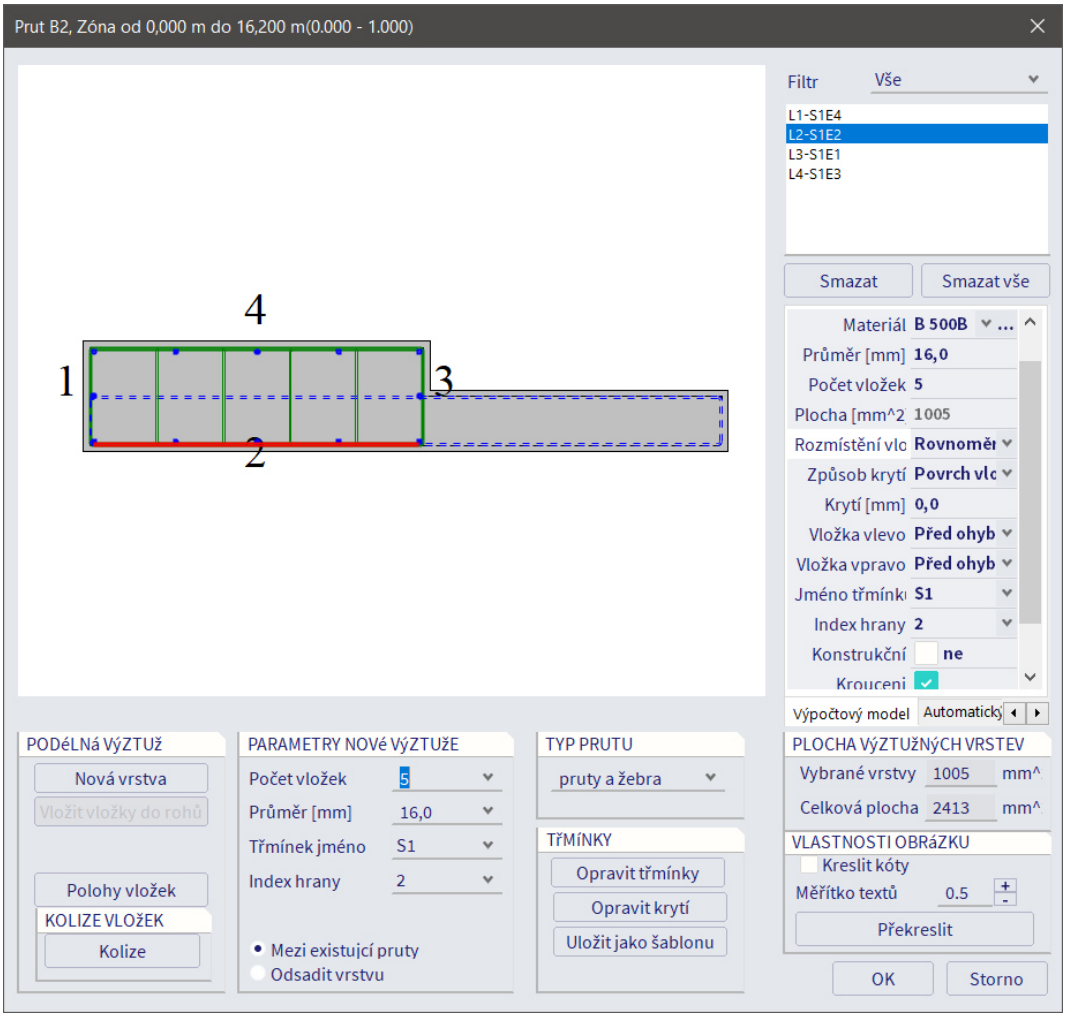
1. Na oblasti 1 zrušíme zatržení symetrického vyztužení.
2. Na oblasti 1 přidáme Novou část v kartě Pole od konce. Vybereme Typ zadání Vzdálenost a délka úseku, zadáme Vzdálenost 0,1 m a Celková vzdálenost 1,2 m.
3. Na oblasti 2 zrušíme zatržení symetrického vyztužení.
4. Na oblasti 2 přidáme Novou část v kartě Pole od začátku. Vybereme Typ zadání Vzdálenost a délka úseku, zadáme Vzdálenost 0,1 m a Celková vzdálenost 1,2 m.



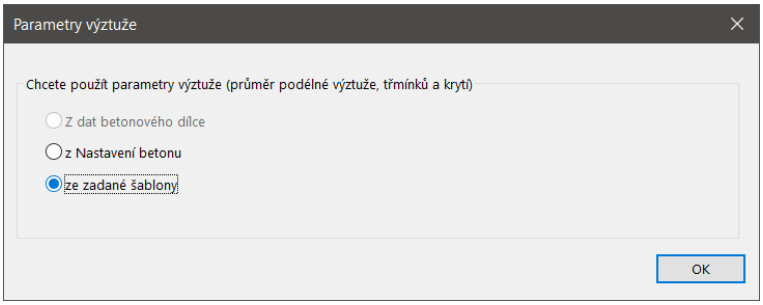
Zadání podélné výztuže

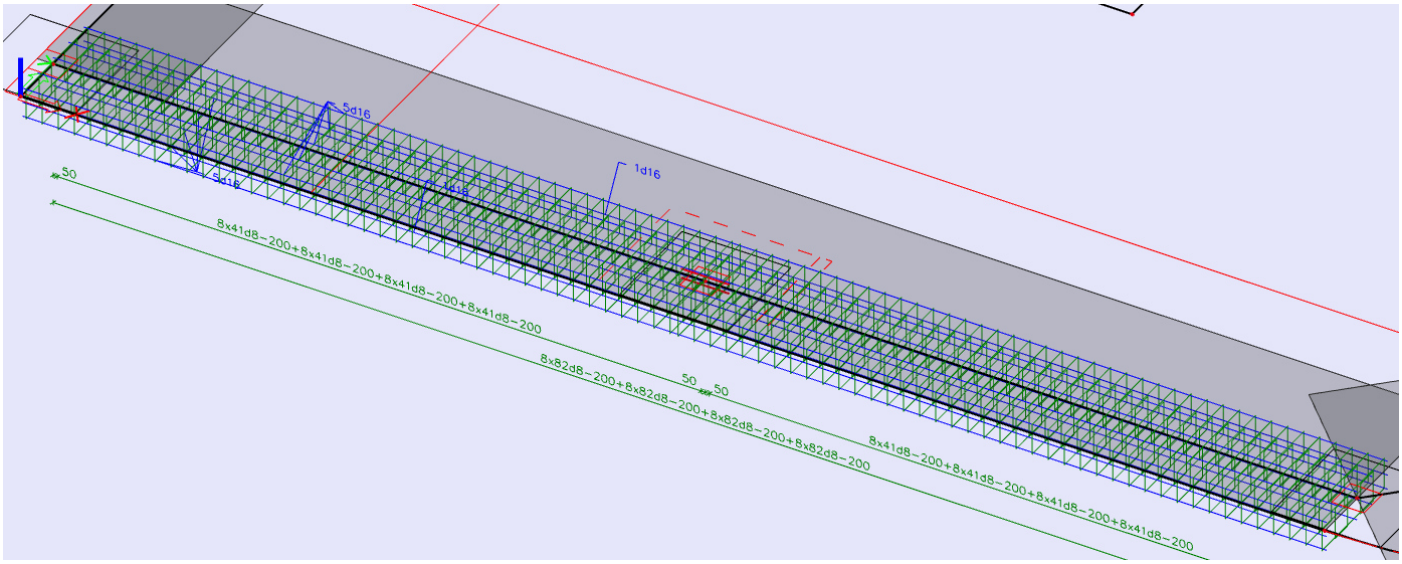
Pokračujeme do Panel > Beton > Výztuž v betonu > Vložit podélnou výztuž na celý prut, kde vložíme základní podélnou výztuž:

- Pro spodní povrch je požadovaná nejvyšší staticky nutná plocha v levém poli 1583 mm^2, v pravém poli 1131 mm^2. Z hlediska konstrukčních zásad pro kroucení je potřeba alespoň 1400/350 + 1 = 5 prutů. Pro jednoduchost na celém spodním povrchu navrhneme 5x Ø16 (1005 mm^2).
- Na horním povrchu je všude nutná výztuž z hlediska konstrukčních zásad pro kroucení (alespoň 5 prutů). Na celém horním povrchu navrhneme 5x Ø16 (1005 mm^2).
- Špičky později pokryjeme příložkami.
- Na vnější a vnitřní hranu vložíme po celé délce 1x Ø16 kvůli dodržení konstrukční zásady pro maximální rozteč prutů z hlediska vyztužení na kroucení.
- Pruty vkládáme tlačítkem Nová vrstva.

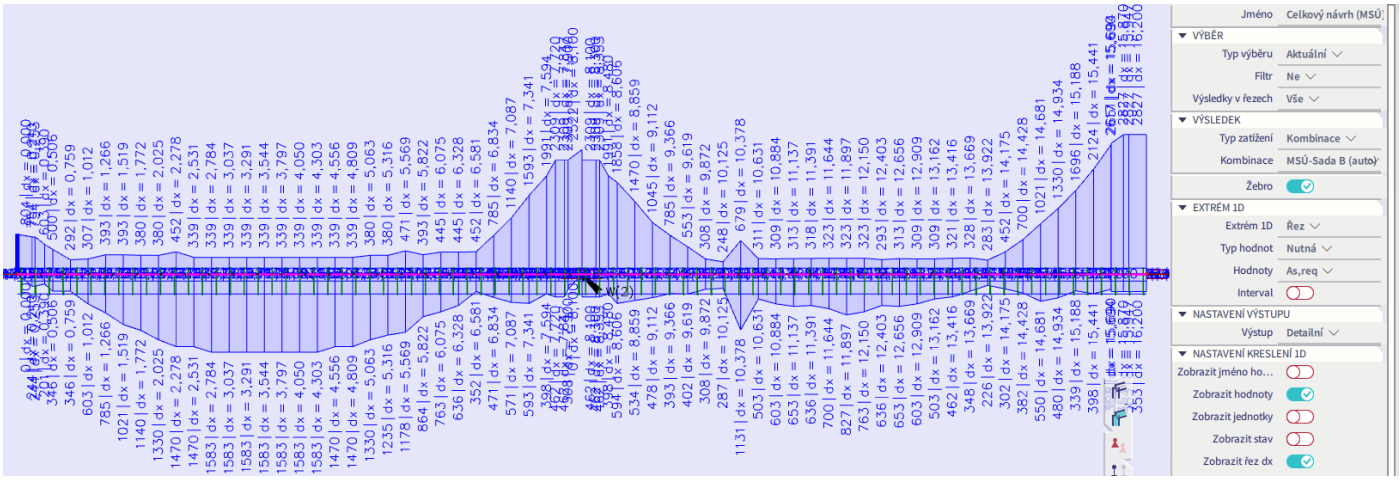


Po vložení veškeré výztuže stiskneme tlačítko OK a zadáme výztuž s parametry ze zadané šablony.





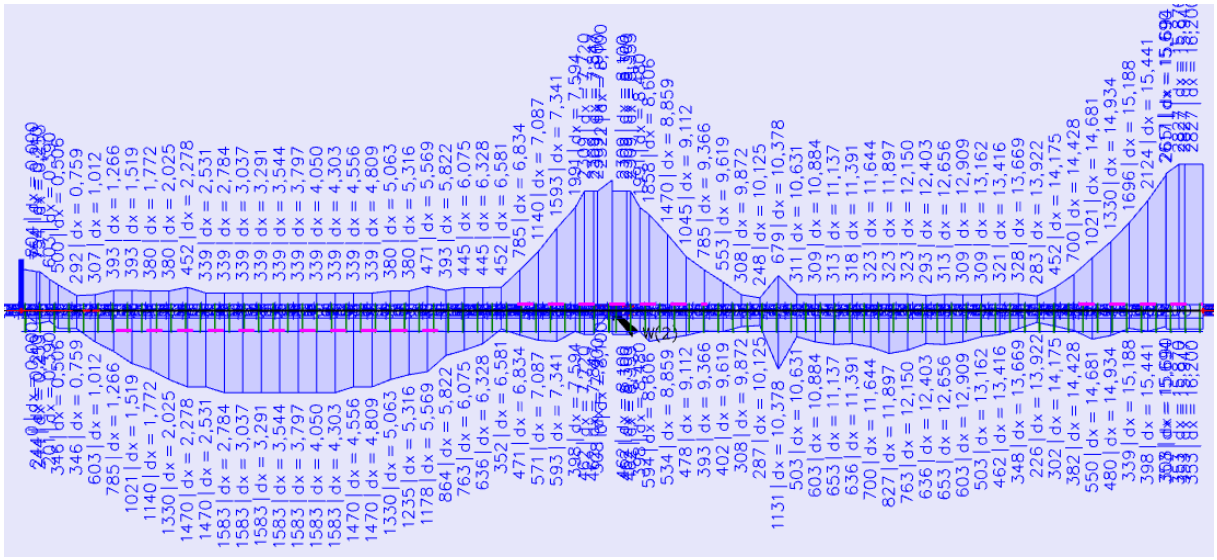
Na 1D prvcích bohužel není možno vykreslit požadované plochy příložek se zohledněním uživatelské výztuže, která již byla vložena do modelu. Vyjdeme tedy ze schématu celkových požadovaných ploch, kde navíc zobrazíme souřadnice jednotlivých řezů (Vlastnosti > Nastavení kreslení 1D > Zobrazit řez dx).



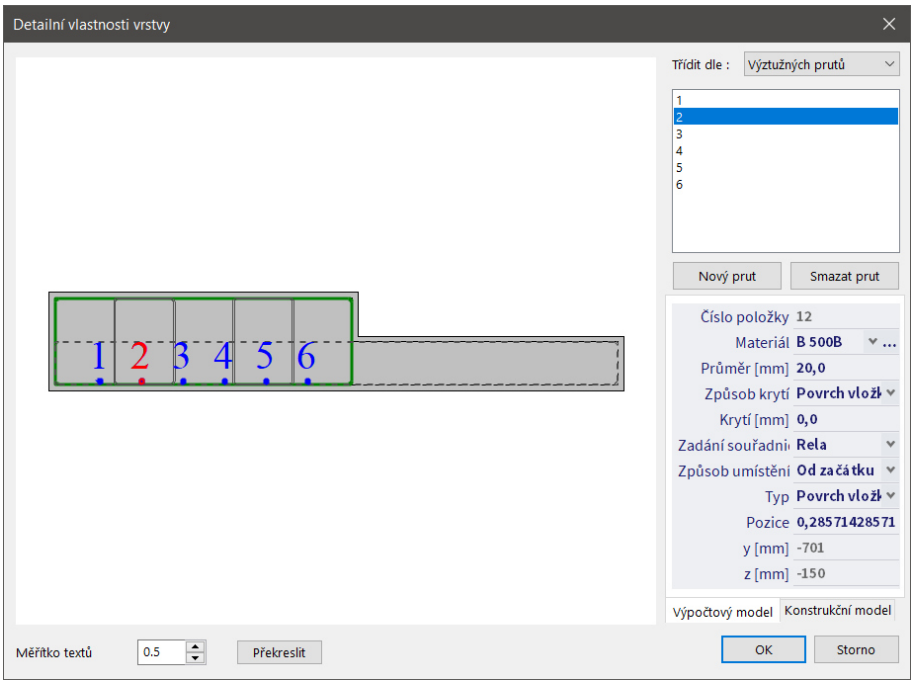
Potřebné příložky zadáme obdobně, jako jsme zadali základní podélnou výztuž, pouze místo zadání na celý prut zvolíme tlačítko Podélná výztuž a definujeme potřebnou oblast, na které se mají příložky přidat. Do příkazové řádky vepíšeme postupně počáteční a koncové staničení vyztužované oblasti na vybraném prutu. Na dané oblasti upravujeme stávající vyztužení, přidáváme nové vrstvy výztuže ke stávajícím. Stávající vrstvy tedy nemažeme ani nepřepisujeme. Příložky budou:

- Levé pole: Nutno 1583 mm^2 => základní výztuž 5x Ø16 (1005 mm^2) => zbývá 578 mm^2 => přidáme 4x Ø20 (804 mm^2) na oblasti 1,3 až 5,8 m.
- Pravé pole: Nutno 859 mm^2 dle konstrukčních zásad (singulární špičku 1131 mm^2 ignorujeme) => základní výztuž 5x Ø16 (1005 mm^2) => pokryto, příložky nejsou nutné
- Levá podpora: Nutno 804 mm^2 => základní výztuž 5x Ø16 (1005 mm^2) => pokryto, příložky nejsou nutné
- Střední podpora: Nutno 2522 mm^2 => základní výztuž 5x Ø16 (1005 mm^2) => zbývá 1517 mm^2 => přidáme 6x Ø20 (1884 mm^2) na oblasti 6,8 až 9,4 m.
- Pravá podpora: Nutno 2827 mm^2 => základní výztuž 5x Ø16 (1005 mm^2) => zbývá 1822 mm^2 => přidáme 6x Ø20 (1884 mm^2) na oblasti 14,5 až 16,2 m.

Když následně vybereme příložky a zobrazíme křivku požadované výztuže, lze vizuálně ověřit, že příložky pokrývají potřebné oblasti, kde není dostačující základní výztuž.



Poznámka: Při zadávání příložek v dialogu kontrolujeme, že máme zvoleno Rozmístění vložek Ne do rohů. Pak by mělo dojít k rovnoměrnému rozmístění příložek podél hrany, aniž by se překrývaly s již zadanou základní výztuží. Pokud by se nám přesto nelíbily pozice některých vložek, můžeme polohy upravit. Po vložení výztuže do konstrukce vybereme danou výztuž, v okně Vlastnosti zvolíme akční příkaz Opravit pruty. V kolonce „Třídit dle“ zvolíme „Výztužných prutů“. Pak již můžeme upravit pozici každého jednotlivého prutu.



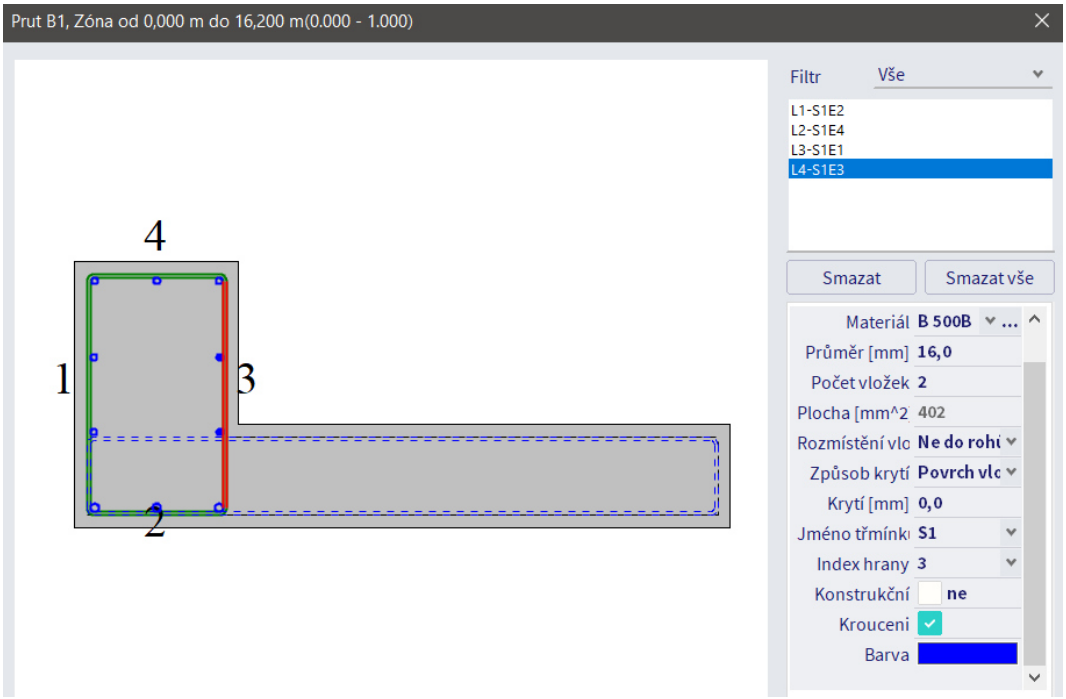
Další žebra

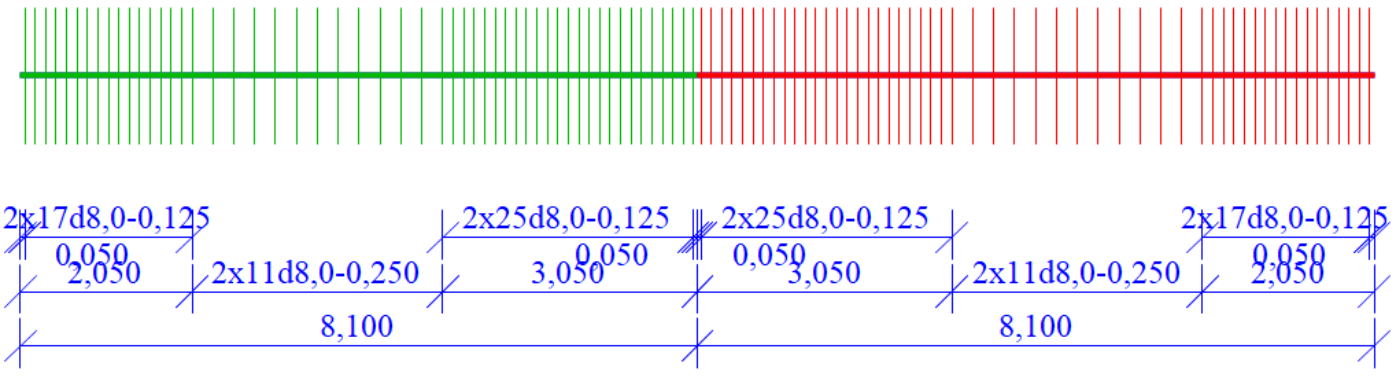
Návrh a zadání výztuže dalších žeber nebudou ve výukovém dokumentu podrobně demonstrovány, postup by byl stejný jako u vzorového žebra. Provedení je ponecháno na laskavém čtenáři.

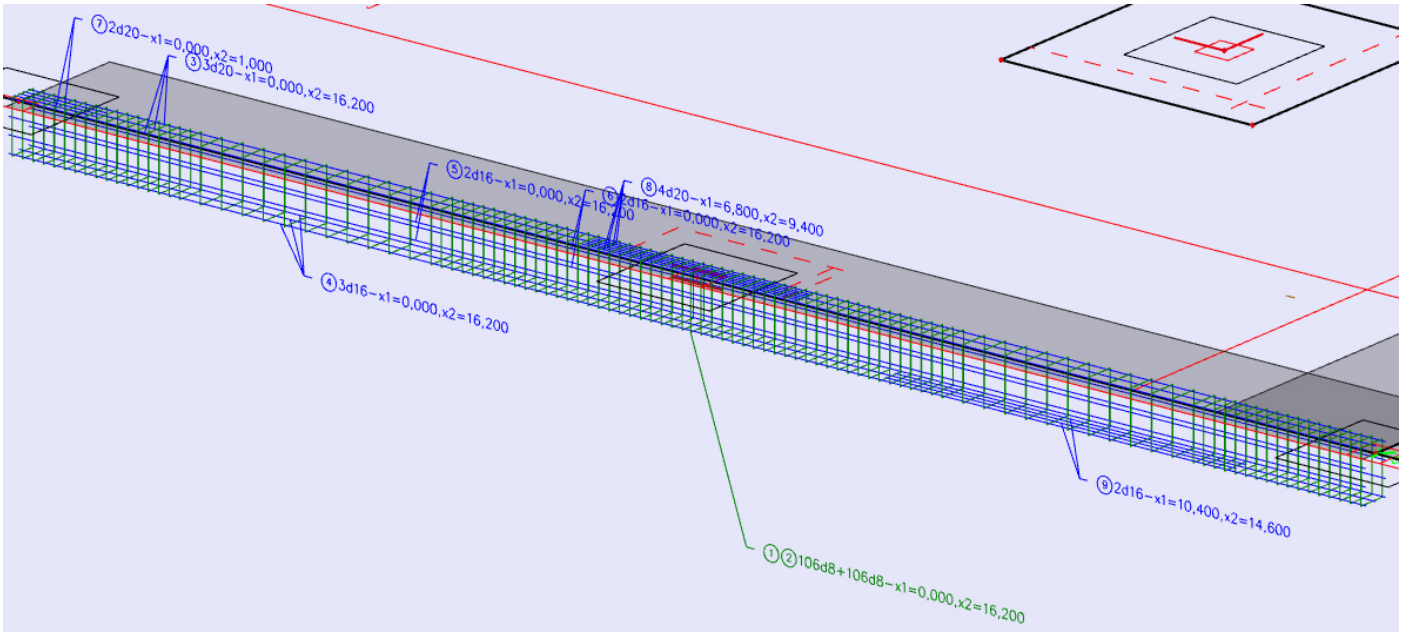
Při vyztužování lze využít kopírování výztuže mezi dílci (vybrat výztuž, kliknout pravým tlačítkem, zvolit Kopírovat přídavná data a zkopírovat na požadované žebro) a úprav délky vybrané výztuže pomocí Vlastnosti > Geometrie > Pozice x1/x2 a Počátek. Níže je zobrazeno finální vyztužení žeber.

Žebro na nepřekonzolovaném okraji:

- Základní třmínky dvoustřižné Ø8/250.
- Třmínky Ø8/125 do vzdálenosti 2 m za krajní podpory a 3 m za vnitřní podporu.
- Horní ohybová výztuž 3x Ø20 po celé délce + 4x Ø20 nad střední podporou (oblast 6,8 – 9,4 m) + 2x Ø20 nad podporou u jádra (oblast 0 – 1,0 m).
- Spodní ohybová výztuž 3x Ø16 po celé délce + 2x Ø16 uprostřed vnějšího pole (oblast 10,4 – 14,6 m).
- Výztuž na svislých hranách průřezu 2x Ø16 po celé délce.







Žebro u zaobleného okraje:

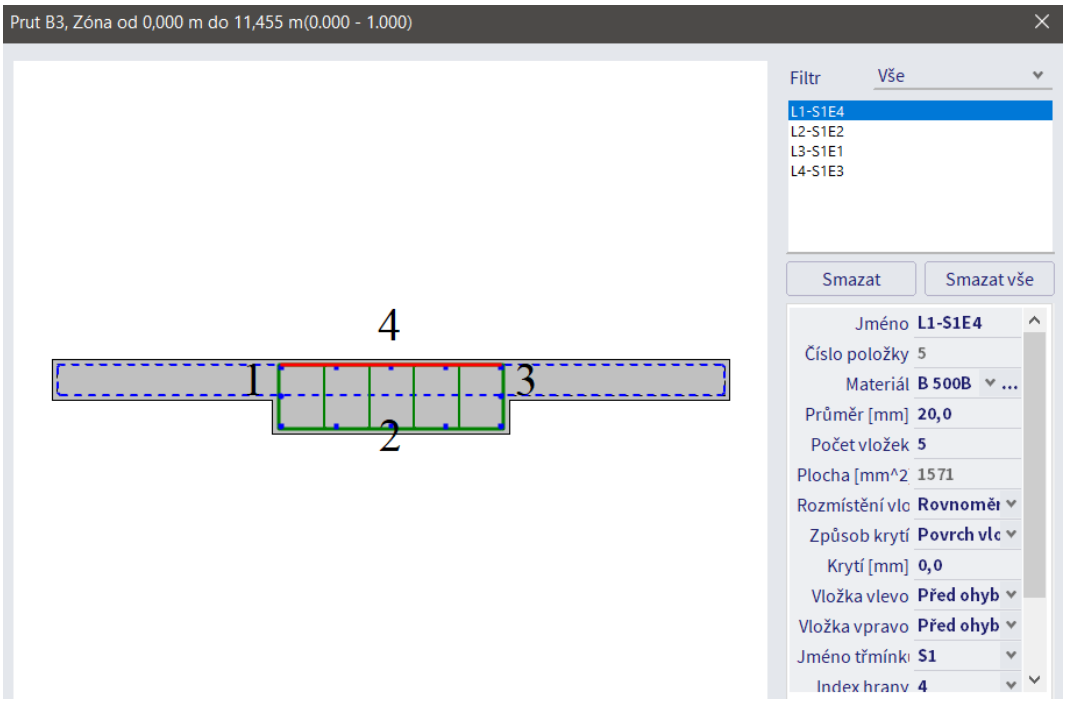
- Základní třmínky šestistřižné Ø8/200.
- Třmínky Ø8/100 do vzdálenosti 2,2 m za podporu (oblasti 0 – 2,2 m a 9,255 – 11,455 m).
- Horní ohybová výztuž 5x Ø20 po celé délce + 6x Ø20 2,2 m za podporu (oblasti 0 – 2,2 m a 9,255 – 11,455 m).
- Spodní ohybová výztuž 5x Ø20 po celé délce + 6x Ø20 na oblasti 2,2 – 9,255 m.
- Výztuž na svislých hranách průřezu 1x Ø20 po celé délce.

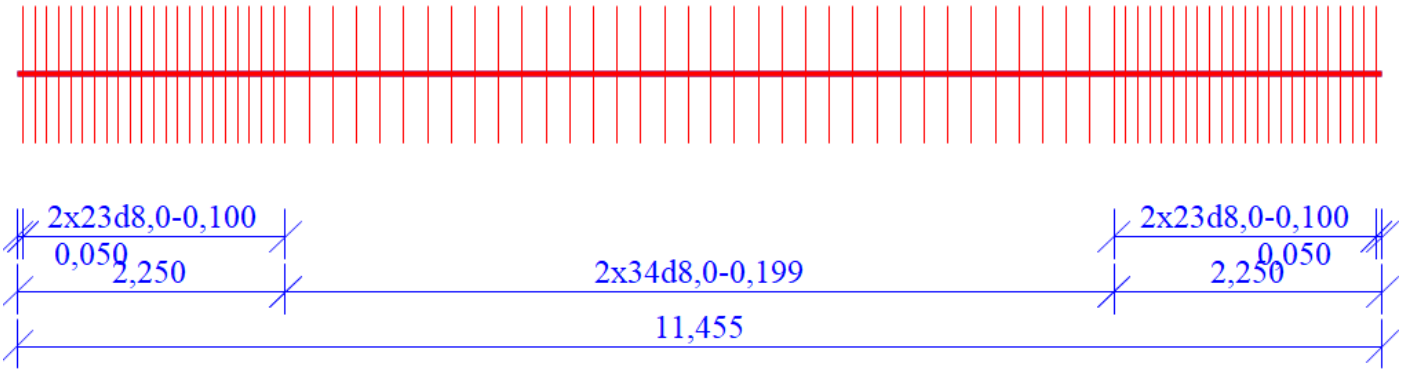
BODY DEFINOVANé UŽIVATELEM

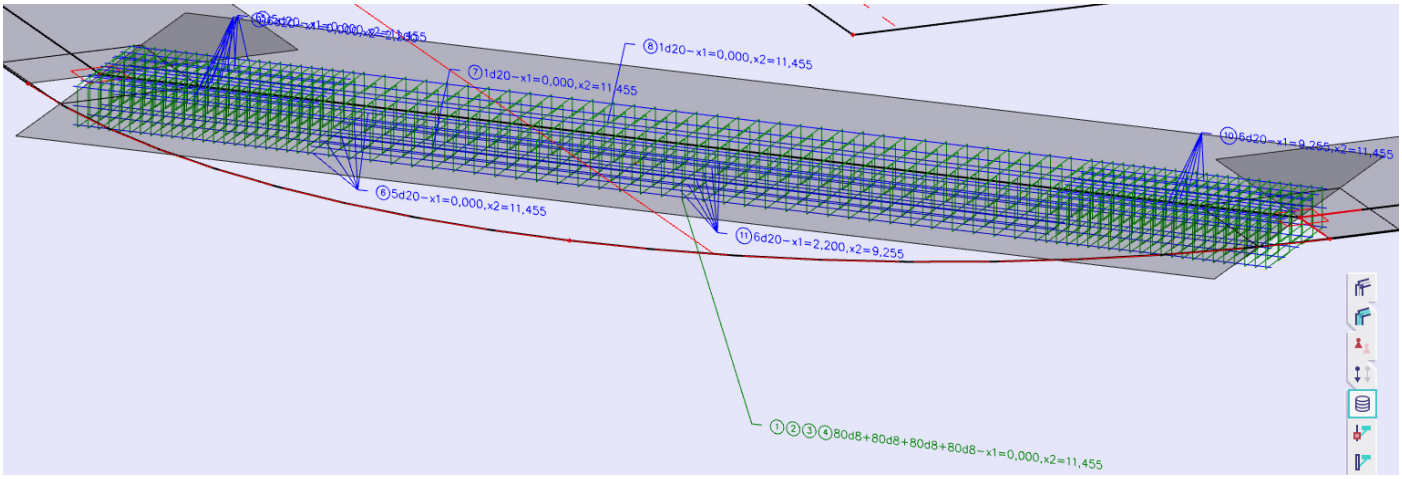
	řez-index hra	Typ	Rela	Abso [mm]	ozic
1	4.Hrana	Ab		1568,000	Ko
2	4.Hrana	Ab		1836,000	Ko
3	4.Hrana	Ab		2104,000	Ko
4	4.Hrana	Ab		2372,000	Ko
5	8.Hrana	Ab		268,000	Za

BODY DEFINOVANé UŽIVATELEM

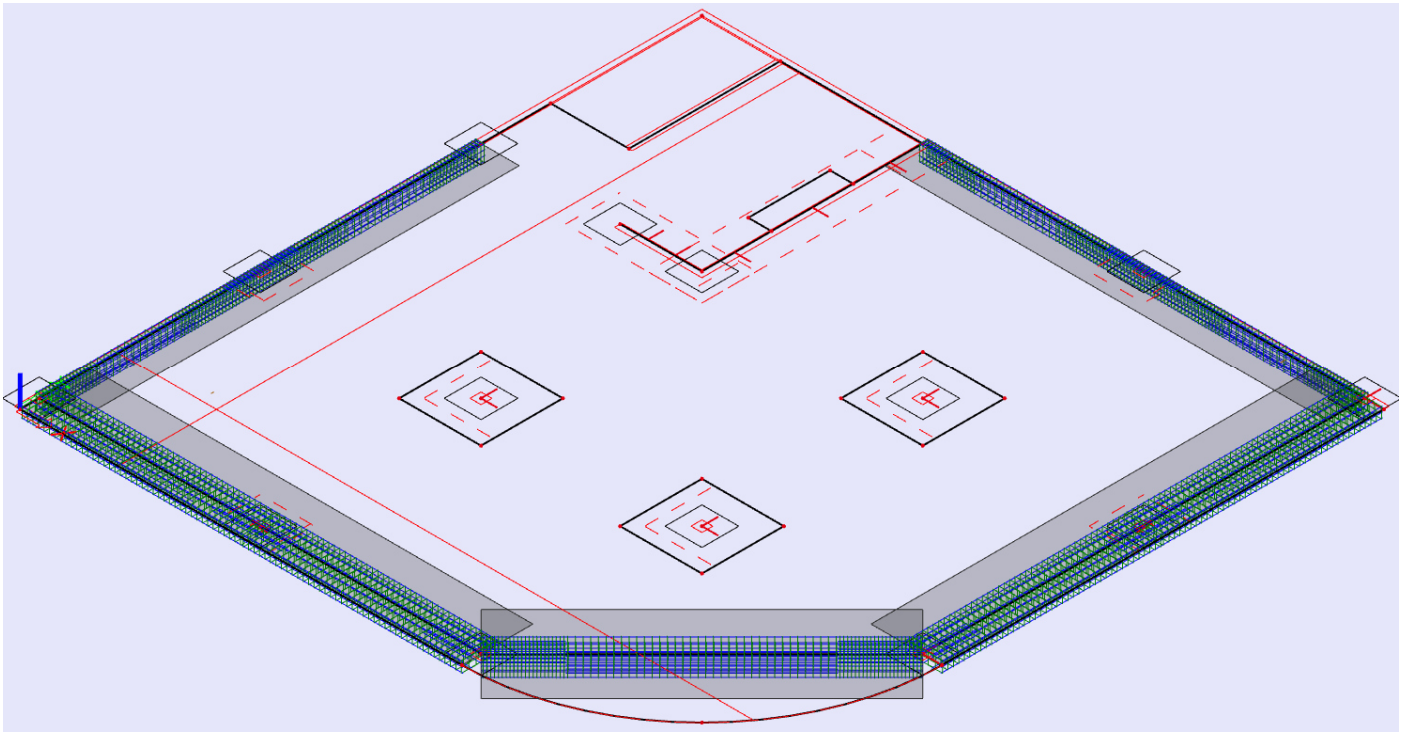
	řez-index hra	Typ	Rela	Abso [mm]	ozic
4	4.Hrana	Ab		2372,000	Ko
5	8.Hrana	Ab		268,000	Za
6	8.Hrana	Ab		536,000	Za
7	8.Hrana	Ab		804,000	Za
8	8.Hrana	Ab		1072,000	Za







Celkový pohled na vyztuženou konstrukci:

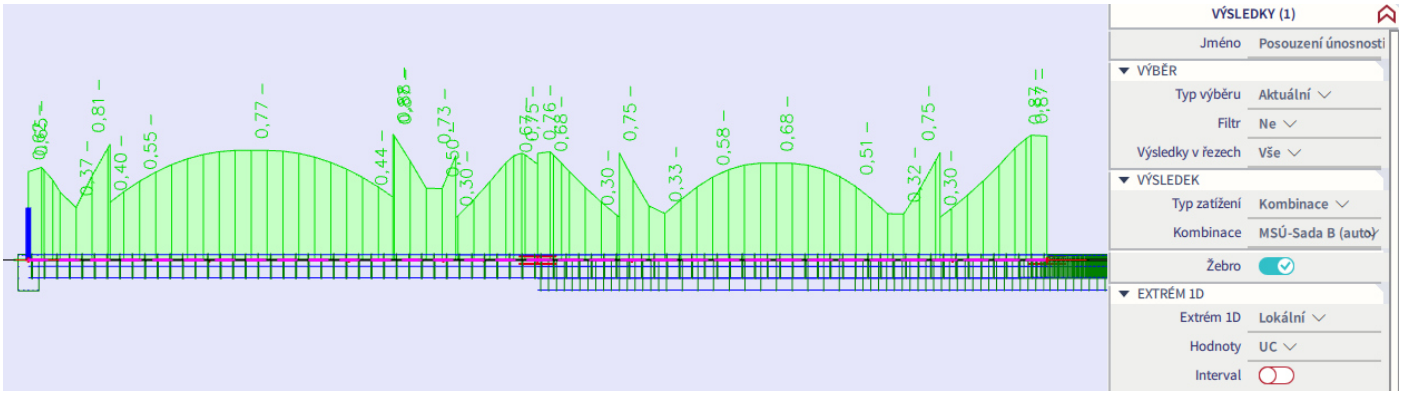


Posouzení žeber na MSÚ

Provedeme posouzení žeber na MSÚ. Pro podrobnou demonstraci postupu zvolíme opět dvoupolové deskové žebro A2-C2, ale zkontrolujeme vždy i posudek celé konstrukce.

Posudek odezvy

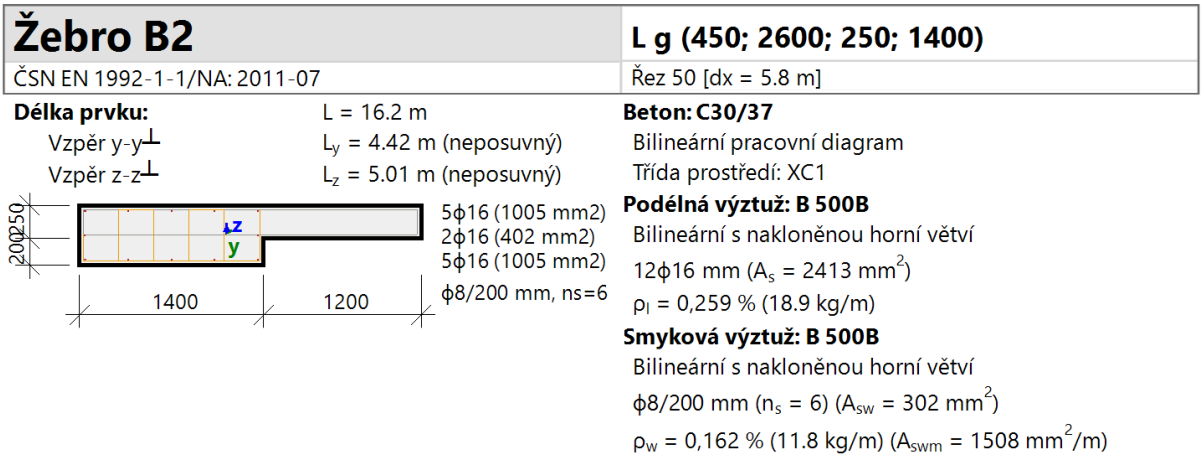
Funkce Akce > Beton > Posudek odezvy podle MSÚ slouží k posouzení žebra na ohyb metodou mezních přetvoření. Posouzení odezvy je založeno na posudku mezních napětí a přetvoření při interakci normálové síly a momentu. Porovnávají se napětí a přetvoření v průřezu vyvolaná aplikovaným zatížením s mezními hodnotami (podrobnosti zde). Hodnotí se tedy odezva konstrukce na dané zatížení, nestanovuje se její mezní únosnost. Pro navrhované žebro posudek vyhoví. Zobrazení UC:



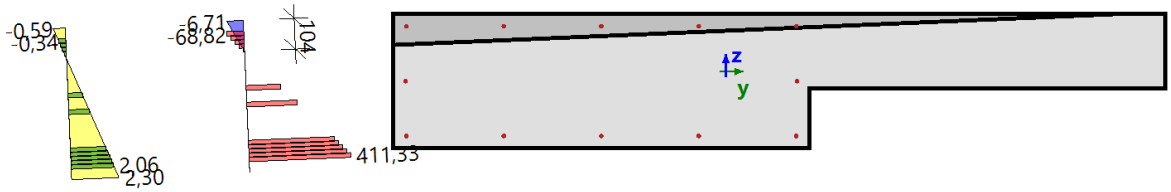
Posudky jednotlivých kritérií lze vybrat ve volbě Hodnoty ve Vlastnostech. Na výběr jsou tyto možnosti:

- ε_{cc}, ε_{sc}, ε_{st} – postupně přetvoření tlačeného betonu, tlačené výztuže a tažené výztuže
- σ_{cc}, σ_{sc}, σ_{st} – postupně napětí v tlačeném betonu, tlačené výztuži a tažené výztuži
- *x, d, z* – výška tlačené oblasti, staticky účinná výška a rameno vnitřních sil v průřezu

Detailní posudek pro určitý řez by mělo být možno zobrazit přes Tabulkové výsledky a výběr („rozkliknutí“) patřičného řezu. Tabulkové výsledky však v použité verzi programu nejsou k dispozici. Přes Vlastnosti a akční příkaz Náhled můžeme zobrazit alespoň detailní náhled pro místo s globálním extrémem (teoreticky i pro lokální extrémy nebo pro všechny řezy, ale to je časově velmi náročné, jak již bylo zmíněno dříve). V náhledu lze prostudovat parametry průřezu, průběh přetvoření a napětí v průřezu a vyčíslení posudků.



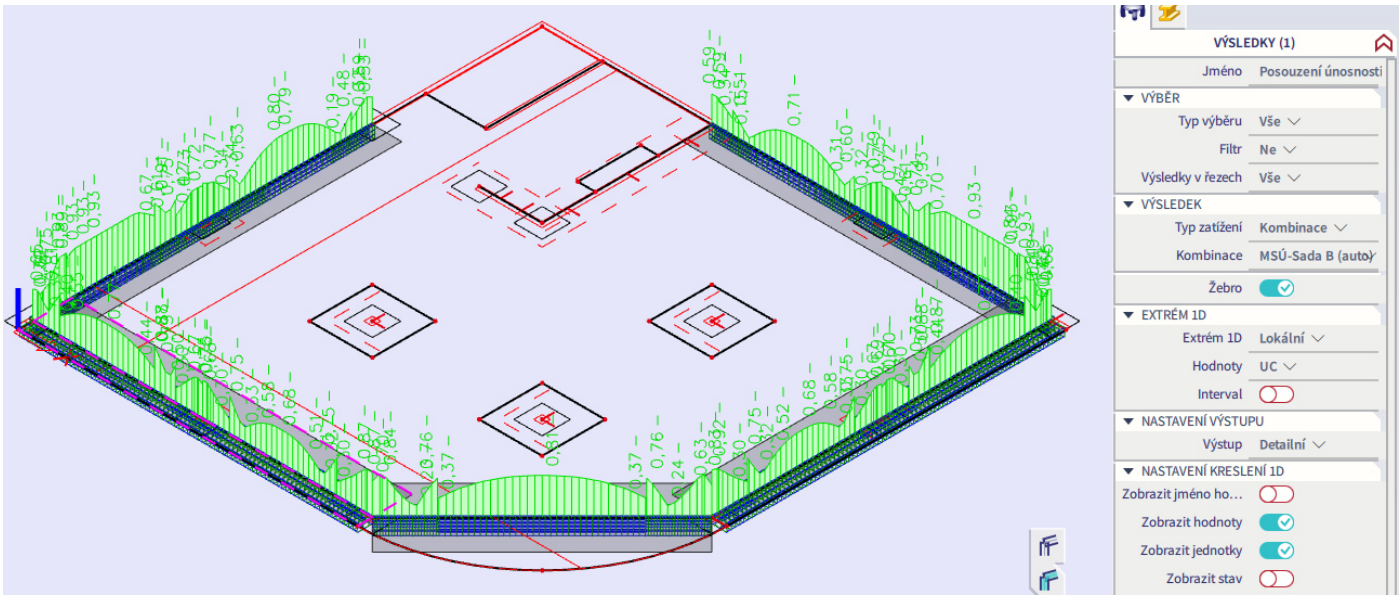
Rozdělení napětí a přetvoření



Extrémní hodnoty napětí / přetvoření v komponentě

Typ komponenty	Vlákno / prut	ε [‰]	ε_{lim} [‰]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Jed. pos.[-]	Stav
Beton v tlaku	2	-0.587	-3.5	-6.71	-20	0,34	OK
Beton v tahu	6	2.3	0	0	0	0,00	OK
Výztuž v tlaku	6	-0.344	-45	-68.8	-466	0,15	OK
Výztuž v tahu	1	2.06	45	411	466	0,88	OK

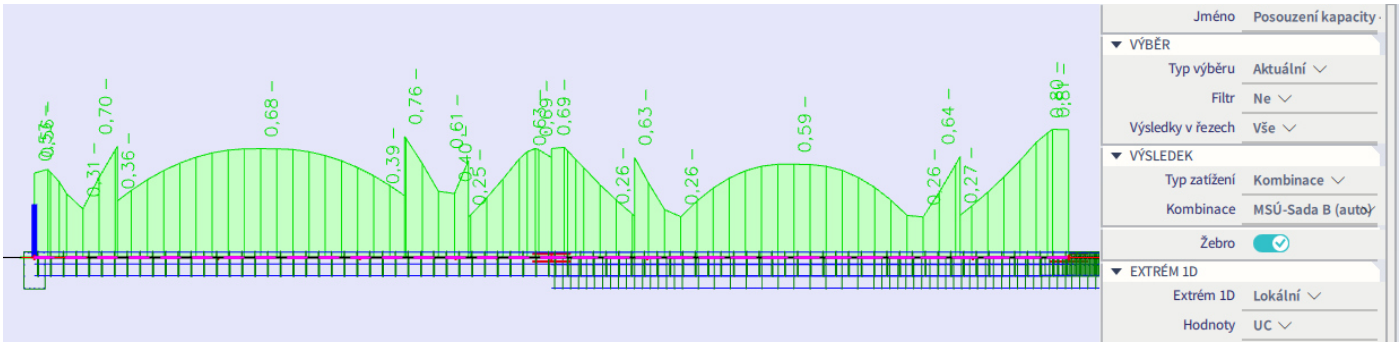
Při vykreslení posouzení celé konstrukce zjistíme, že všechna žebra vyhovují s vhodnou mírou využití.



Poznámka: Výsledek UC = 1,0 v případě posouzení odezvy nemusí nutně znamenat, že průřez je přesně na mezi únosnosti. Znamená, že v průřezu je na určité oblasti dosaženo mezního napětí některého z materiálů, průřez však může dále plastizovat.

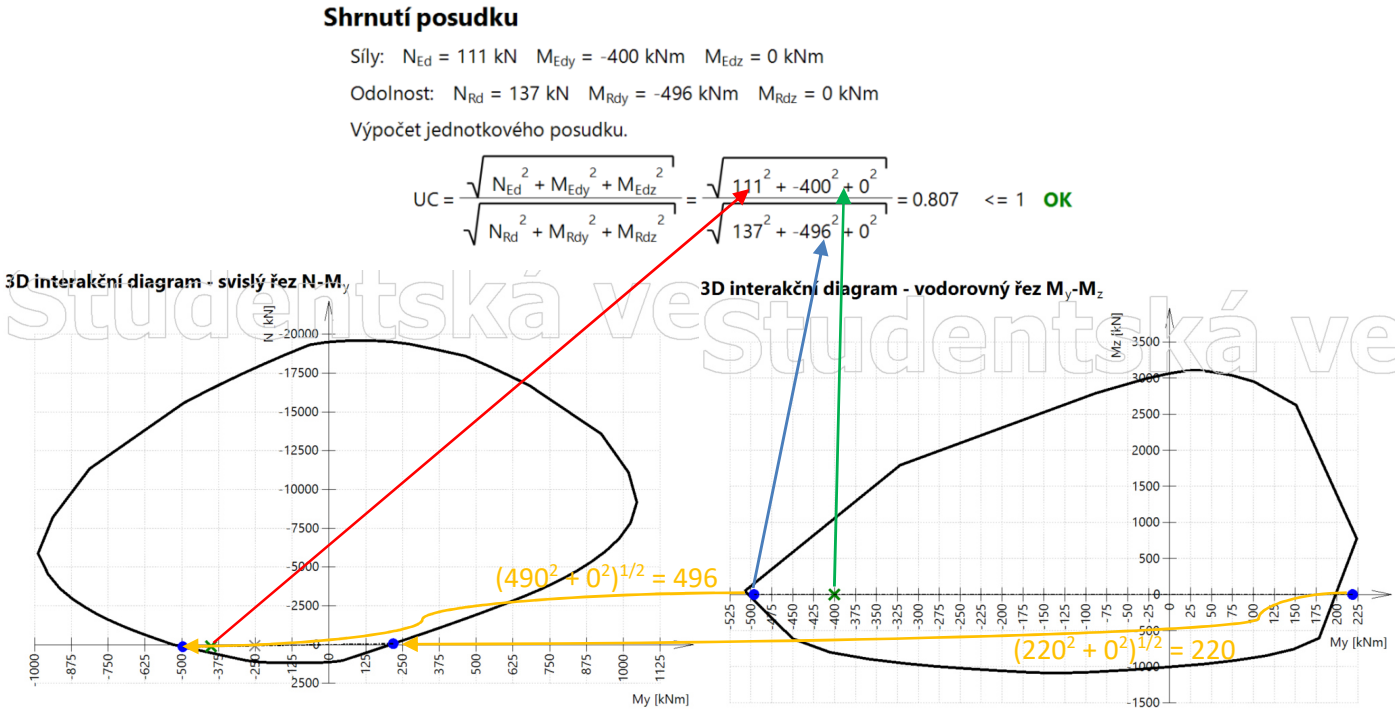
Posudek kapacity

Funkce Akce > Beton > Posudek kapacity–diagram–podle MSÚ slouží rovněž k posouzení na ohyb. Kontroluje využití průřezu kombinací působících normálových sil a momentů (podrobnosti zde). Působící síly se porovnávají s mezní únosností konstrukce. Pro navrhované žebro posudek vyhoví. Zobrazení UC:

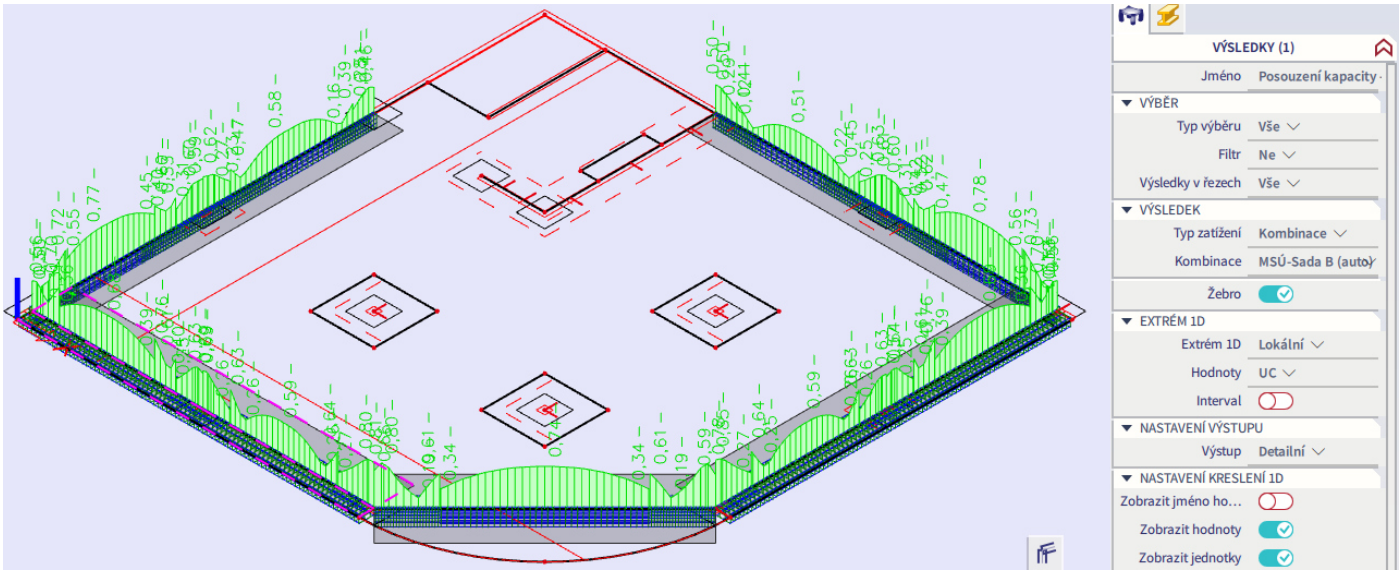


Posudky jednotlivých kritérií lze vybrat ve volbě Hodnoty ve Vlastnostech. Na výběr jsou normálové síly a momenty od zatížení, únosnosti a kombinované vykreslení zatížení a únosností.

Přes Náhled opět zobrazíme detaily posouzení pro globální extrém (průřez v pravé podpoře). Jak známo, interakční diagram pro obecný případ dvouosého ohybu má charakter trojrozměrné plochy. Program vykresluje řezy touto plochou, přičemž vedení řezů závisí na metodě zvolené v Nastavení pro betonové konstrukce (podrobněji viz úloha zaměřená na řešení rámové konstrukce). Zde je použita výchozí metoda NRdMRd (někdy též značena N_uM_u), což znamená, že svislý řez je veden normálovou osou ve směru výslednice momentů únosnosti a „vodorovný“ řez je veden spojnicí počátku a bodu $[N_{Ed};M_{res}]$, kde $M_{res} = (M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2)^{1/2}$.



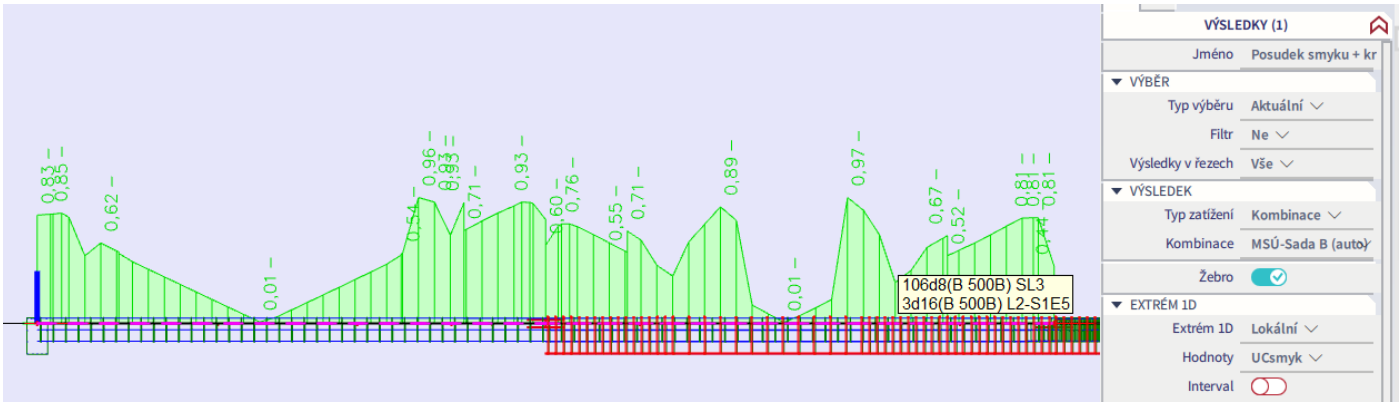
Při posouzení celé konstrukce obdržíme vyhovující výsledek i na ostatních žebrech.



Posudek smyku a kroucení

Funkce Akce > Beton > Posouzení smyku a kroucení podle MSÚ slouží k posouzení navržených třmínků. Posoudit lze zvlášť smyk (UCsmyk) a kroucení (UCtor) nebo spolupůsobení obou účinků (UCint). Posudky

jsou založeny na příhradových analogiích (podrobnosti zde). Pro navrhované žebro posudek na kroucení neprovádíme (viz předchozí výklad), posudek na smyk vyhoví. Zobrazení UCsmyk:



V pravém poli jsou podezřelé extrémní hodnoty UC = 0,89 a 0,97. Přes Náhled zobrazíme detaily posudku pro globální extrém (UC = 0,97). Zde je příčina objasněna – v daných průřezech je tak malá smyková síla, že konstrukce by z hlediska silových účinků vyhověla i bez smykové výztuže, a zobrazená hodnota je výsledkem posudku nevyztuženého betonu na smyk. Posouzení je tedy v pořádku.

Posouzení V_{Rdc} a V_{Rds}

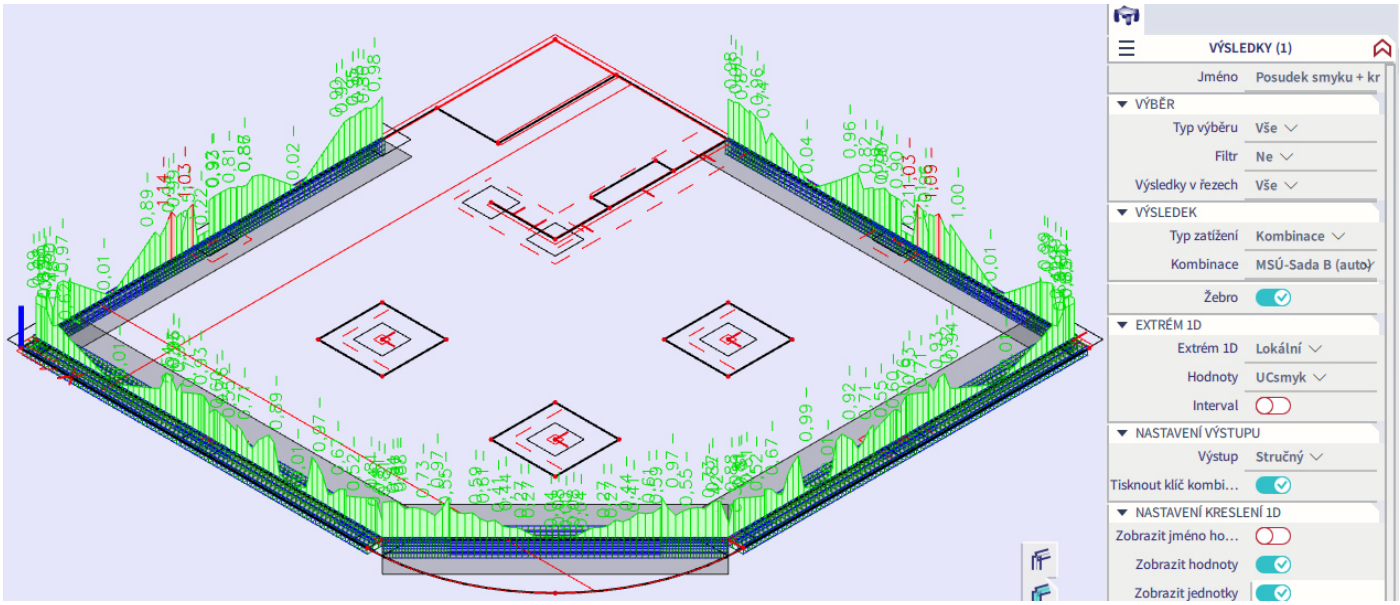
$V_{Ed} = 55.9\ kN \le V_{Rdc} = 57.9 kN$

Poznámka: Posudek vyhoví; smyková síla je přenesena betonem ($V_{Ed} \le V_{Rdc}$), není vyžadována žádná smyková výztuž. Smykovou únosnost zadané smykové výztuže (V_{Rds}) není nutno posuzovat, proto se smyková únosnost spočte, ale nebude posouzena.

Jedn. pos.

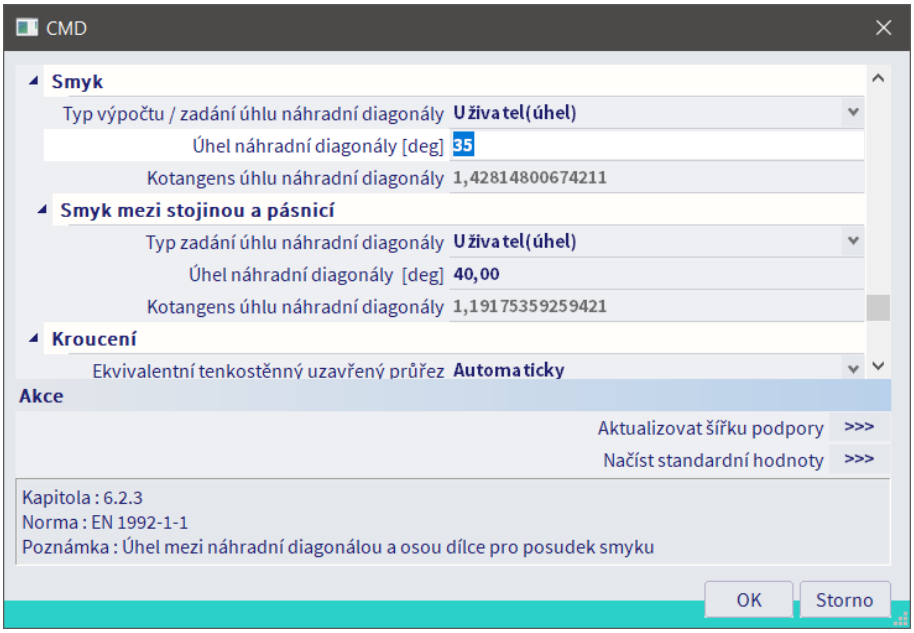
$$UC = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{55.9\ kN}{57.9\ kN} = 0.965$$

Zobrazíme posudek celé konstrukce. U žeber na nepřekonzolovaných okrajích se vyskytují ojedinělé body, kde posudek těsně nevyhovuje.

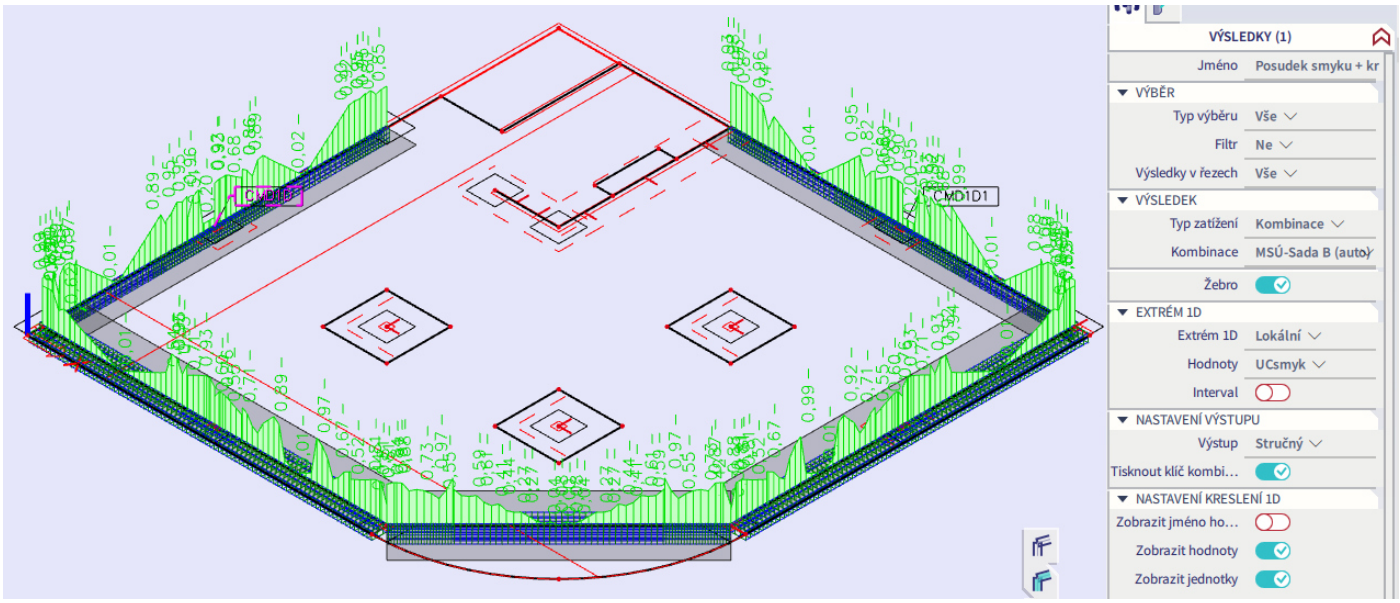


V dané oblasti jsou použity dvoustřižné třmínky Ø8/125, zmenšení rozteče tedy již není příliš vhodné. Zvětšení profilu by bylo nepraktické s ohledem na to, že ve zbytku konstrukce jsou použity třmínky Ø8. Proto využijeme skutečnosti, že norma dovoluje při posouzení smykové únosnosti volit hodnotu cotθ v rozmezí 1,0 až 2,5. Ve výchozím nastavení programu je vhodně zadána konzervativní hodnota sklonu smykové trhliny θ = 40°, která vede k hodnotě cotθ = 1,2.

Přes Akce > Beton > Data dílce specifikujeme individuální nastavení dat pro žebra na nepřekonzolovaném okraji. Zvolíme úhel θ = 35°, což nám dá hodnotu cotθ = 1,43. Ta stále leží v doporučeném bezpečném rozmezí 1,0 až 1,5.

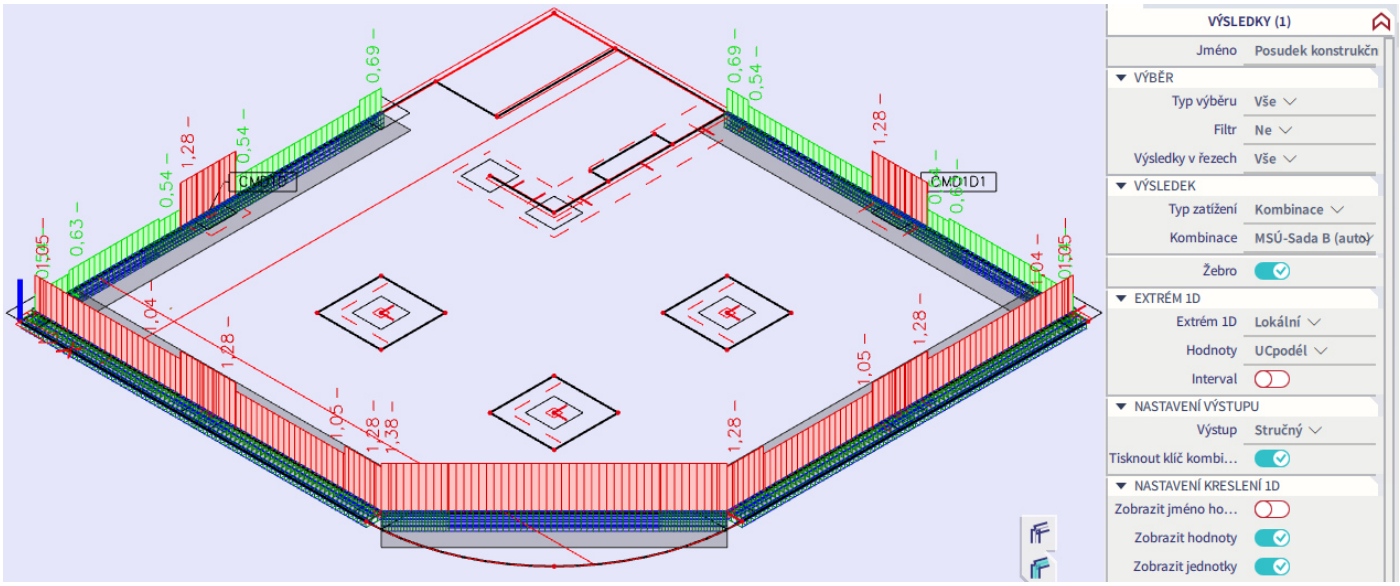


Poté již celá konstrukce vyhoví. Skokové snížení hodnoty UC nad středními podporami žeber na nepřekonzolovaném okraji je dáno tím, že v podpoře posuzujeme pouze $V_{Rd,max}$.



Posudek konstrukčních zásad

Funkce Hlavní menu > Návrh > Beton 1D > Posudek konstrukčních zásad slouží k posouzení dodržení konstrukčních zásad pro podélnou (UCpodél) a pro příčnou (UCsmyk) výztuž (podrobnosti zde). Posudek podélné výztuže nevyhoví na většině žeber:



Důvody lze opět rozklíčovat po prostudování detailního náhledu posudku pro globální extrém.

První problém nastává v oblastech, kde je hodnota UCpodél = 1,38 nebo 1,28. Zde je příčinou skutečnost, že je uvažováno maximální zrno kameniva d_g = 32 mm. To vede k požadavku na minimální světlou vzdálenost mezi pruty 37 mm.

Posudek minimální světlé vzdálenosti prutů výztuže 8.2(2)

Minimální světlá vzdálenost mezi všemi pruty výztuže v průřezu

$s_{s\text{-}s,min}$ = 26.9 mm

Minimální povolená světlá vzdálenost mezi pruty výztuže ze všech prutů v průřezu

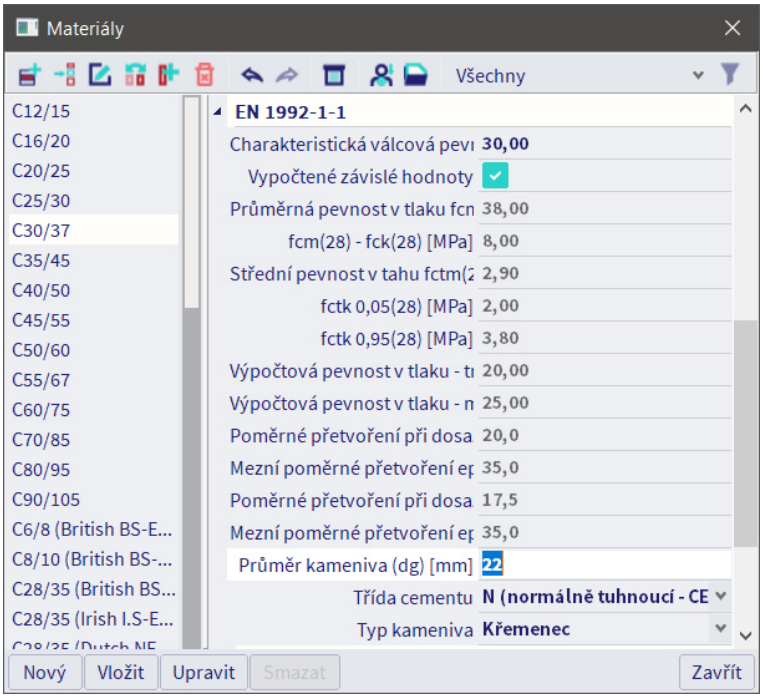
$$s_{s\text{-}s,min,lim} = \max\left(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; s_{lb,min}\right) = \max\left(1.2 \cdot 20; 32 + 5; 20\right) = 37 \text{ mm} \quad (§8.2(2))$$

Studentská verze

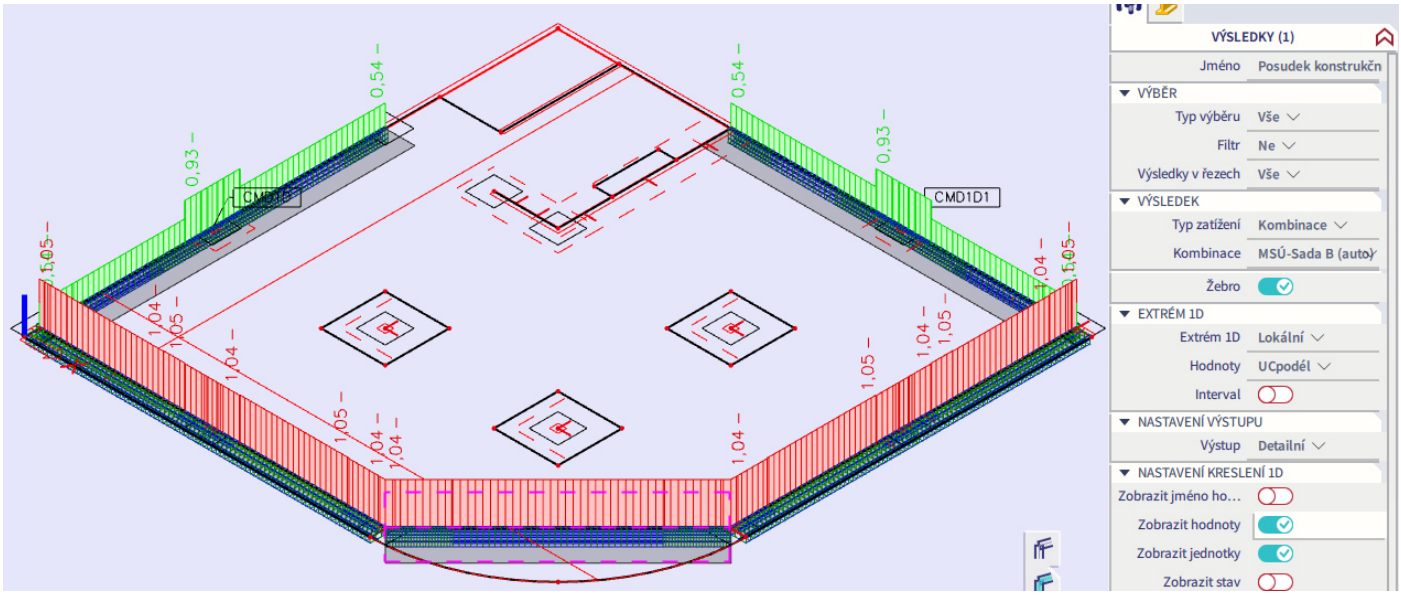
Jednotkový posudek minimální světlé vzdálenosti mezi pruty

$$UC_{8.2(2)} = \frac{s_{s\text{-}s,min,lim}}{s_{s\text{-}s,min}} = \frac{37 \text{ mm}}{26.9 \text{ mm}} = 1.38$$

Takto hrubé kamenivo se obvykle nepoužívá. Přes Akce > Konstrukce > Materiály vybereme beton C30/37 (použitý v naší konstrukci) a upravíme maximální velikost zrna kameniva na obvyklou hodnotu 22 mm.



Po přepočítání modelu dostaneme následující výsledek.



Druhý problém se vyskytuje v místech, kde je hodnota UCpodél = 1,04 nebo 1,05 a je dán nedodržením maximální osové vzdálenosti prutů.

Posudek maximální osové vzdálenosti prutů výztuže (uživatelem) - normově nezávislé

Maximální osová vzdálenost prutů výztuže

s_{max} = 364 mm

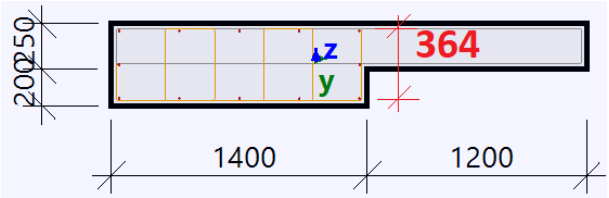
Uživatelem zadaná maximální osová síla

$s_{lu,max,lim}$ = 350 mm

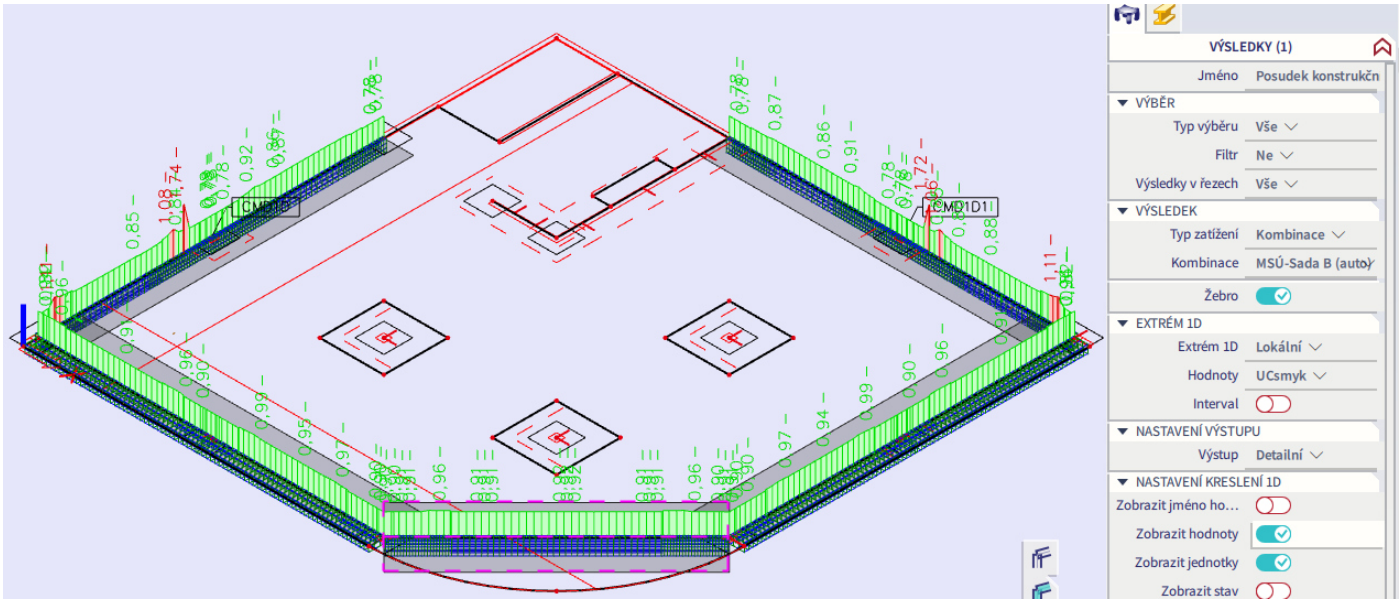
Jednotkový posudek maximální osové vzdálenosti prutů

$$UC_{max_bar_distance(user)} = \frac{s_{max}}{s_{lu,max,lim}} = \frac{364\ mm}{350\ mm} = 1.04$$

V tomto případě je problém u deskových žeber, kde je vzdálenost os prutů výztuže horního a spodního povrchu 450 – 2*25 – 2*8 – 2*20/2 = 364 mm. Tuto vzdálenost však není třeba kontrolovat. Ostatní vzdálenosti jsou v pořádku a nevyhovující posudek tak můžeme ignorovat.



Posudek pro smykovou výztuž nevyhovuje v ojedinělých bodech žeber na nepřekonzolovaných okrajích. Důvodem je nevyhovující minimální procento smykové výztuže. To je důsledkem skutečnosti, že program pro daný posudek uvažuje minimální šířku konstrukce v tažené oblasti. V daných bodech předpokládá, že tažena je pouze deska, vychází tak z chybné hodnoty b_w = 1,59 m a stanovuje chybné procento smykového vyztužení průřezu.



Posudek min. procenta vyztužení 9.2.2(5)

Students

Průřezová plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = n_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{\phi_s}{2}\right)^2 = 2 \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{8}{2}\right)^2 = 101\ mm^2$$

Minimální šířka stojiny průřezu

b_w = 1593 mm

Procento vyztužení třmínků

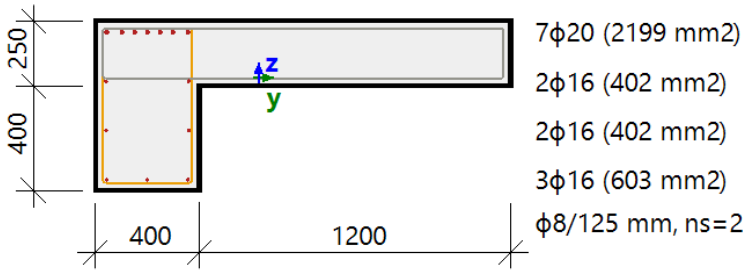
$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{\left(s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)\right)} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{\left(0.125 \cdot 1.59 \cdot \sin(90)\right)} = 0.0505\%$$

Minimální dovolené procento vyztužení pro třmínky

$$\rho_{w,min} = \frac{Coeff_{pw,min} \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{ywk}} = \frac{0.08 \cdot \sqrt{30}}{500} = 0.0876\ \%$$

Jednotkový posudek minimálního procenta vyztužení třmínků

$$UC_{9.2.2(5)} = \frac{\rho_{w,min}}{\rho_w} = \frac{0.0876\ \%}{0.0505\ \%} = 1.74$$



Pro skutečné rozměry průřezu trámu procento smykového vyztužení průřezu zcela bezpečně vyhovuje minimálnímu dovolenému procentu vyztužení.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw,1}}{s \cdot b_w} = \frac{101}{125 \cdot 400} = 0,2\ \%$$

Ověříme ještě, že je splněna limitní výška tlačené oblasti průřezu:

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{0,8 b_T f_{cd}} = \frac{2199 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 149\ \text{mm}$$

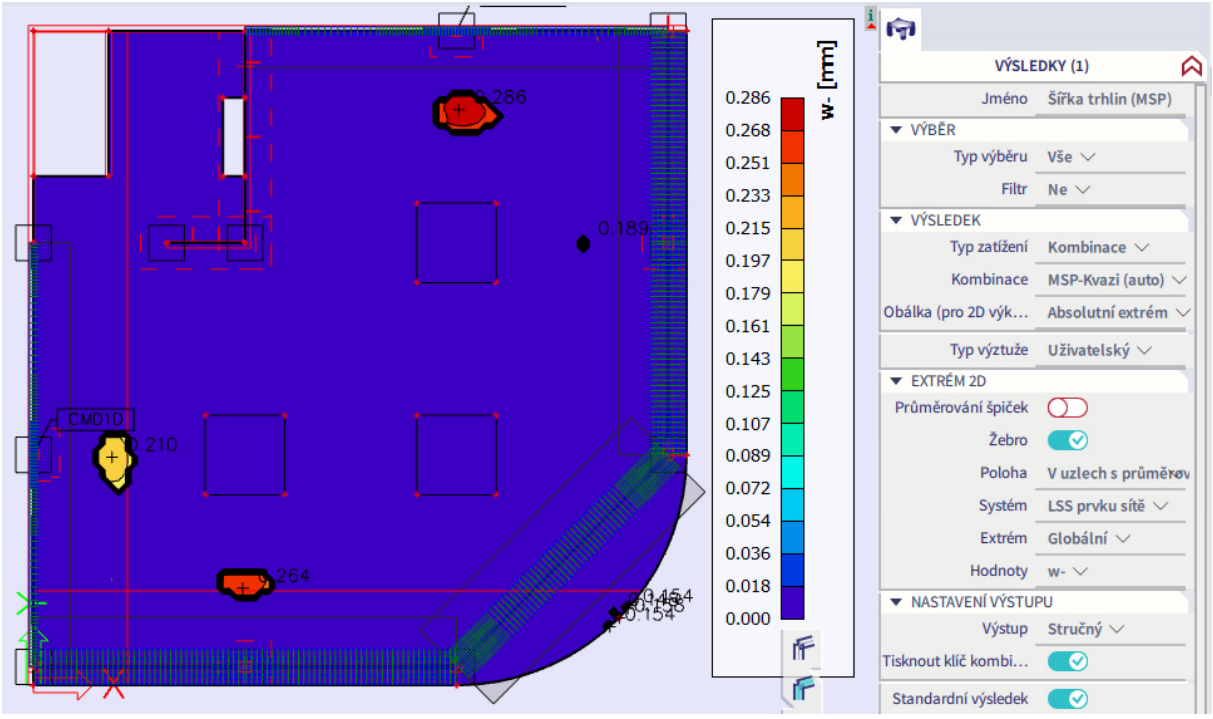
$$d = 650 - 25 - 8 - 20/2 = 607\ \text{mm}$$

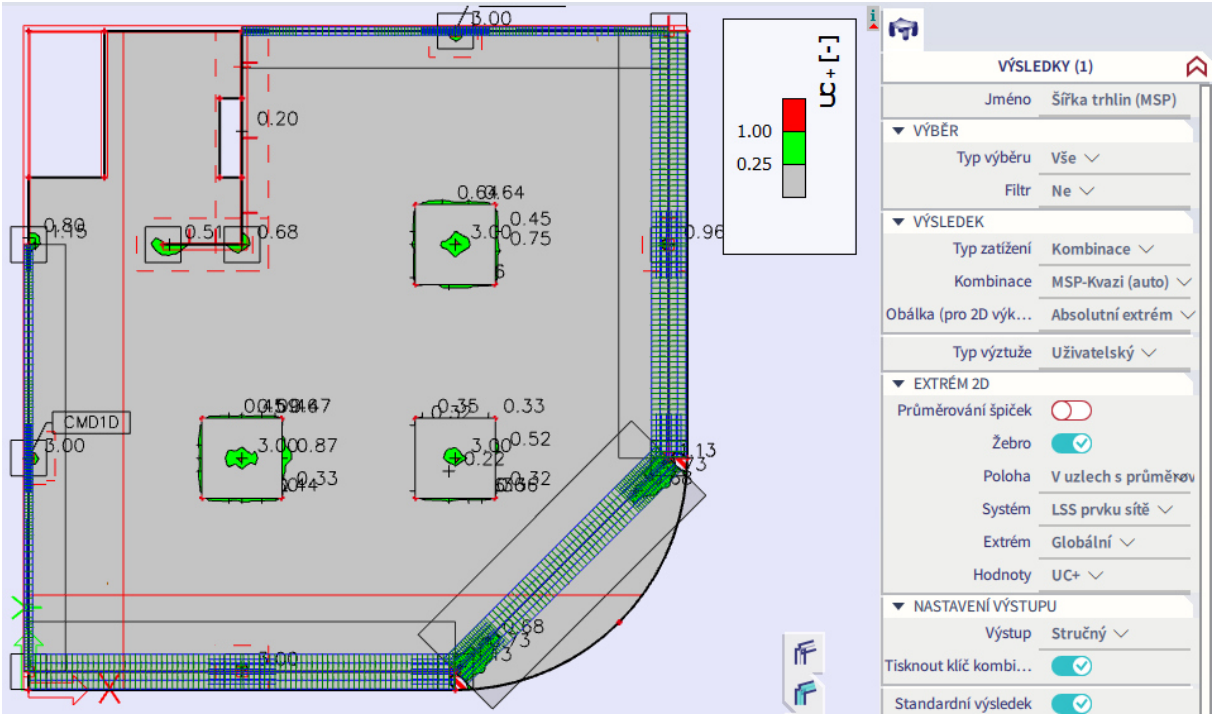
$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{149}{607} = 0,25 \le \xi_{\text{lim}} = 0,45$$

Nevyhovující posudek tedy můžeme ignorovat. Tím je posouzení žeber na MSÚ dokončeno.

Posouzení upravené desky na MSP – trhliny

Posouzení šířky trhlin v desce provedeme přes Akce > Beton > Posudek šířky trhlin 2D podle MSP, a to pro kvazistálou kombinaci. Zatrhneme volbu Žebro a vybereme uživatelskou výztuž. Lze provést i výpočet pro teoreticky nutnou výztuž, což je méně přesné, ale výhodné v případě, kdy výztuž ještě nemáme zadánu a chceme splnění kritéria šířky trhlin rychle předběžně ověřit pro předpokládanou výztuž (požadovanou plochu výztuže rozdělenou do profilů definovaných v Nastavení pro betonové konstrukce). Obrázky níže ukazují postupně vykreslení w-, w+ a UC+ (po patřičné úpravě palety přes Vlastnosti > Nastavení kreslení 2D).



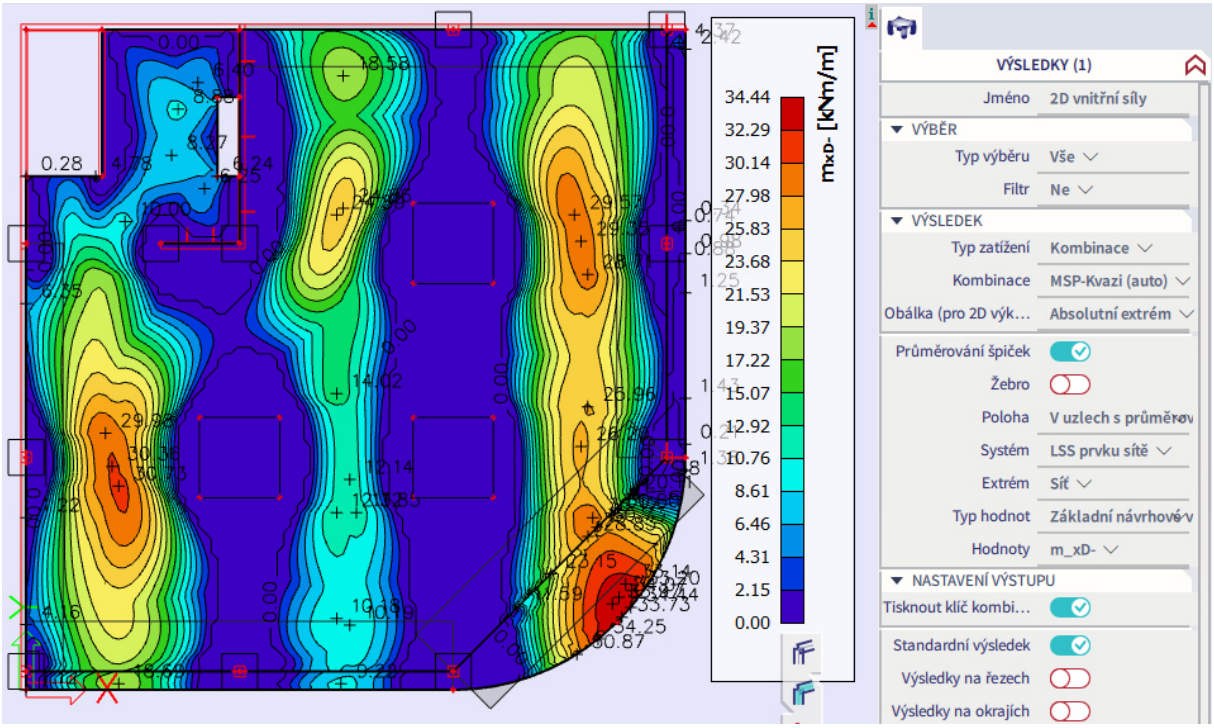


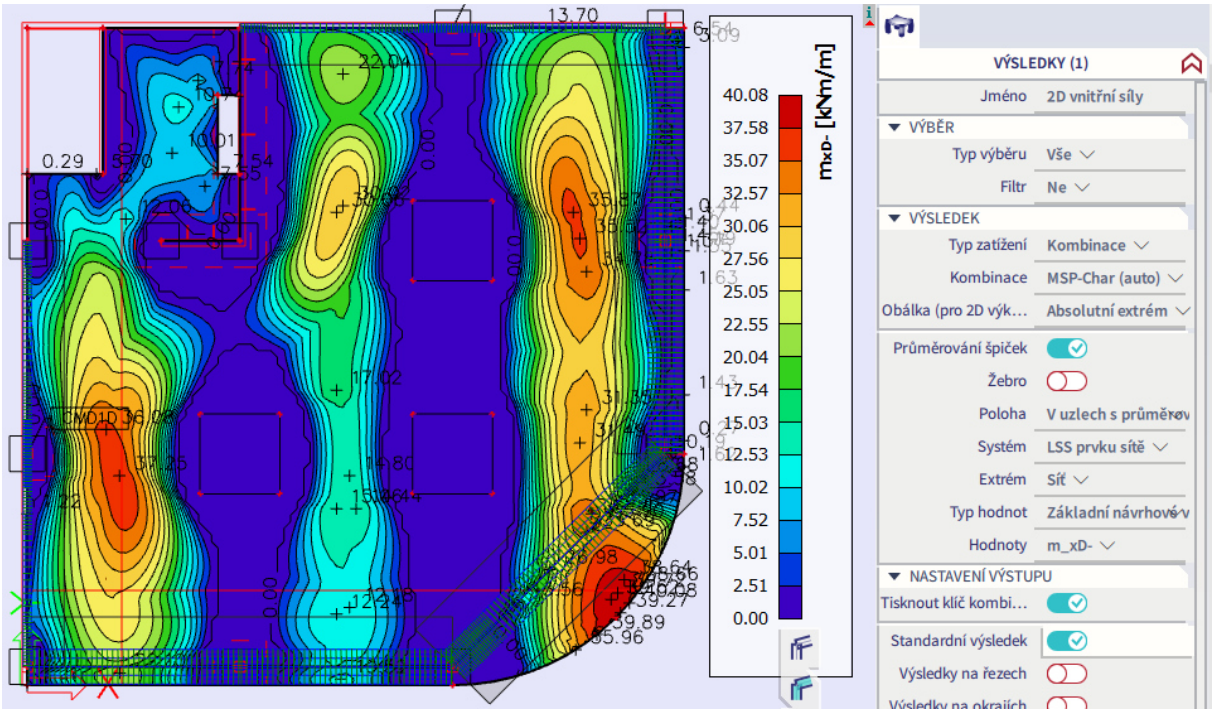
Šířky trhlin jsou vyhovující (limit 0,4 mm) kromě velmi malých červených oblastí na horním povrchu. Tyto nevyhovující oblasti se nacházejí:

- Uvnitř svislých nosných konstrukcí vyššího podlaží – vznik trhlin v těchto místech je nereálný.
- V místech, kde bude kotvena výztuž žeber, která pouze není zadána do výpočtového modelu – šířka trhlin bude výrazně menší, bude odpovídat vyztužené části modelu.

Trhliny s nadlimitní šířkou je tedy v našem případě možné ignorovat.

Výsledky ověříme pomocí výpočtu v Excelu. Hodnotu momentu na spodním povrchu při kvazistálé kombinaci $m_{E,qp}$ = 30,73 kNm/m a charakteristické kombinaci kvazistálé kombinaci $m_{E,char}$ = 37,25 kNm/m převezmeme ze základních návrhových veličin vykreslených v modulu Výsledky (zdůvodnění viz kapitola „Návrh podélné výztuže desky na MSÚ“).





Ruční výpočet dává mírně nižší hodnotu šířky trhliny – 0,2 mm.

Výpočet šířky trhlin

Materiály

f_{ck}	30 MPa	
f_{yk}	500 MPa	
f_{ctm}	2,9 MPa	
E_{cm}	32,8 GPa	
E_s	200 GPa	
$\varphi(\infty,t_0)$	3,28 -	Model B3
α_e	26,10 -	

Konstrukce

h	250 mm	
b	1000 mm	
c	37 mm	
$Ø_{s1}$	12 mm	tažená výztuž
$Ø_{s2}$	12 mm	tlačená výztuž
d	207 mm	
d_2	43 mm	
A_{s1}	754 mm²/m	
A_{s2}	754 mm²/m	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	30,73 kNm/m	
$M_{E,char}$	37,25 kNm/m	

Limitní šířka trhliny

$w_{k,lim}$	0,40 mm	

Charakteristiky průřezu bez trhlin

A_I	289355 mm²/m	
a_I	125 mm	
I_I	1566707173 mm⁴/m	
M_{cr}	36,35 kNm/m	

Charakteristiky průřezu s trhlinami

x_{cr}	67,36 mm	
I_{II}	497255172 mm⁴/m	

Posouzení šířky trhlin

σ_s	225 MPa	
k_1	0,8 -	
k_2	0,5 -	
k_3	3,4 -	
k_4	0,425 -	
$Ø_1$	12 mm	
n_1	6,67 -	
$Ø_2$	12 mm	
n_2	6,67 -	
$Ø_{eq}$	12,00 mm	
$h_{c,eff}$	60,9 mm	
$A_{c,eff}$	60881 mm²/m	
$\rho_{p,eff}$	0,012 -	
$s_{r,max}$	290,52 mm	
k_t	0,4 -	
w_k	**0,20 mm**	**Šířka trhlin vyhovuje**

$$M_{cr} = f_{ctm}\frac{I_I}{h-a_I} \qquad A_I = A_c + \alpha_e\left(A_{s1}+A_{s2}\right) \qquad a_I = \frac{1}{A_I}\left[A_c\cdot\frac{h}{2}+\alpha_e\left(A_{s1}d+A_{s2}d_2\right)\right]$$

Trhliny vzniknou

$$I_I = I_c + A_c\left(a_I-\frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-a_I\right)^2 + A_{s2}\left(a_I-d_2\right)^2\right]$$

$$x_{cr} = \frac{\alpha_e}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_e}\frac{A_{s1}d+A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}bx_{cr}^3 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-x_{cr}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr}-d_2\right)^2\right]$$

$$\sigma_s = \alpha_e\frac{M_{E,qp}}{I_{II}}\left(d-x_{cr}\right)$$

$$Ø_{eq} = \frac{n_1Ø_1^2+n_2Ø_2^2}{n_1Ø_1+n_2Ø_2}$$

$$h_{c,eff} = \min\left[2{,}5\left(h-d\right);\left(h-x_{cr}\right)/3;h/2\right];\ \text{pokud } x_{cr} < 0{,}25h,\ \text{druhý člen se neuplatní}$$

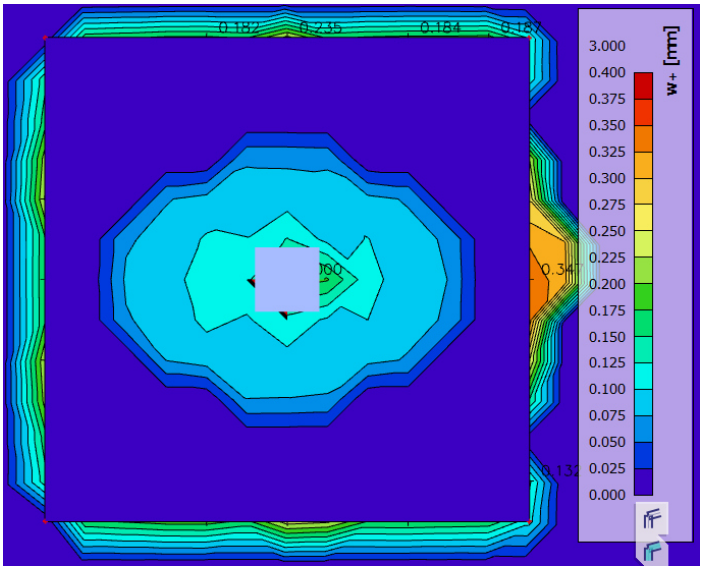
$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

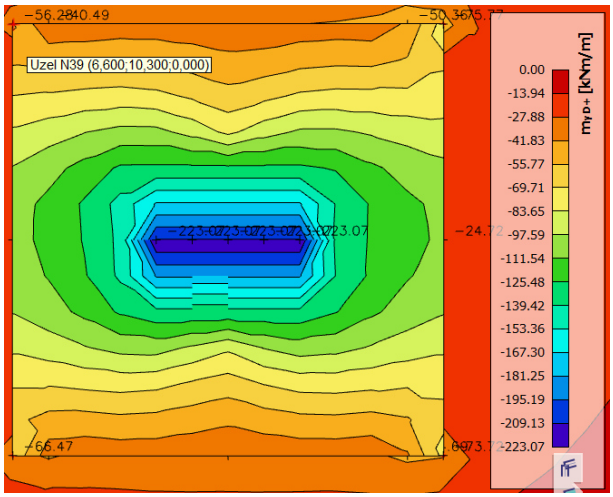
$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4Ø_{eq}/\rho_{p,eff} \quad \text{nebo} \quad s_{r,max} = 1{,}3\left(h-x_{cr}\right) \text{ pro rozteče prutů} \geq 5\left(c+\frac{Ø}{2}\right)$$

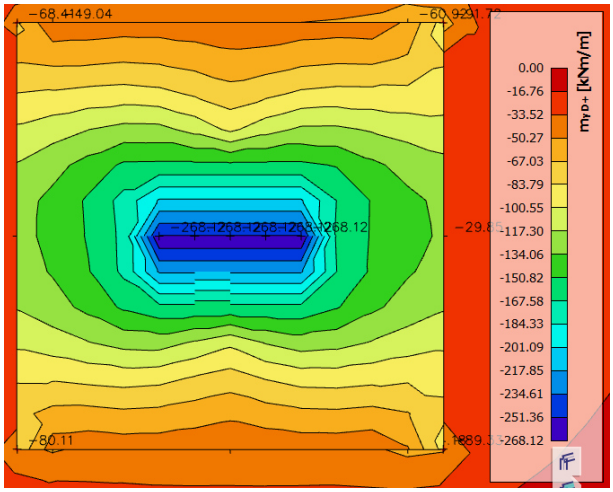
$$w_k = s_{r,max}\cdot\max\left\{\frac{1}{E_s}\left[\sigma_s - k_t\frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1+\alpha_e\rho_{p,eff}\right)\right];\frac{0{,}6\sigma_s}{E_s}\right\}$$

Při prostudování detailního náhledu posudku pro globální extrém lze zjistit, že rozdíl je dán odlišnou hodnotou uvažovaného součinitele dotvarování. V ručním výpočtu byla použita hodnota 3,28 stanovená programem CaS podle modelu B3 (autor doc. Vráblík – ke stažení zde). Program použil hodnotu 2,35 odvozenou z normového grafu. Pokud bychom i do ručního výpočtu dosadili hodnotu 2,35, obdrželi bychom šířku trhliny 0,28 mm, tj, identickou s výpočtem v programu.

Pro horní povrch v oblasti hlavic dává program největší šířku trhlin mimo singulární oblasti kolem 0,2 mm, přičemž základní návrhový moment od kvazistálé kombinace je $m_{E,qp}$ = 223,07 kNm/m a od charakteristické kombinace $m_{E,char}$ = 268,12 kNm/m.







Kontrolní výpočet vede k šířce trhliny 0,19 mm, po změně součinitele dotvarování 0,20 mm. Tím je ověřena správnost výpočtu šířky trhlin v programu.

Výpočet šířky trhlin

Materiály

f_{ck}	30	MPa	
f_{yk}	500	MPa	
f_{ctm}	2,9	MPa	
E_{cm}	32,8	GPa	
E_s	200	GPa	
$\varphi(\infty,t_0)$	3,28	-	*Model B3*
α_e	26,10	-	

Konstrukce

h	450	mm	
b	1000	mm	
c	25	mm	
$\varnothing_{s1}$	16	mm	*tažená výztuž*
$\varnothing_{s2}$	12	mm	*tlačená výztuž*
d	417	mm	
d_2	31	mm	
A_{s1}	2087	mm^2/m	
A_{s2}	754	mm^2/m	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	223,07	kNm/m
$M_{E,char}$	268,12	kNm/m

Limitní šířka trhliny

$w_{k,lim}$	0,40	mm

Charakteristiky průřezu bez trhlin

A_I	524143	mm^2/m
a_I	238	mm
I_I	1,0258E+10	mm^4/m
M_{cr}	140,10	kNm/m

Charakteristiky průřezu s trhlinami

x_{cr}	154,20	mm
I_{II}	5282445596	mm^4/m

Posouzení šířky trhlin

σ_s	290	MPa
k_1	0,8	-
k_2	0,5	-
k_3	3,4	-
k_4	0,425	-
$\varnothing_1$	16	mm
n_1	6,67	-
$\varnothing_2$	12	mm
n_2	6,67	-
$\varnothing_{eq}$	14,29	mm
$h_{c,eff}$	82,5	mm
$A_{c,eff}$	82500	mm^2/m
$\rho_{p,eff}$	0,025	-
$s_{r,max}$	181,00	mm
k_t	0,4	-
w_k	**0,19**	**mm**

$$M_{cr} = f_{ctm}\frac{I_I}{h-a_I}$$

$$A_I = A_c + \alpha_e\left(A_{s1}+A_{s2}\right)$$

$$a_I = \frac{1}{A_I}\left[A_c\cdot\frac{h}{2}+\alpha_e\left(A_{s1}d+A_{s2}d_2\right)\right]$$

Trhliny vzniknou

$$I_I = I_c + A_c\left(a_I-\frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-a_I\right)^2 + A_{s2}\left(a_I-d_2\right)^2\right]$$

$$x_{cr} = \frac{\alpha_e}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_e}\frac{A_{s1}d+A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}bx_{cr}^3 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-x_{cr}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr}-d_2\right)^2\right]$$

$$\sigma_s = \alpha_e\frac{M_{E,qp}}{I_{II}}\left(d-x_{cr}\right)$$

$$\varnothing_{eq} = \frac{n_1\varnothing_1^2+n_2\varnothing_2^2}{n_1\varnothing_1+n_2\varnothing_2}$$

$$h_{c,eff} = \min\left[2{,}5\left(h-d\right);\left(h-x_{cr}\right)/3;h/2\right];\ \text{pokud } x_{cr}<0{,}25h,\ \text{druhý člen se neuplatní}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\varnothing_{eq}/\rho_{p,eff} \quad \text{nebo} \quad s_{r,max} = 1{,}3\left(h-x_{cr}\right) \text{ pro rozteče prutů } \geq 5\left(c+\frac{\varnothing}{2}\right)$$

$$w_k = s_{r,max}\cdot\max\left\{\frac{1}{E_s}\left[\sigma_s - k_t\frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\left(1+\alpha_e\rho_{p,eff}\right)\right];\frac{0{,}6\sigma_s}{E_s}\right\}$$

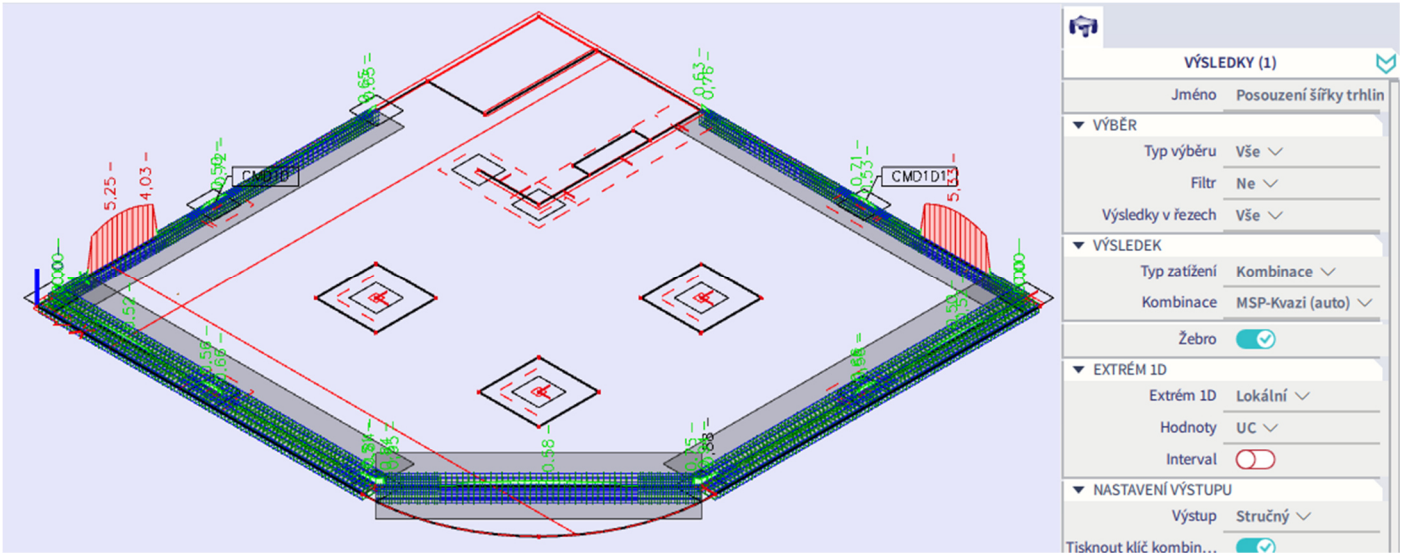
Šířka trhlin vyhovuje

Posouzení žeber na MSP – trhliny

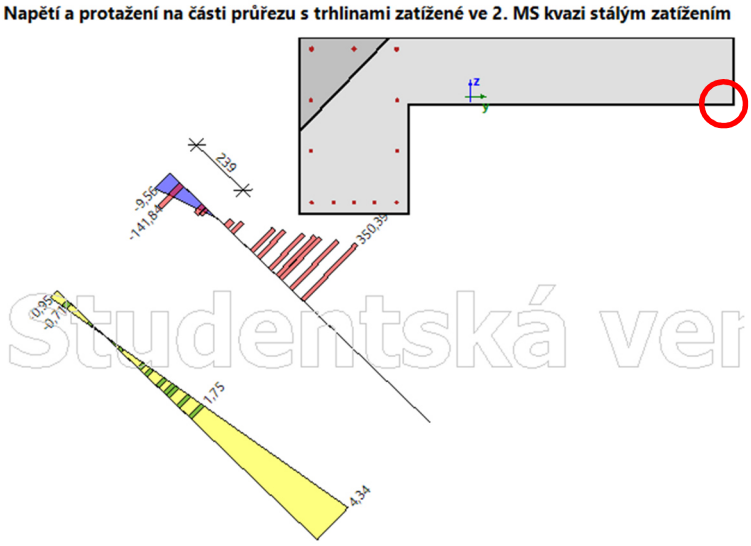
Posouzení šířky trhlin v žebrech provedeme přes Akce > Beton > Posudek šířky trhlin 1D podle MSP, a to pro kvazistálou kombinaci. Kromě UC a šířky trhlin lze přes volbu Hodnoty v okně Vlastnosti vykreslit také napětí ve výztuži σ_s, teoretické napětí v taženém betonu σ_{ct} a kritické hodnoty vnitřních sil způsobující vznik trhlin N_{cr} a M_{cr}.

V případě, že na prutu není zadána uživatelská výztuž, počítá se pro posudek s výztuží definovanou ve Výchozím nastavení návrhu, což je prakticky nepoužitelné (v našem případě by se uvažovaly pouze Ø20 v rozích průřezu). Z toho vyplývá, že nelze provést výpočet šířky trhlin v žebrech pro plochu teoreticky nutné výztuže stanovenou pro MSÚ, jak je to možné u desek. Je nutné mít zadánu uživatelskou výztuž v žebrech.

Zatrhneme volbu Žebro, vykreslíme UC. Zjistíme, že nevyhovují šířky trhlin v krajních polích žeber na nepřekonzolovaném okraji. Dosahují až 2,13 mm.



Prostudujeme detailní náhled posudku pro globální extrém. Program uvažuje nerealistické parametry průřezu. Poloha a sklon neutrálné osy neodpovídají představě o chování průřezu. Z toho následně vyplývají chybné hodnoty uvažovaného krytí tažené výztuže (má být 25+8 = 33 mm), plochy tažené výztuže uvnitř efektivní tažené plochy betonu (má být 5x Ø16 = 1005 mm^2), maximální vzdálenosti mezi trhlinami i šířky trhlin. Trhliny obecně začínají vznikat v nejvíce tažených vláknech průřezu. V tomto případě je tedy rozvoj trhlin zahájen v červeně označeném místě desky, což samozřejmě neodpovídá skutečnosti.



Plocha výztuže uvnitř plochy $A_{c,eff}$

$A_s = 402\ mm^2$

Krytí výztuže nejblíž okraji průřezu, ve směru výslednice ohybového momentu

$c = 223\ mm$

Výpočet maximální osové vzdálenosti mezi pruty uvnitř oblasti $A_{c,eff}$

$s_{max} = 400\ mm$

Poznámka: Maximální vdálenost vložek výztuže nemůže být vypočítána. Šířka průřezu kolmá na směr výsledného momentu protínající vložku s maximálním tahovým napětím bude použita.

Maximální vzdálenost mezi trhlinami

$s_{max} = 400\ mm \le 5*(c+0.5*\phi_{eq}) = 1156\ mm$ or $\rho_{p,eff} = 0$, proto:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p,eff}} = 0.79 \cdot 0.223 + \frac{0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot 0.016}{1.47 \cdot 10^{-3}} = 2029\ mm$$

Střední přetvoření ve výztuži

$$\varepsilon_{sm}_\varepsilon_{cm} = \max\left(\frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot \left(1 + \alpha_E \cdot \rho_{p,eff} \right)}{E_s} ; \frac{0.6 \cdot \sigma_s}{E_s} \right)$$

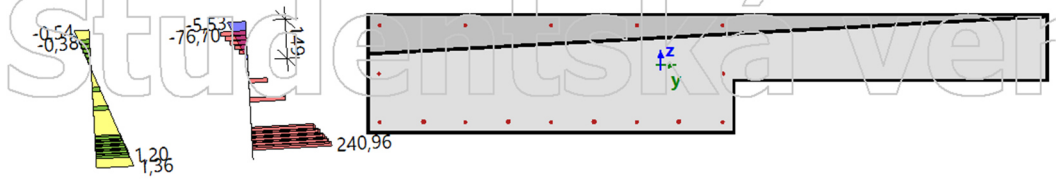
$$= \max\left(\frac{350 \cdot 10^6 - 0.4 \cdot \left(\frac{2.9 \cdot 10^6}{1.47 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot \left(1 + 19.9 \cdot 1.47 \cdot 10^{-3} \right)}{200 \cdot 10^9} ; \frac{0.6 \cdot 350 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9} \right) = 1.05\ ‰$$

Vypočtená šířka trhliny

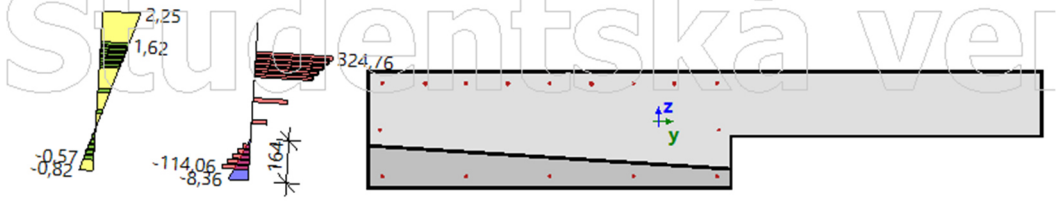
$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm}_\varepsilon_{cm} = 2.03 \cdot 1.05 \cdot 10^{-3} = 2.13\ mm$$

Jak již bylo naznačeno, pro posudek trhlin je v některých případech problematické, že program počítá s průřezem včetně spolupůsobící části desky, která není v rámci žebra vyztužena (výztuž je zadána do desky). Ve většině případů jsou výsledky korektní, viz níže uvedené průběhy napětí a přetvoření na žebru v překonzolované části desky (v poli a nad podporou). U žebra na nepřekonzolovaném okraji však vlivem velkého podílu nevyztužené části taženého betonového průřezu výsledky nejsou použitelné.

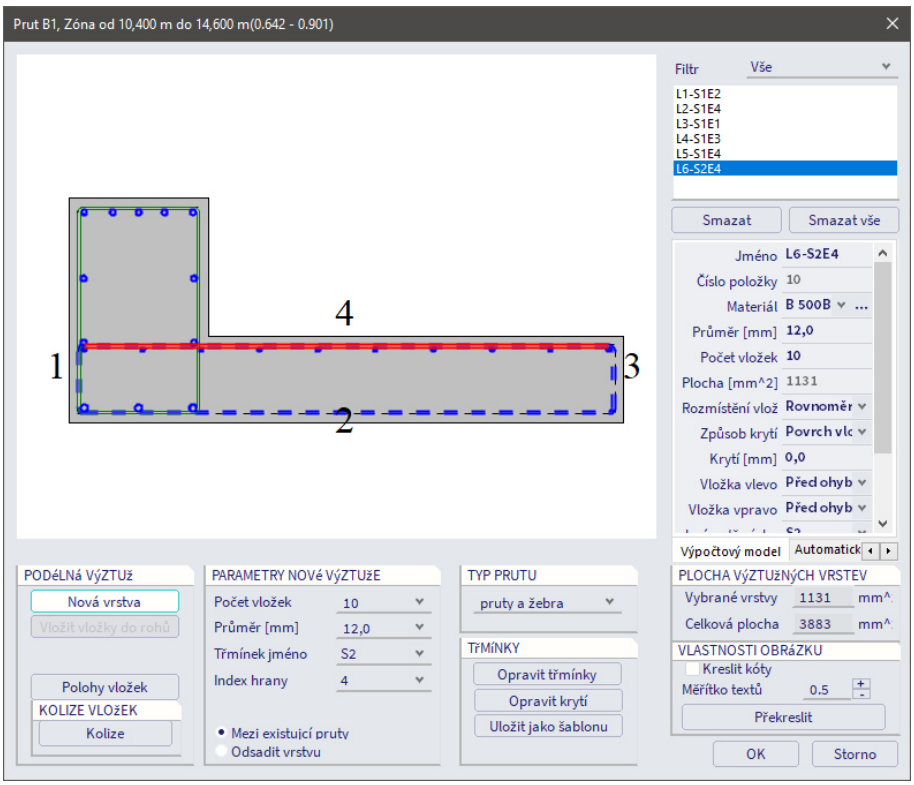
Napětí a protažení na části průřezu s trhlinami zatížené ve 2. MS kvazi stálým zatížením

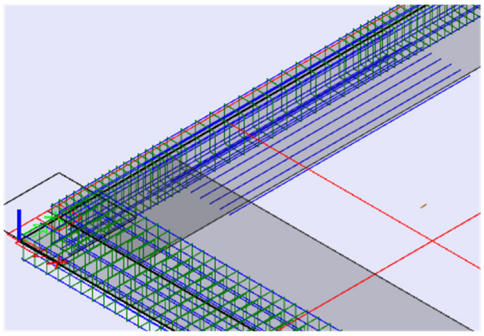


Napětí a protažení na části průřezu s trhlinami zatížené ve 2. MS kvazi stálým zatížením



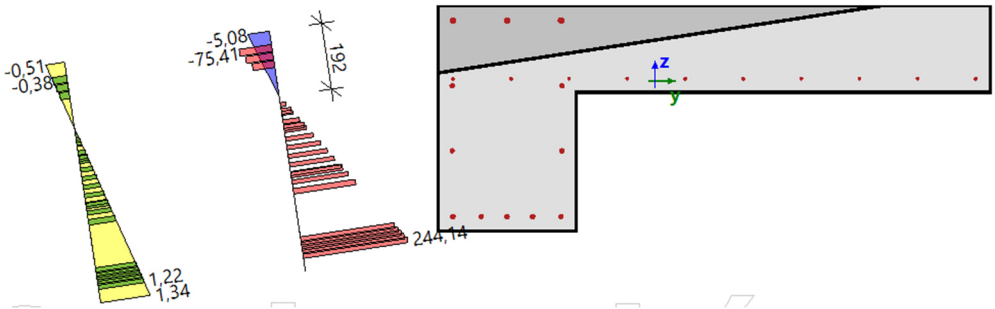
Pro potřeby posouzení na MSP šířky trhlin proto vložíme do středové části vnějšího pole žebra na nepřekonzolovaném okraji (oblast 10,4 – 14,6 m) rovněž spodní výztuž desky 10x Ø12.





Po této úpravě již poloha a sklon neutrálné osy lépe odpovídají představě o chování průřezu. Stanovená velikost krytí tažené výztuže i plochy tažené výztuže uvnitř efektivní tažené plochy betonu jsou správné, maximální vzdálenosti mezi trhlinami i konečná stanovená šířka trhlin jsou realistické. Nejvíce tažená oblast, kde vznikají první trhliny, se správně nachází na spodním okraji žebra.

Napětí a protažení na části průřezu s trhlinami zatížené ve 2. MS kvazi stálým zatížením



Plocha výztuže uvnitř plochy $A_{c,eff}$

$A_s = 1005\ mm^2$

Krytí výztuže nejblíž okraji průřezu, ve směru výslednice ohybového momentu

$c = 33\ mm$

Výpočet maximální osové vzdálenosti mezi pruty uvnitř oblasti $A_{c,eff}$

$s_{max} = 82.2\ mm$

Maximální vzdálenost mezi trhlinami

$$s_{max} = 82.2 \text{ mm} \le 5*(c+0.5*\phi_{eq}) = 205 \text{ mm or } \rho_{p,eff} = 0, \quad \text{proto:}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p,eff}} = 2.83 \cdot 0.033 + \frac{0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot 0.016}{0.0165} = 258 \text{ mm}$$

Studentská

Střední přetvoření ve výztuži

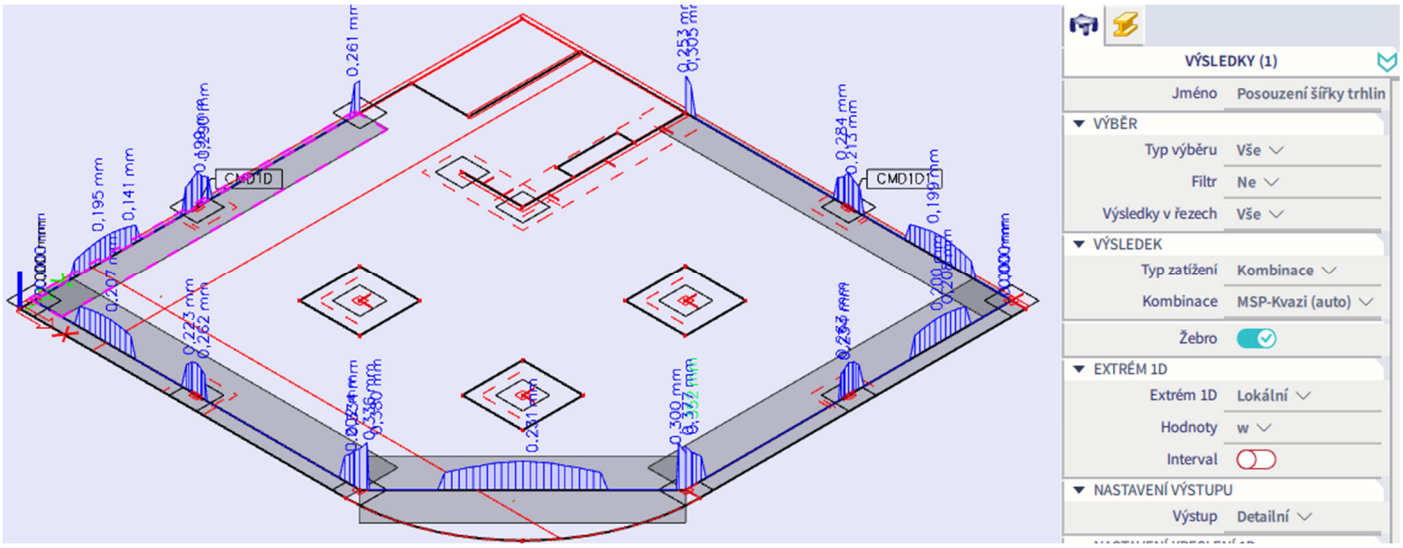
$$\varepsilon_{sm_}\varepsilon_{cm} = \max\left(\frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}\right) \cdot \left(1 + \alpha_E \cdot \rho_{p,eff}\right)}{E_s}; \frac{0.6 \cdot \sigma_s}{E_s}\right)$$

$$= \max\left(\frac{244 \cdot 10^6 - 0.4 \cdot \left(\frac{2.9 \cdot 10^6}{0.0165}\right) \cdot \left(1 + 19.9 \cdot 0.0165\right)}{200 \cdot 10^9}; \frac{0.6 \cdot 244 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9}\right) = 0.753 \text{ ‰}$$

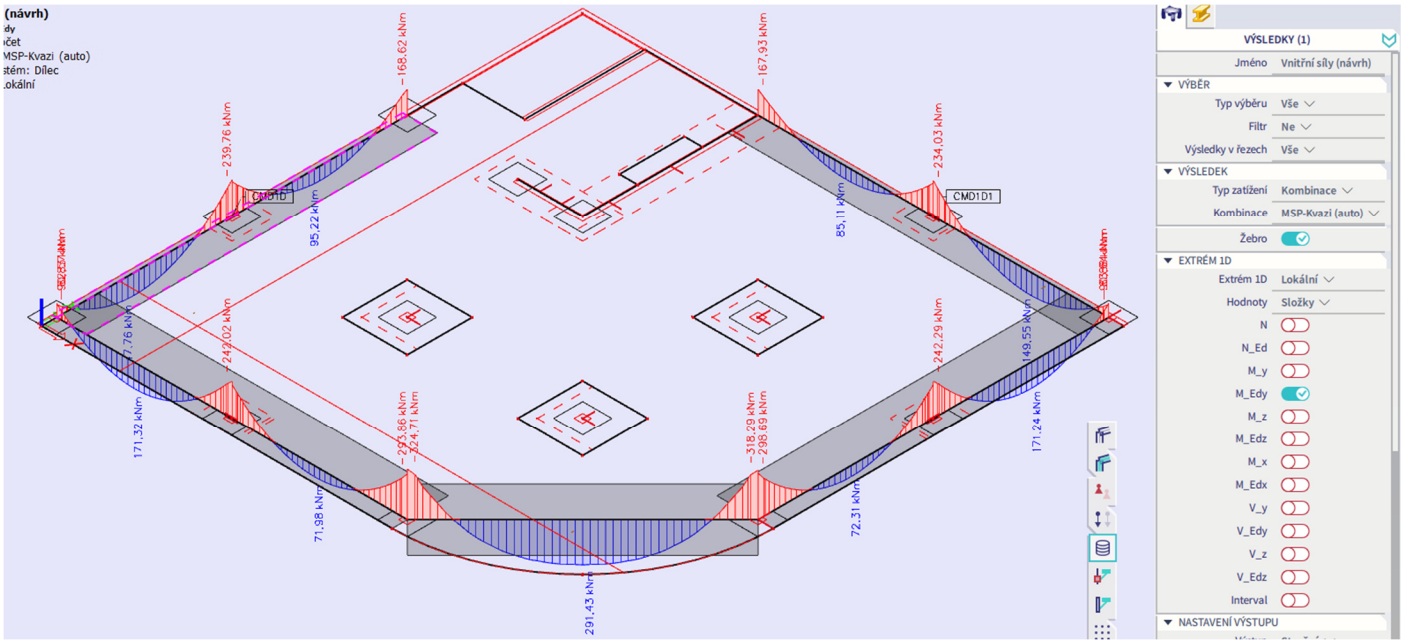
Vypočtená šířka trhliny

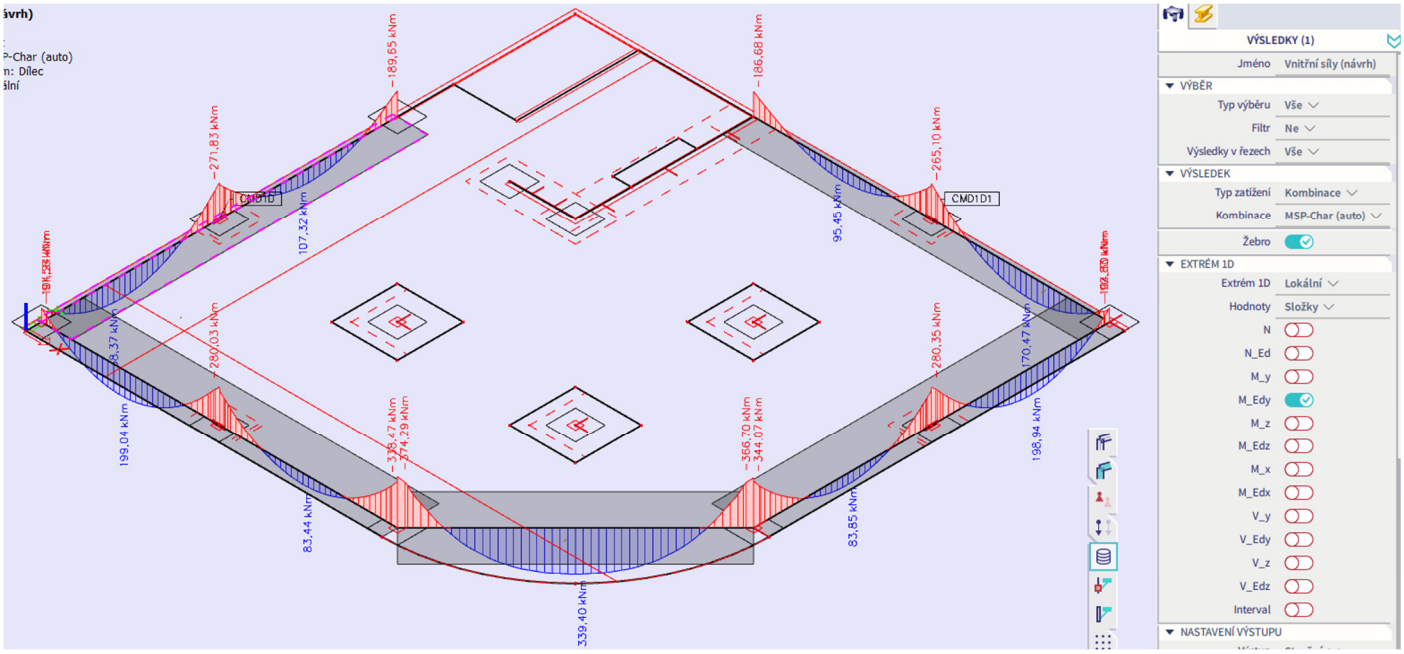
$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm_}\varepsilon_{cm} = 0.258 \cdot 753 \cdot 10^{-6} = 0.195 \text{ mm}$$

Přehled konečných stanovených šířek trhlin poskytuje následující obrázek.



Vykreslíme návrhové momenty M_Edy od kvazistálé a charakteristické kombinace, abychom mohli verifikovat šířky trhlin stanovené programem.





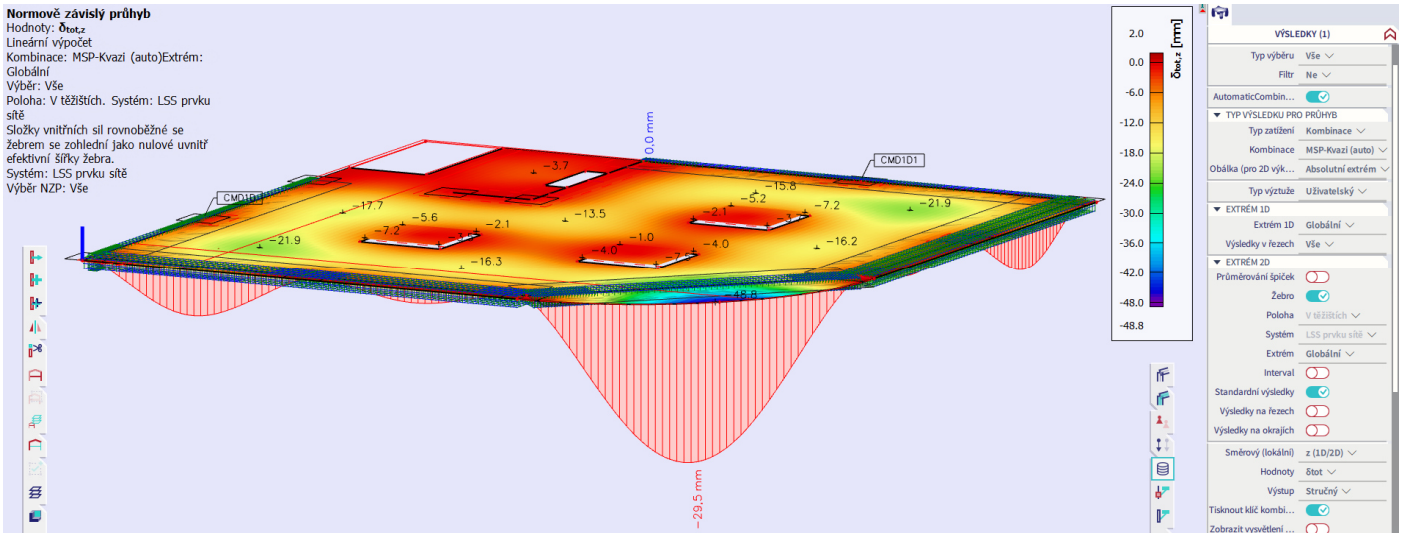
Hodnoty šířek trhlin získané z programu porovnáme s hodnotami stanovenými ručním výpočtem v Excelu.

Trám	Pole w_{max} [mm]		Podpora w_{max} [mm]		Podpora w_{face} [mm]
	Ručně	Scia	Ručně	Scia	Scia
Nepřekonzolovaný okraj (klasický trám)	0,27	0,199	0,17	0,305	0,25
Překonzolovaný okraj (deskové žebro)	0,22	0,207	0,32	0,352	0,30
Zaoblený okraj (deskové žebro)	0,24	0,231	0,28	0,380	0,35

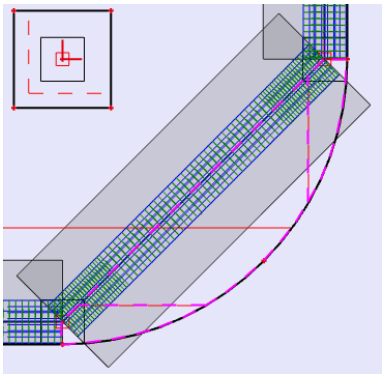
Ručně spočtené hodnoty w_{max} v poli jsou mírně vyšší, ale prakticky shodné s hodnotami stanovenými programem. V podporách jsou hodnoty w_{max} stanovené programem vyšší, což je do značné míry možno přičíst vlivu špiček v bodových podporách, které lze považovat za singularity. Pokud budeme z programu brát za relevantní hodnoty šířek trhlin w_{face} v líci podpor, shoda bude lepší. Každopádně lze konstatovat, že šířky trhlin stanovené programem lze považovat jednak za realistické a jednak za vyhovující.

Posouzení konstrukce na MSP – průhyby

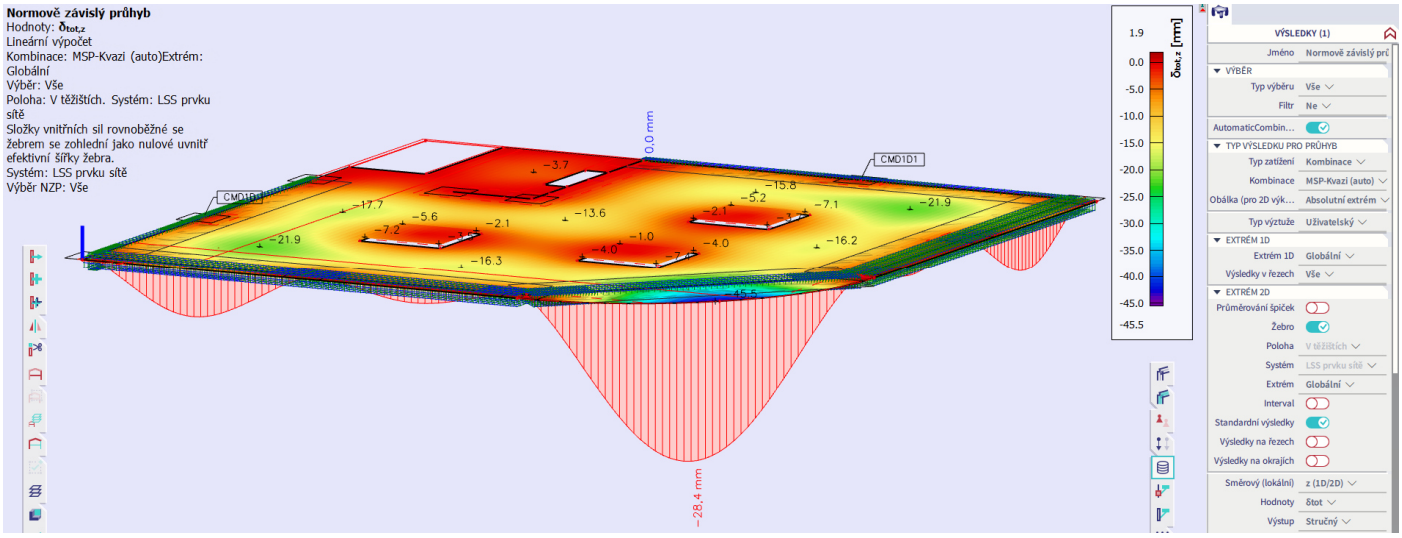
Výpočet průhybů konstrukce provedeme pro kvazistálou kombinaci přes Akce > Beton > Normově závislý průhyb (NZP, teorie zde). Od verze 21 Scia v NZP umí zohlednit i průhyb od smrštění. Zvolíme uživatelskou výztuž a vykreslíme celkový průhyb. Červené křivky zobrazují průhyb žeber spolupůsobících s deskou. Posudek je možné v případě potřeby provést i pro nutnou výztuž, není-li uživatelská ještě zadána.



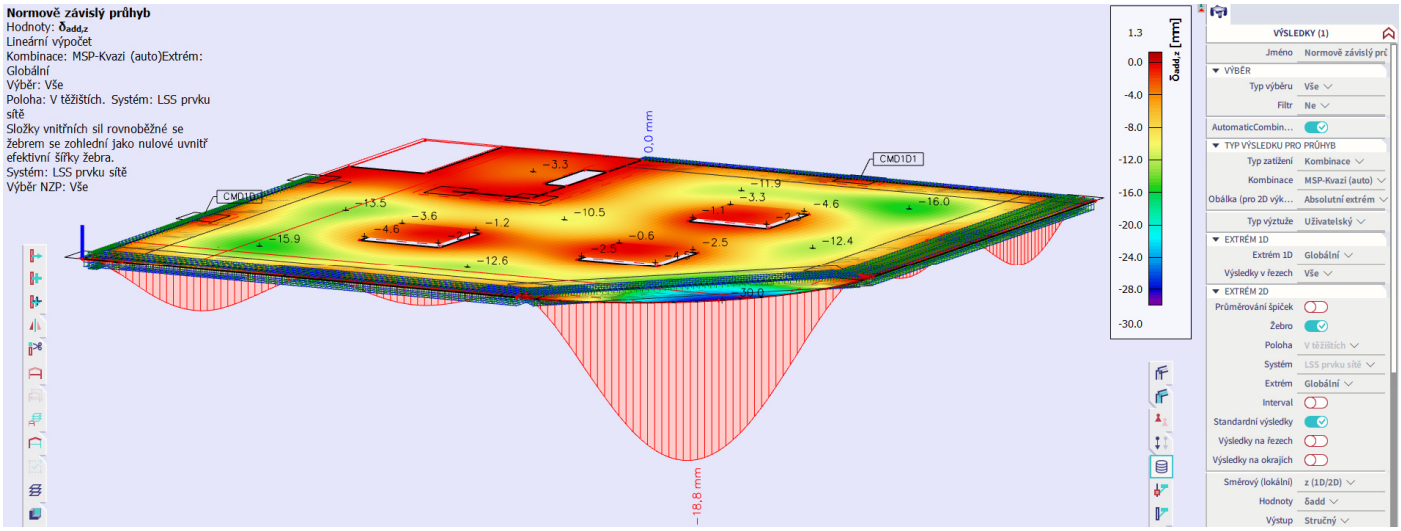
Maximální průhyb na konzole v zaoblené části desky činí 48,8 mm, což nevyhovuje požadovanému limitu 11455/250 = 45,8 mm. Upravíme výztuž konzoly tak, že na horní povrch k základní výztuži Ø12/150 přidáme ještě příložky Ø12/150 v obou směrech.



Poté již celkový průhyb těsně vyhoví. Nejvyšší dosažená hodnota na konci konzoly bude 45,5 mm. Ve zbytku konstrukce průhyb bezpečně vyhovuje.

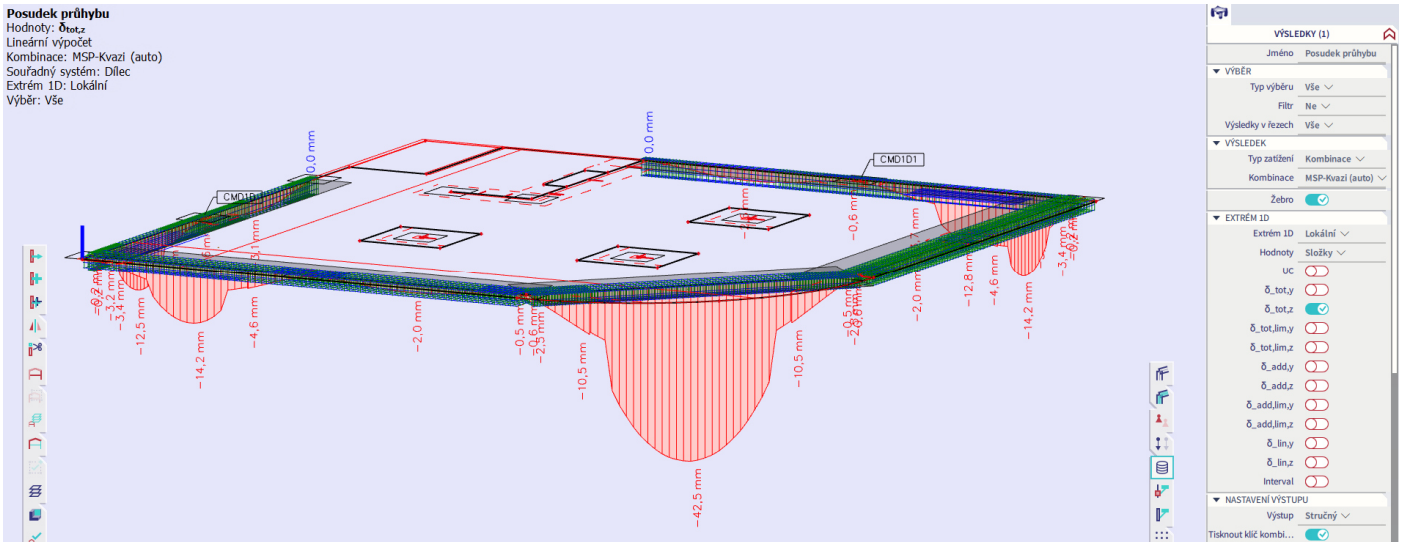


Na následujícím obrázku je vykreslen průhyb po zbudování konstrukce (tzv. přídavný).



Jeho hodnota v kritickém místě desky je 30,0 mm, což překračuje limitní hodnotu 11455/500 = 22,9 mm. Redukce celkového průhybu by bylo možné dosáhnout dalším přidáním výztuže nebo nadvýšením při výstavbě. Přídavný průhyb vzniká účinkem reologických změn během provozu konstrukce a nelze jej eliminovat počátečním nadvýšením. Má nepříznivý dopad na navazující konstrukce (obvodový plášť, příčky, rozvody TZB). Pro jeho zmenšení by bylo nutno zásadněji upravit geometrii či vyztužení, v ideálním případě pak vložit podporu na okraj konzoly nebo do poloviny rozpětí žebra.

Přes Hlavní menu > Návrh > Beton 1D > Posudek průhybu MSP pro kontrolu vykreslíme průhyb samotných žeber bez uvažování spolupůsobení s deskou. Při tomto výpočtu je žebro deskou zatíženo, ale není zvýšena jeho tuhost v důsledku spolupůsobení s 2D plochou reprezentující stropní desku (teorie k výpočtu zde). Tato funkce je primárně určena pro posuzování prutových konstrukcí (např. rámů). Ve vztahu k naší konstrukci se výsledky hodí pro ověření výpočtu deformací, které by bylo obtížné relevantně provést pro celou deskovou konstrukci se žebry.



Maximální průhyb samotného žebra podle programu je 42,5 mm, tento posudek nezahrnuje vliv smrštění. Podle ručního výpočtu vychází 37,3 mm (lineární průhyb je 7,1 mm), hodnoty se tedy uspokojivě shodují. Průhyb od smrštění by činil dalších 7,3 mm, celkem by tedy z ručního výpočtu pro samostatně působící prutový prvek žebra vycházelo 44,6 mm.

Výpočet průhybu (dlouhodobé zatížení, bez vlivu smršťování)

Materiály

f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
f_{ctm}	2,9	MPa
E_{cm}	32,8	GPa
E_s	200	GPa

Konstrukce

l	11455	mm	
h	450	mm	
b	1400	mm	
c	38	mm	
$Ø_{s1}$	20	mm	*tažená výztuž*
$Ø_{s2}$	20	mm	*tlačená výztuž*
d	402	mm	
d_2	48	mm	
A_{s1}	3454	mm^2	
A_{s2}	1570	mm^2	

Dotvarování

t_0	28	dní	
t	50	let	
rh	50	%	
τ	7	dní	
$\varphi(t,t_0)$	3,28	-	*Model B3*
$E_{c,ef}$	7,7	GPa	
$\alpha_{e,ef}$	26,10	-	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	291,43	kNm

Limitní průhyb

limit = 1/x	250	-
f_{lim}	**45,8 mm**	

Charakteristiky průřezu bez trhlin

$A_{I,ef}$	761114	mm^2
$a_{I,ef}$	236	mm
$I_{I,ef}$	1,464E+10	mm^4
$M_{cr,ef}$	198,79	kNm

$$M_{cr,ef} = f_{ctm}\frac{I_{I,ef}}{h-a_{I,ef}}$$

$$A_{I,ef} = A_c + \alpha_{e,ef}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)$$

$$a_{I,ef} = \frac{1}{A_{I,ef}}\left[A_c\cdot\frac{h}{2} + \alpha_{e,ef}\left(A_{s1}d + A_{s2}d_2\right)\right]$$

Trhliny vzniknou

$$I_{I,ef} = I_c + A_c\left(a_{I,ef}-\frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_{e,ef}\left[A_{s1}\left(d-a_{I,ef}\right)^2 + A_{s2}\left(a_{I,ef}-d_2\right)^2\right]$$

Charakteristiky průřezu s trhlinami

$x_{cr,ef}$	158,04	mm
$I_{II,ef}$	7,703E+09	mm^4

$$x_{cr,ef} = \frac{\alpha_{e,ef}}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_{e,ef}}\frac{A_{s1}d+A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II,ef} = \frac{1}{3}bx_{cr,ef}^3 + \alpha_{e,ef}\left[A_{s1}\left(d-x_{cr,ef}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr,ef}-d_2\right)^2\right]$$

Výpočet průhybu

β	0,5	-
ζ	0,767	-
I_{It}	8,657E+09	mm^4
I_c	1,063E+10	mm^4
f_{lin}	7,1	mm
$f_{It,qp}$	**37,3 mm**	

$$\zeta = 1-\beta\left(\frac{M_{cr,ef}}{M_{E,qp}}\right)^2 \geq 0,5$$

$$I_{It} = \frac{I_{I,ef}\cdot I_{II,ef}}{\zeta I_{I,ef} + \left(1-\zeta\right)I_{II,ef}}$$

Průhyb vyhoví $f_{It,qp} = f_{lin}\cdot\frac{E_{cm}I_c}{E_{c,ef}I_{It}}$

Výpočet průhybu od smršťování (příloha B ČSN EN 1992-1-1)

Materiály

f_{ck}	30	MPa
f_{cm}	38	MPa
f_{ctm}	2,9	MPa
f_{yk}	500	MPa
E_{cm}	32,8	GPa
E_s	200	GPa

Konstrukce

l	11455	mm	
h	450	mm	
b	1400	mm	
c	38	mm	
$Ø_{s1}$	20	mm	*taž.v.*
$Ø_{s2}$	20	mm	*tlač.v.*
d	402	mm	
d_2	48	mm	
A_{s1}	3454	mm^2	
A_{s2}	1570	mm^2	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	291,43	kNm

Poměrné smršťování vysycháním

rh	50	%	
rh_0	100	%	
β_{rh}	1,356	-	
f_{cm0}	10	MPa	
α_{ds1}	4	-	
α_{ds2}	0,12	-	
$\varepsilon_{cd,0}$	0,000482	-	
h_0	450	mm	
k_h	0,74	-	*norma tab. 3.3*
$\varepsilon_{cd,\infty}$	0,000357	-	
t	18250	dní	
t_s	7	dní	
$\beta_{ds}(t,t_s)$	0,979498	-	
$\varepsilon_{cd}(t)$	0,00035	-	

$$\beta_{rh} = 1,55\left[1-\left(\frac{rh}{rh_0}\right)^3\right]$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85\left[\left(220+110\alpha_{ds1}\right)\exp\left(-\alpha_{ds2}\frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)\right]\cdot 10^{-6}\cdot\beta_{rh}$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h\varepsilon_{cd,0}$$

$$\beta_{ds}\left(t,t_s\right) = \frac{t-t_s}{\left(t-t_s\right)+0,04\sqrt{h_0^3}}$$

$$\varepsilon_{cd}\left(t\right) = \beta_{ds}\left(t,t_s\right)\varepsilon_{cd,\infty}$$

Poměrné autogenní smršťování

$\beta_{as}(t)$	1,000	-	
$\varepsilon_{ca}(\infty)$	0,00005	-	
$\varepsilon_{ca}(t)$	5E-05	-	

$$\beta_{as}(t) = 1-\exp\left(-0.2\sqrt{t}\right)$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5\left(f_{ck}-10\right)\cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t)\cdot\varepsilon_{ca}(\infty)$$

Celkové poměrné smršťování

ε_{sh}	0,0004	-

Parametry pro výpočet průhybu

t_0	7	dní	
t	50	let	
$\varphi_{c,sh}(\infty,t_0)$	3,28	-	*Model B3*
$E_{c,ef,sh}$	7,7	GPa	
$\alpha_{e,ef,sh}$	26,10	-	

Charakteristiky průřezu bez trhlin

$A_{I,ef,sh}$	761114	mm^2
$a_{I,ef,sh}$	236	mm
$I_{I,ef,sh}$	1,464E+10	mm^4
$S_{I,ef,sh}$	276022,78	mm^3
$M_{cr,ef,sh}$	198,79	kNm

$$A_{I,ef,sh} = A_c + \alpha_{e,ef,sh}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)$$

$$M_{cr,ef,sh} = f_{ctm}\frac{I_{I,ef,sh}}{h-a_{I,ef,sh}}$$

$$a_{I,ef,sh} = \frac{1}{A_{I,ef,sh}}\left[A_c\cdot\frac{h}{2} + \alpha_{e,ef,sh}\left(A_{s1}d + A_{s2}d_2\right)\right]$$

$$I_{I,ef,sh} = I_c + A_c\left(a_{I,ef,sh}-\frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_{e,ef,sh}\left[A_{s1}\left(d-a_{I,ef,sh}\right)^2 + A_{s2}\left(a_{I,ef,sh}-d_2\right)^2\right]$$

Trhliny vzniknou

$$S_{I,ef,sh} = A_{s1}\left(d-a_{I,ef,sh}\right) + A_{s2}\left(d_2-a_{I,ef,sh}\right)$$

Charakteristiky průřezu s trhlinami

$x_{cr,ef}$	158,04	mm
$I_{II,ef}$	7,703E+09	mm^4
$S_{II,ef,sh}$	546811	mm^3

$$x_{cr,ef,sh} = \frac{\alpha_{e,ef,sh}}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_{e,ef,sh}}\frac{A_{s1}d+A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II,ef,sh} = \frac{1}{3}bx_{cr,ef,sh}^3 + \alpha_{e,ef,sh}\left[A_{s1}\left(d-x_{cr,ef,sh}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr,ef,sh}-d_2\right)^2\right]$$

$$S_{II,ef,sh} = A_{s1}\left(d-x_{cr,ef,sh}\right) + A_{s2}\left(d_2-x_{cr,ef,sh}\right)$$

Výpočet průhybu

β	0,5	-
ζ_{sh}	0,767	-
$(1/r)_{sh}$	6,137E-07	-
k_{sh}	0,090	-
f_{sh}	**7,3 mm**	

$$\zeta_{sh} = 1-\beta\left(\frac{M_{cr,ef,sh}}{M_{E,qp}}\right)^2 \geq 0,5$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{sh} = \varepsilon_{sh}\alpha_{e,ef,sh}\left[\left(1-\zeta_{sh}\right)\frac{S_{I,ef,sh}}{I_{I,ef,sh}} + \zeta_{sh}\frac{S_{II,ef,sh}}{I_{II,ef,sh}}\right]$$

$$f_{sh} = k_{sh}\cdot l^2\cdot\left(\frac{1}{r}\right)_{sh}$$

(tabulka k_{sh} viz skriptum Procházka - Stropní konstrukce 2017, str. 38)

Odhad k_{sh}

a	2200	mm
l/a	0,19	-
$(1/r)_{sh,a}$	5,48E-07	-
κ_a	0,89	-

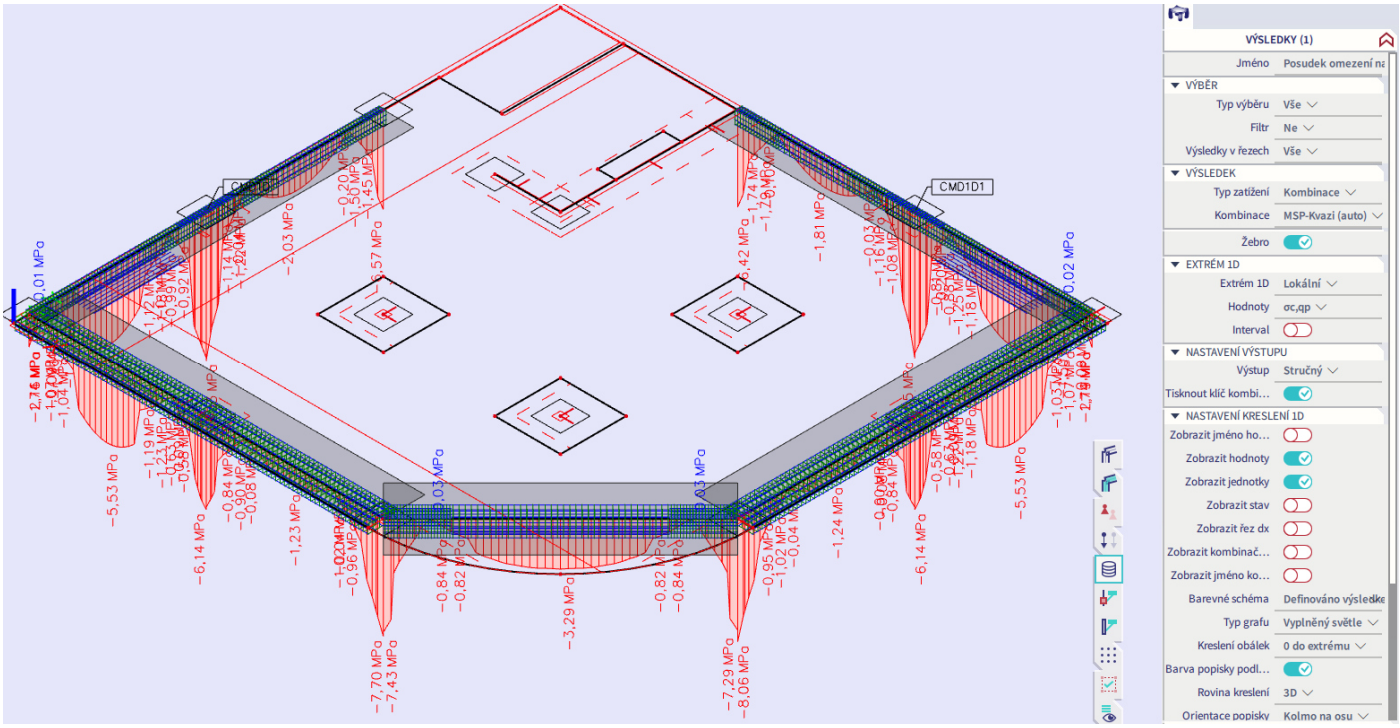
	k_{sh}	M_{pole}	$M_{pod,avg}$	Poměr pod/pole
Odpovídající prostý nosník	0,125	615,43	0	0,00
Odpovídající vetknutý nosník	0,0625	205	410	2,00
Skutečný nosník	**0,090**	291,43	324	1,11

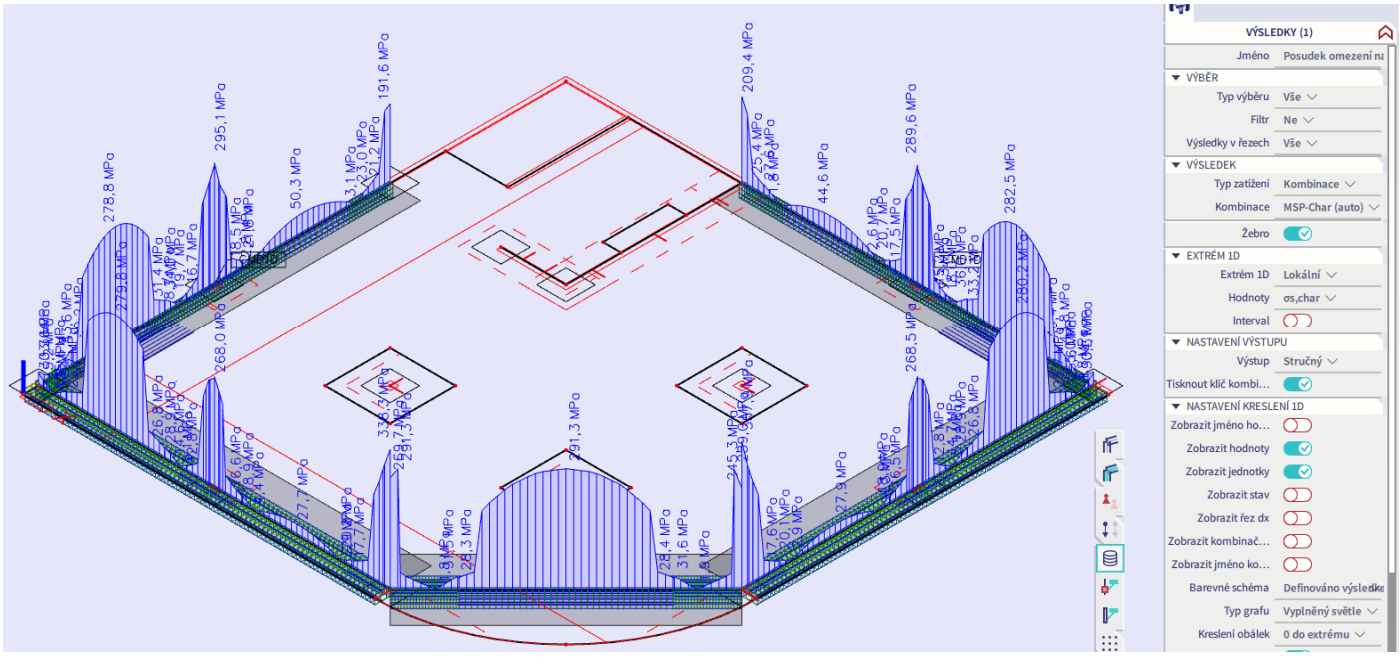
Posouzení konstrukce na MSP – omezení napětí

Posudek mezních napětí pro 1D prvky je možné provést přes Hlavní menu > Návrh > Beton 1D > Posudek na omezení napětí podle MSP. Budeme požadovat, aby napětí v betonu při kvazistálé kombinaci nepřekročilo $0{,}45f_{ck}$ a napětí ve výztuži při charakteristické kombinaci nepřekročilo $0{,}8f_{yk}$. Význam možností ve volbě Hodnoty v okně Vlastnosti:

- σc,char – napětí v betonu při charakteristické kombinaci.
- σc,char-σc,char,lim – kombinované vykreslení napětí v betonu při charakteristické kombinaci a limitní hodnoty této veličiny.
- Index qp místo char – výše uvedené při kvazistálé kombinaci.
- Index s místo c – výše uvedené pro výztuž.
- UC – jednotkový posudek.

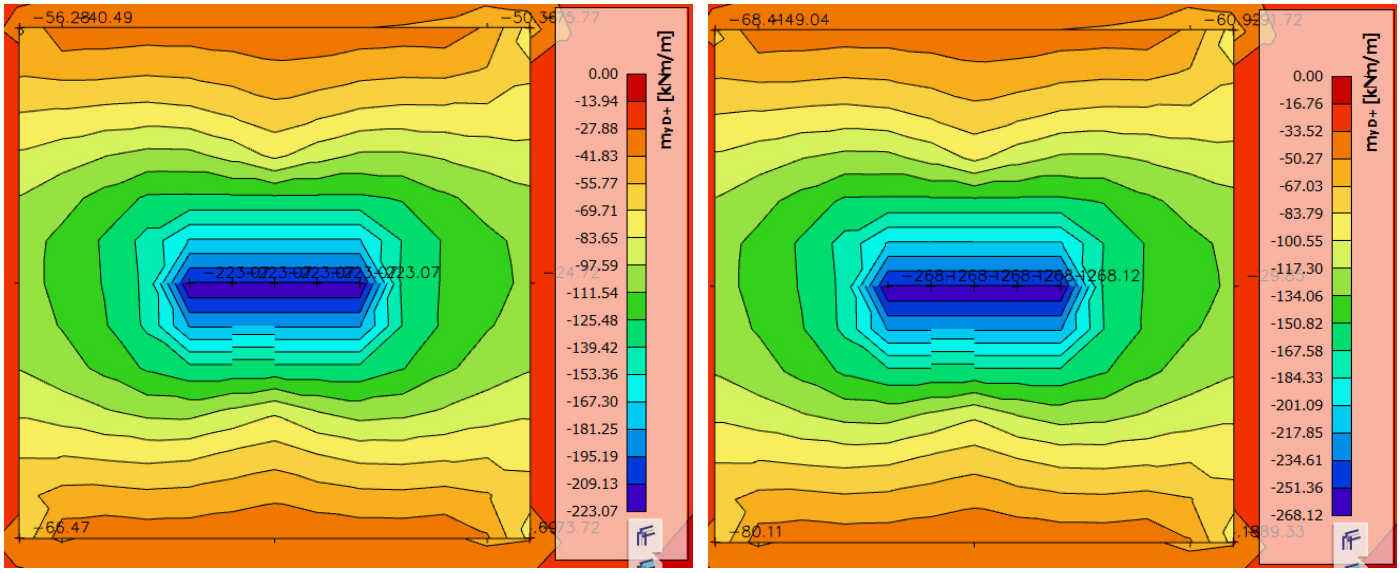
Pro kvazistálou kombinaci zobrazíme σc,qp. Pro charakteristickou kombinaci zobrazíme σs,char.





Limitní hodnoty σc,qp,lim = 13,5 MPa i σs,char,lim = 400 MPa jsou všude splněny.

Posudek pro desky není v programu implementován. Ve Výsledcích vyhledáme hodnoty základních návrhových momentů a provedeme posouzení pro kritický průřez desky s největšími momenty od kvazistálé a charakteristické kombinace (hlavice vnitřních sloupů).



Výpočet napětí v průřezu

Materiály

f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
f_{ctm}	2,9	MPa
E_{cm}	32	GPa
E_s	200	GPa
α_e	6,25	-

Konstrukce

h	650	mm	
b	400	mm	
c	38	mm	
$Ø_{s1}$	16	mm	*tažená výztuž*
$Ø_{s2}$	12	mm	*tlačená výztuž*
d	604	mm	
d_2	44	mm	
A_{s1}	2093	mm^2	
A_{s2}	753	mm^2	

Vnitřní síly

$M_{E,qp}$	223,07	kNm
M_{Ek}	268,12	kNm

Charakteristiky průřezu bez trhlin

A_I	277792	mm^2
a_I	333	mm
I_I	1,0525E+10	mm^4
M_{cr}	96,40	kNm

$$M_{cr} = f_{ctm}\frac{I_I}{h-a_I} \qquad A_I = A_c + \alpha_e\left(A_{s1}+A_{s2}\right) \qquad a_I = \frac{1}{A_I}\left[A_c\cdot\frac{h}{2} + \alpha_e\left(A_{s1}d + A_{s2}d_2\right)\right]$$

Trhliny vzniknou

$$I_I = I_c + A_c\left(a_I - \frac{h}{2}\right)^2 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-a_I\right)^2 + A_{s2}\left(a_I - d_2\right)^2\right]$$

Charakteristiky průřezu s trhlinami

x_{cr}	161,74	mm
I_{II}	3188435941	mm^4

$$x_{cr} = \frac{\alpha_e}{b}\left(A_{s1}+A_{s2}\right)\left[-1+\sqrt{1+\frac{2b}{\alpha_e}\frac{A_{s1}d + A_{s2}d_2}{\left(A_{s1}+A_{s2}\right)^2}}\right]$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}bx_{cr}^3 + \alpha_e\left[A_{s1}\left(d-x_{cr}\right)^2 + A_{s2}\left(x_{cr}-d_2\right)^2\right]$$

Posouzení napětí v betonu a ve výztuži

$0{,}45f_{ck}$	13,5	MPa	
σ_c	11,32	MPa	**Vyhovuje**
$0{,}8f_{yk}$	400	MPa	
σ_s	232	MPa	**Vyhovuje**

$$\sigma_c = \frac{M_{E,qp}}{I_{II}}x_{cr} \qquad \sigma_s = \alpha_e\frac{M_{E,k}}{I_{II}}\left(d-x_{cr}\right)$$

Deska vyhoví. Tím je dokončena analýza konstrukce.