

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



ŽELEZOBETONOVÉ DESKY S OTVOREM
„RC SLABS WITH OPENING“

Bakalářská práce

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Doležal	Jméno: Martin	Osobní číslo: 478663
Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí (K133)		
Studijní program: SI - stavební inženýrství		
Studijní obor: C – Pozemní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Železobetonové stropní desky s otvorem	
Název bakalářské práce anglicky: RC slabs with opening	
Pokyny pro vypracování: <ul style="list-style-type: none">- stanovení okrajových podmínek - výběr konkrétního typu desky- nalezení limitních situací pro vybranou desku- analýza desky s ohledem na ohyb a smyk - vliv umístění otvoru- MSÚ a MSP (průhyb), výpočet MKP a ověření ručním výpočtem- charakteristiky monolitické a prefa varianty- porovnání a vyhodnocení posuzovaných variant	
Seznam doporučené literatury: Betonové stropní a schodišřové konstrukce - prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc., Ing. Jiří Šmejkal, CSc.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 16. 2. 2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15. 5. 2022
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 15. 5. 2022

.....
Martin Doležal

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Michaele Frantové, Ph.D, za velkou trpělivost, individuální přístup, cenné rady v průběhu vedení projektů během studia a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

Martin Doležal

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou otvorů v železobetonových stropních deskách. V první části jsou popisovány typy jednotlivých otvorů, vliv tvaru na průběh napětí na desce. Je zde také popisovaná výztuž v oblasti otvorů. Dále pak možná řešení při dodatečné realizaci otvorů. A v neposlední řadě vliv polohy otvoru na průběh napětí. Obsahem druhé části je statický výpočet a návrh problematického místa v budově Intoza, jedná se o velký otvor napříč celou budovou. Jsou zde zmíněny 4 varianty řešení a následně vybráno nejvhodnější řešení pro daný objekt.

KLÍČOVÁ SLOVA

jednosměrně pnuté stropní desky, otvory ve stropních deskách, dodatečně realizované otvory, výztuž v okolí otvorů

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the issue of openings in reinforced concrete ceiling slabs. In the first part is describes the types of individual openings, the effect of shape on the course of stress on the ceiling structures. The reinforcement in the area of the openings is also described here. Furthermore, possible solutions for the additional implementation of openings. And finally, the effect of the position of the openings on the design. The content of the second part is a static analysis and design of the problematic place in the Intoza building, it is a large opening across the entire building. There are mentioned 4 variants of the solution and then the solution for the given object is selected.

KEYWORDS

one-way slabs, openings in slabs, additionally realized openings, reinforcement around openings

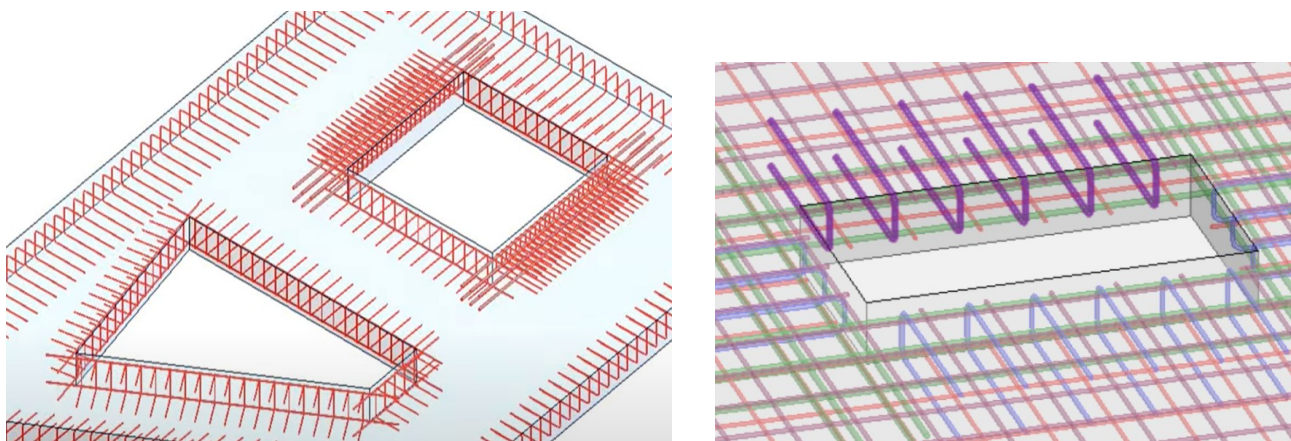
Obsah

1. ÚVOD	7
2. Otvory v železobetonových stropních konstrukcích	9
2.1 Otvory dle nutnosti statického posouzení.....	9
2.2 Otvory dle tvaru.....	10
2.3 Dodatečná realizace otvorů.....	17
2.4. Vliv polohy otvoru v panelu na návrh (maximalizace rozměrů otvoru).....	22
3. Konstrukční řešení objektu	28
3.1. Referenční stavba.....	28
3.2 Spřažení s železobetonovým prstencem varianta A.....	36
3.3 Spřažení s železobetonovým prstencem varianta B.....	38
3.4. Závěr – vyhodnocení.....	39
4. Závěr	40
5. Použitá literatura, odkazy	42
PŘÍLOHA 1.....	44
PŘÍLOHA 2.....	45
PŘÍLOHA 3.....	46
PŘÍLOHA 4.....	47
PŘÍLOHA 5.....	50
PŘÍLOHA 6.....	51
PŘÍLOHA 7.....	55
PŘÍLOHA 8.....	56
PŘÍLOHA 9.....	57
PŘÍLOHA 10.....	59
PŘÍLOHA 11.....	60
PŘÍLOHA 12.....	61

1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá problematikou železobetonových stropních desek. Otvory jsou takřka nedílnou součástí každé stropní konstrukce, bez ohledu na způsob zhotovení (prefa, monolit). Může se jednat o otvory pro schodiště, výtahové šachty, nebo o otvory s architektonickým záměrem, které slouží například k prosvětlení interiéru, nebo k propojení prostoru v rámci budovy.

Obecně jsou prefabrikáty hojně využívány, zejména pro časové urychlení výstavby. Další výhodou je minimalizace mokrého procesu na stavbě a lepší přesnost dílců. Hlavní nevýhodou této technologie je následná přeprava dílců na staveniště. Při vytváření čtvercových, nebo obdélníkových otvorů jsou prefabrikáty stále vhodným řešením, jelikož se otvor vytvoří přerušením panelu přes ocelovou výměnu. V případě jiných otvorů, například kruhových již nelze aplikovat postup s ocelovou výměnou, ale je nutné vytvořit a navrhnout atypický panel, kde je potřeba zohlednit více věcí, než by tomu bylo v případě monolitického řešení.



Obr. 1.1 a Obr. 1.2 Ukázka lemovací výztuže kolem otvorů [20][21]

Cílem bakalářské práce je shrnutí problematiky otvorů v jednosměrně pnutých deskách, je zde poukázáno na možný vliv návrhu nebo realizace při různých tvarech a typech otvorů. Vše je následně aplikováno na konkrétním případě. V práci jsou rozebrány různé tvary a polohy umístění otvorů a posouzeny výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Vše je podpořeno analýzou pomocí metody konečných prvků. Také jsou zde uvedeny různé možnosti realizace dodatečně vytvořených otvorů, ať za pomoci karbonových materiálů, ocelových prvků nebo nové nadbetonávky konstrukce.

V první části své bakalářské práce se zaměřuji na vliv tvaru otvoru v jednosměrně pnutých deskách na průběh napětí. Naznačuji zde i teoretický, zjednodušený model, jak si lze představit

pnutí desky v blízkosti otvoru a porovnávám je s reálnými výsledky z výpočetního programu SCIA Engineer 20.0.

Dále se zde zabývám vlivem polohy otvoru na návrh. Tento problém jsem modeloval na stropních panelech, nikoliv na monolitických stropních deskách, jelikož je na panelech více průkazné a zřejmé, co se s danou konstrukcí při určité poloze právě děje.

V dnešní době, kdy ceny materiálu jsou na pomyslné špici se stále častěji setkáváme s rekonstrukcemi než s novostavbou, proto se v mé práci také zabývám různými možnostmi dodatečné realizace otvorů. Tato problematika nesouvisí čistě jen s rekonstrukcemi, i v novostavbě se můžeme setkat s tímto požadavkem, v důsledku nedokonalé projektové přípravy, nebo změny na žádost investora v průběhu výstavby. Otvor je pro stropní konstrukci „změkčením“ daného místa, proto je potřeba z hlediska armování speciálně řešit rozmístění a tvar výztuže, kvůli přenosu nově vzniklých sil.

Cílem konstrukční části bakalářské práce je návrh statického řešení reálného objektu. Byly navrženy 4 různé varianty pro realizaci velkého otvoru v montované konstrukci. Tyto varianty zahrnují i možnost sprážením a vytvoření tak prostorově tužšího prvku. Tato řešení byla porovnána a zhodnocena.

2. Otvory v železobetonových stropních konstrukcích

Stropní desky budov bývají často přerušeny prostupy a otvory různých velikostí a účelů. Pro potřeby bakalářské práce jsem rozdělil otvory do následujících skupin, na kterých jsem popsal jejich specifika.

2.1 Otvory dle nutnosti statického posouzení

Otvory s nutností statického posudku

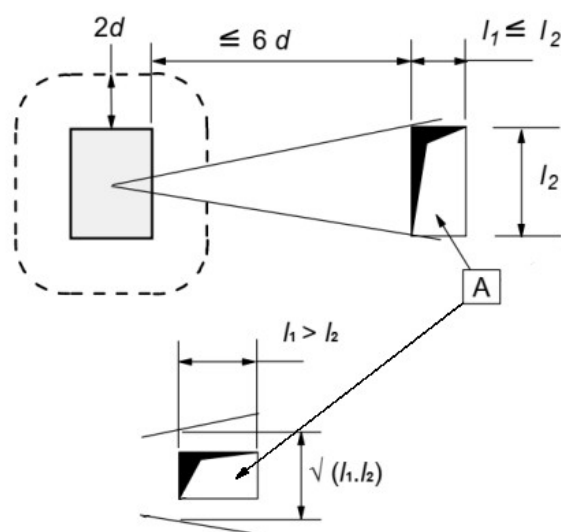
V zásadě se jedná o velké otvory nad 500 x 500 mm [5], kde je zapotřebí minimalizovat vliv otvoru na chování desky, zejména na její únosnost a deformace. Armování těchto problematických míst může být leckdy složité, jelikož tvar může být nepravidelný, nebo rozměr může být příliš velký. Dále vyžadují podrobný statický výpočet a nelze obvykle využít zjednodušené metody.

Bez nutnosti statického posudku

Jedná se zpravidla o malé otvory pro inženýrské sítě, dešťové svody, světlíky, apod. Pro tyto případy stačí převážně zhuštění výztuže okolo otvoru, nebo nevyžadují žádnou pozornost (prostupy kanalizace, vodovodu,..) Zvláštní pozornost by tyto otvory vyžadovaly v oblasti podpor, nebo v oblasti největšího namáhání. V konkrétním případě by se mohlo jednat o otvor v oblasti lokálně podepřené desky sloupem (Obr. 2.1.2), kde by mohlo hrozit protlačení sloupu deskou. (Obr. 2.1.1) [1] V bakalářské práci se nebudu dále zabývat touto problematikou.



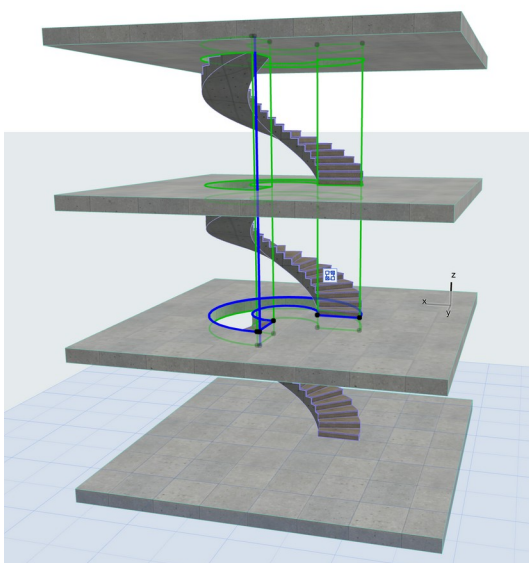
obr. 2.1.1 – protlačení sloupu deskou



obr. 2.1.2 – otvor v blízkosti kontrolovaného obvodu [1]

2.2 Otvory dle tvaru

Otvory ve stropních deskách mohou mít libovolný tvar, avšak zpravidla se jedná o typické, pravidelné tvary, které lze snadno vytvořit. Jedná se například o otvory kruhové, čtvercové, nebo obdélníkové. Obvykle se jedná o otvory pro schodiště, výtahové šachty. V případě atypických tvarů (viz. obrázky 2.2.1 a 2.2.2), kde už může být vyžadováno speciální formy (bednění) pro jejich zhotovení. Zpravidla se s atypickými otvory setkáváme v monolitických deskách, kde je větší variabilita pro požadovaný tvar.



Obr. 2.2.1 – atypický otvor [8]

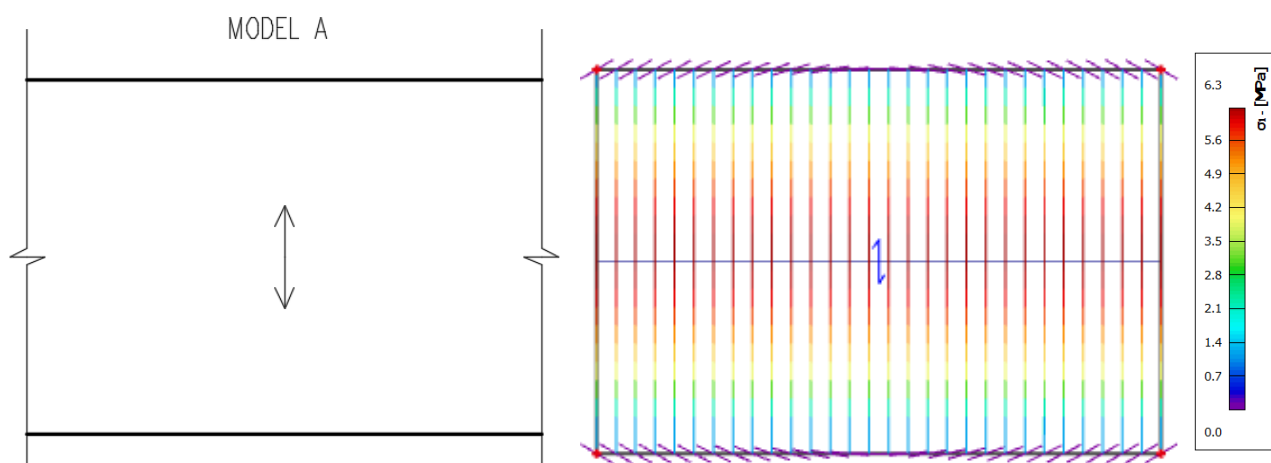


Obr. 2.2.2 – atypický otvor [9]

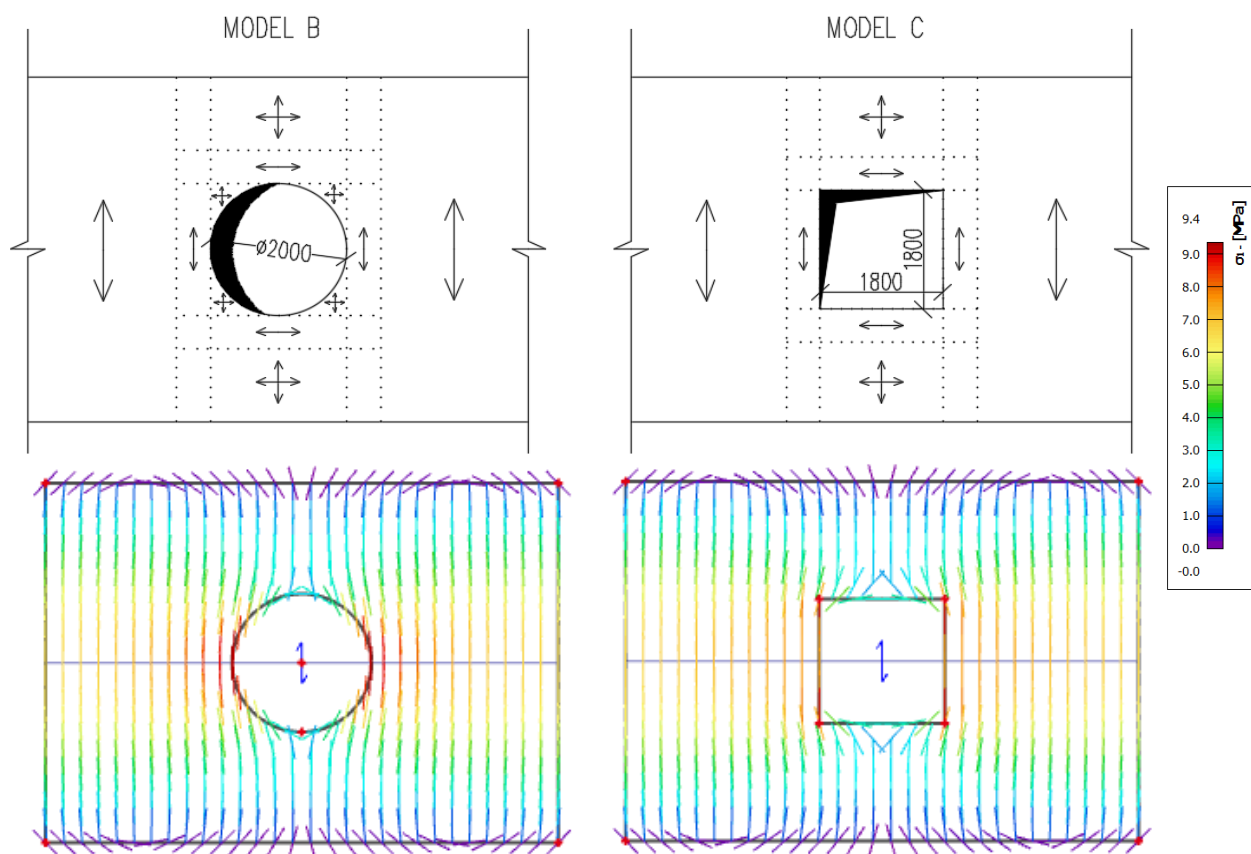
Vliv tvaru otvoru na rozložení napětí v desce

Jako základní model byla použita jednosměrně pnutá železobetonová stropní deska o délce 5200 mm uložená prostě bez zamezení zvedání rohů. Ve všech následujících modelech jsou použity otvory o různých tvarech. Všechny modely stropní desky mají stejné rozměry, jsou ze stejného typu betonu a oceli a mají stejné statické podepření. V modelu A nebyl pro porovnání vytvořen žádný otvor, aby bylo zcela zřejmé, jak moc velký vliv má otvor na konstrukci. Model B disponuje kruhovým otvorem o průměru 2000 mm, v modelu C je naopak čtvercový otvor o délce strany 1800 mm. Rozměr kruhového otvoru byl vybrán na základě plochy čtvercového otvoru, aby veškeré výsledky mezi Modelem B a C byly co nejvíce porovnatelné. V modelu D a E je vytvořen obdélníkový otvor o velikosti stran 1:2, resp. 1800 x 3600 mm, rozdíl v těchto variantách je v orientaci delší strany. V modelu D je delší strana orientovaná ve směru pnutí a v modelu E je

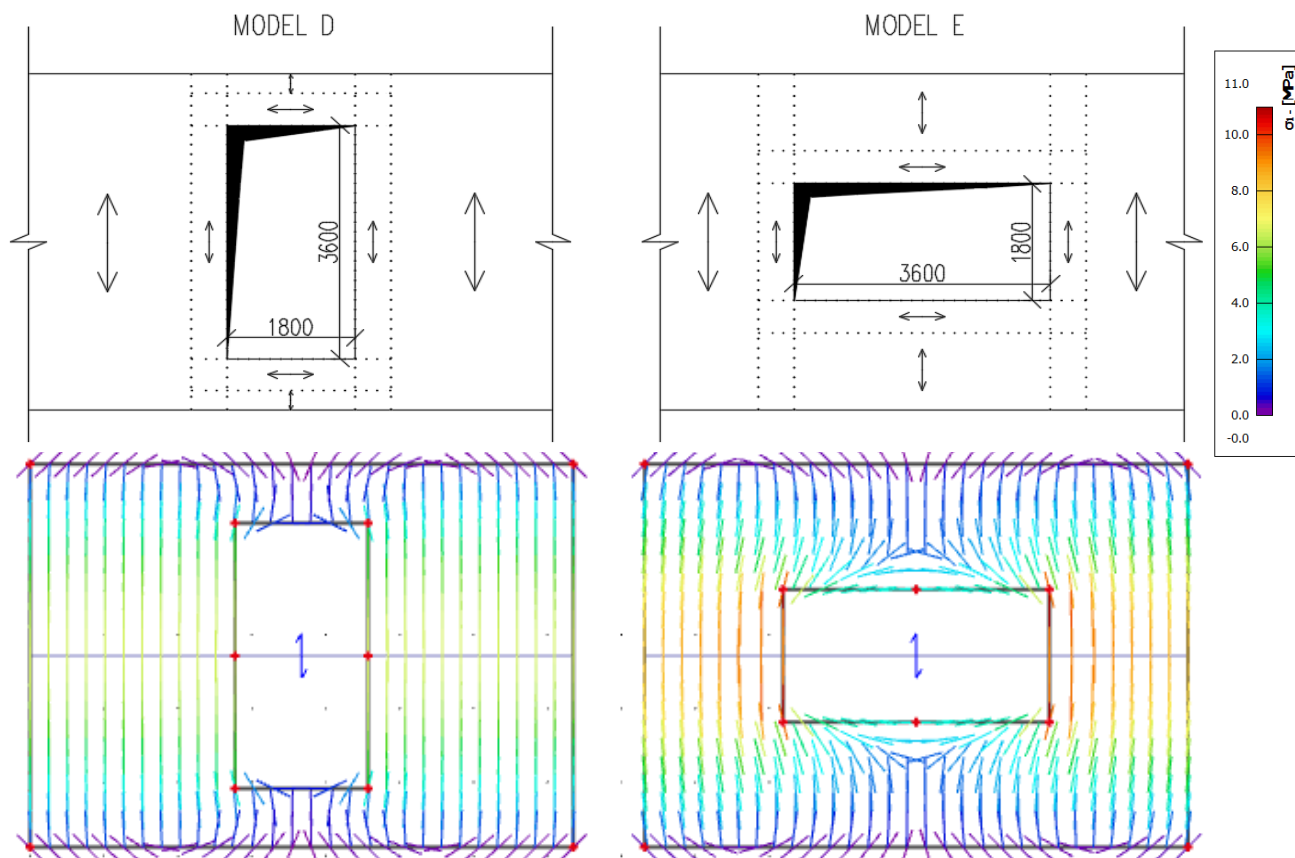
orientace otočena o 90°. Ve všech modelech je otvor umístěn uprostřed. Na desky působí celoplošně vlastní tíha, skladba podlahy a užité zatížení kategorie B (kancelářské plochy).



Obr. 2.2.3 – schéma modelu a teoretické roznášení zatížení kolem otvoru VS trajektorie hlavních napětí z programu SCIA Engineer 20.0



Obr. 2.2.4 – schémata modelů a teoretické roznášení zatížení kolem otvoru VS trajektorie hlavních napětí z programu SCIA Engineer 20.0



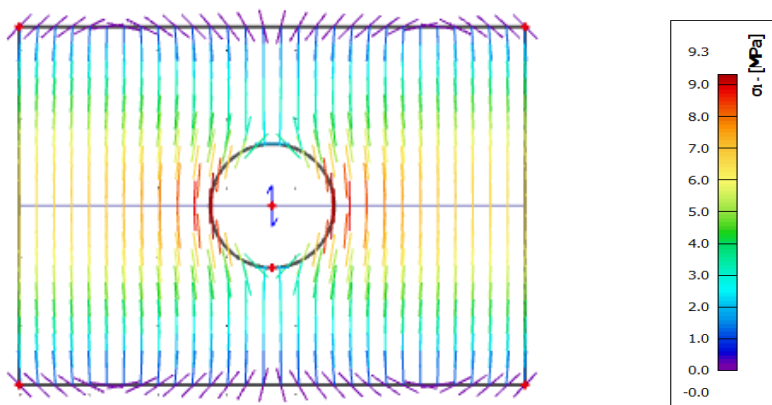
Obr. 2.2.5 – schémata modelů a teoretické roznášení zatížení kolem otvoru VS trajektorie hlavních napětí z programu SCIA Engineer 20.0

Na schématech B-E je znázorněno, jak si lze představit teoretické roznesení zatížení kolem otvorů. Šířka pruhů na kterou je později dimenzována výztuž je $2h-3h$ (h - výška desky). [3]

Závěr

Teoretický předpoklad se tolik neliší od výstupu softwaru. Hlavní důvod odchylky je zjednodušení pro ruční výpočet. (Obr. 2.2.4 a 2.2.5 – schémata modelů)

Z grafického výstupu programu SCIA Engineer 20.0 je zřejmé, že kruhový prostup je z hlediska přenosu tahových napětí nejpříznivější. Avšak oproti čtvercovému otvoru vytváří přibližně o 10% větší tahové napětí. Tento výsledek může být zkreslen z rozdílné šířky prostupu (kruhový 2000 mm čtvercový 1800 mm), proto volím ještě poslední model, kde kruhový otvor má totožnou šířku s otvorem čtvercovým a to 1800 mm.



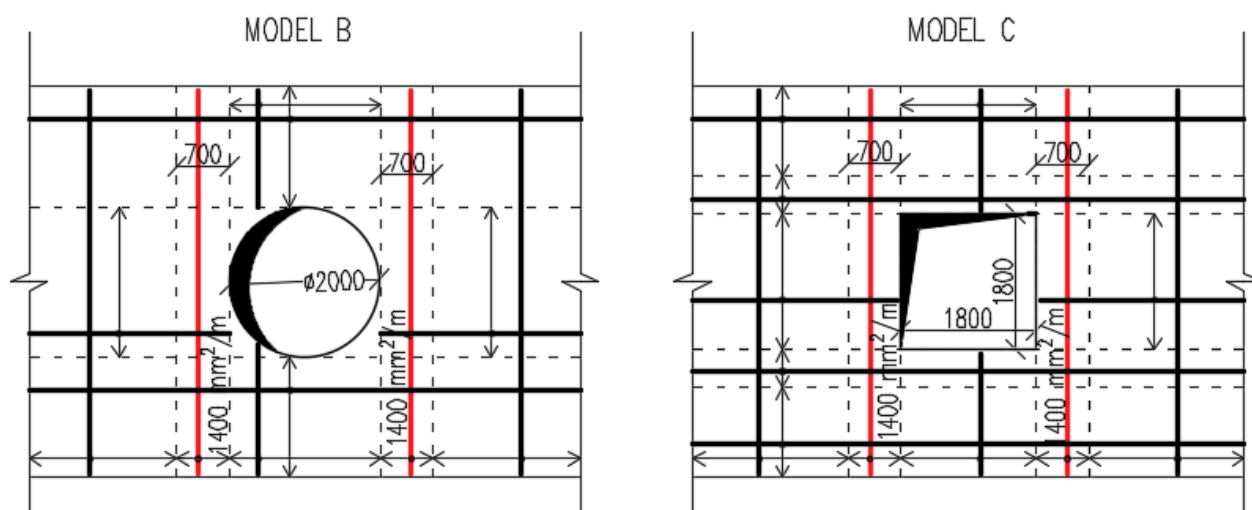
Obr. 2.2.6 – trajektorie hlavních napětí z programu SCIA Engineer 20.0 – kruhový otvor o průměru 1800 mm.

Z obrázku 2.2.6 je vidět, že velikost tahového napětí se tolik neliší od modelu s průměrem otvoru 2000 mm. Je tedy potvrzeno, že v oblasti kruhového otvoru skutečně vznikají větší napětí. Tento rozdíl vzniká na základě absence rohů v otvoru, resp. u čtvercového otvoru se láme napětí v rozích, ale u kruhového otvoru v polovině rozpětí desky, kde je největší ohybový moment. V případě čtvercového otvoru nám vzniká největší tahové napětí právě v oblasti rohů.

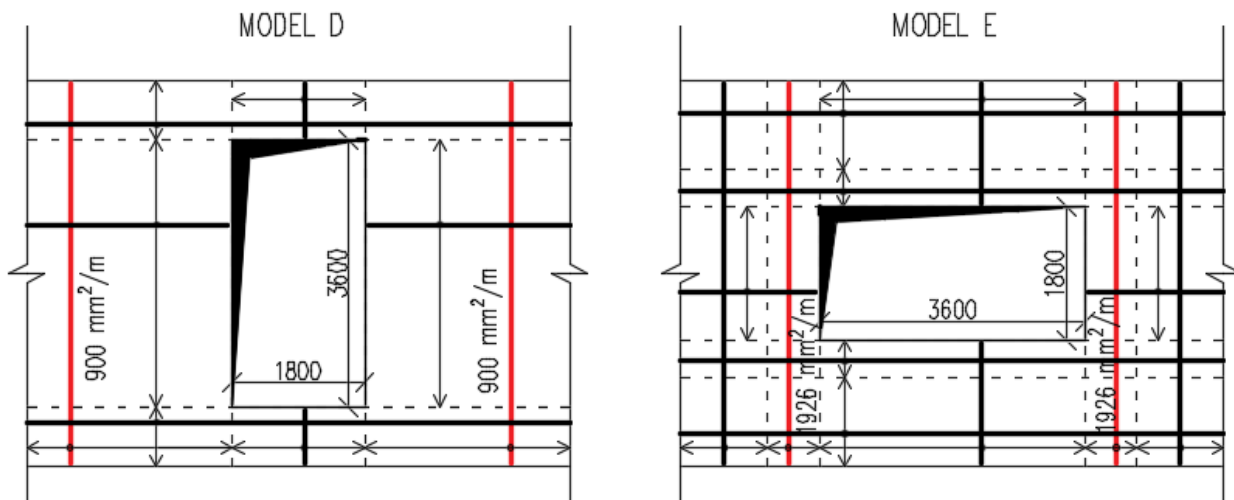
Z modelů D a E je zřejmé, že je vhodnější orientovat nejdelší stranu otvoru ve směru pnutí desky, vyhneme se pak menšímu přerušování hlavní nosné výztuže a tím bude návrh efektivnější.

Pozn.: vše je lépe znázorněno za pomoci izoploch v příloze 1

SKICA SPODNÍ VÝZTUŽE [mm^2/m]



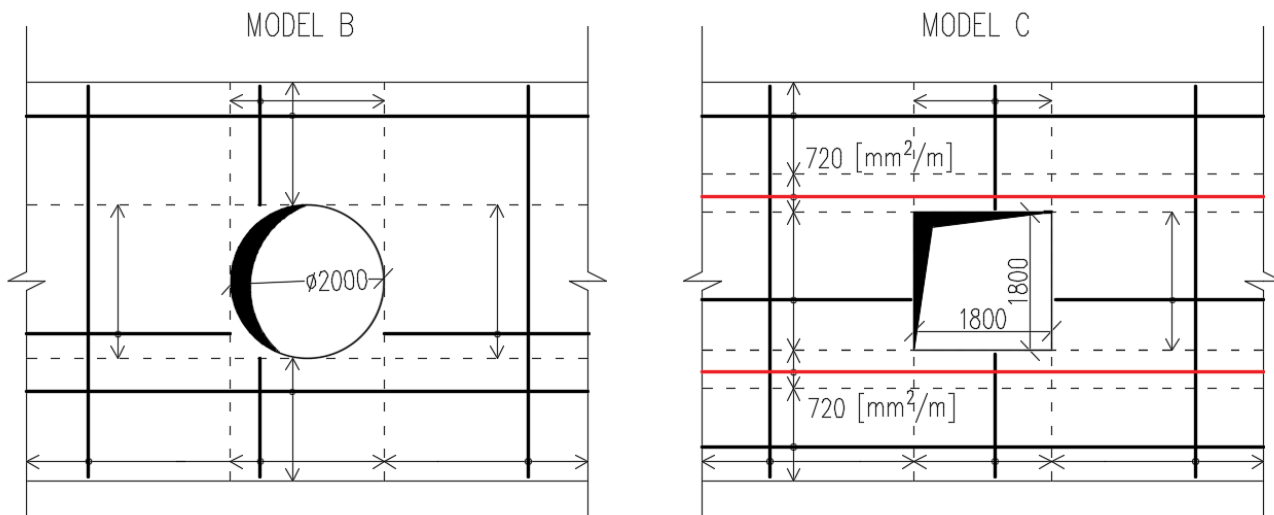
Obr. 2.2.6 – skica spodní výztuže – model B a C – červeně vyznačená výztuž pro největší zatížení



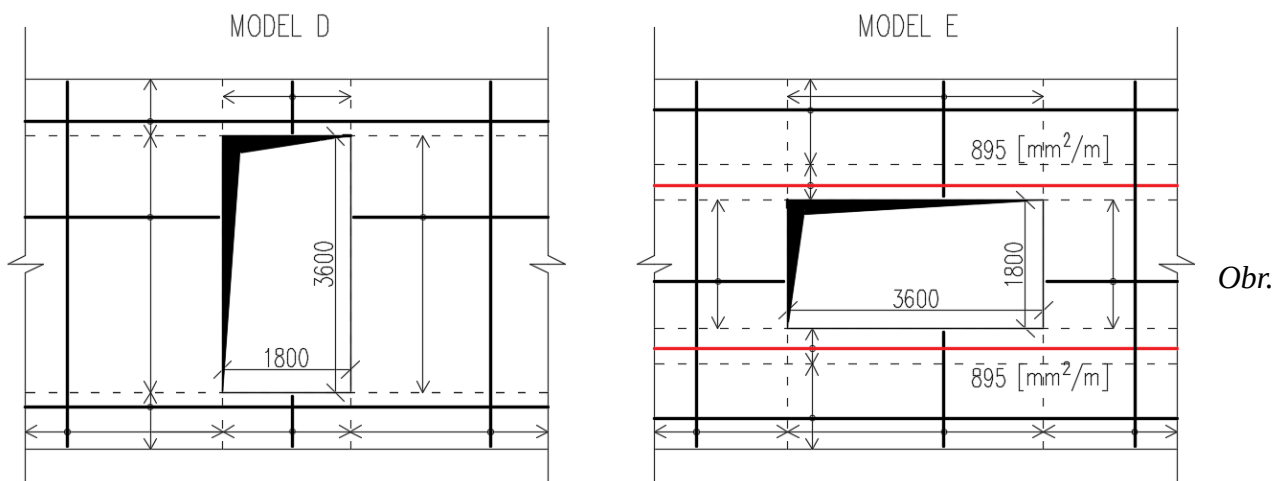
Obr. 2.2.7 – skica spodní výztuže – model D a E – červeně vyznačená výztuž pro největší zatížení

Skica spodní výztuže vypracována dle výstupu SCIA Engineer 20.0 – funkce Beton – návrh výztuže. Viz. příloha 2 a příloha 3

SKICA HORNÍ VÝZTUŽE [mm²/m]



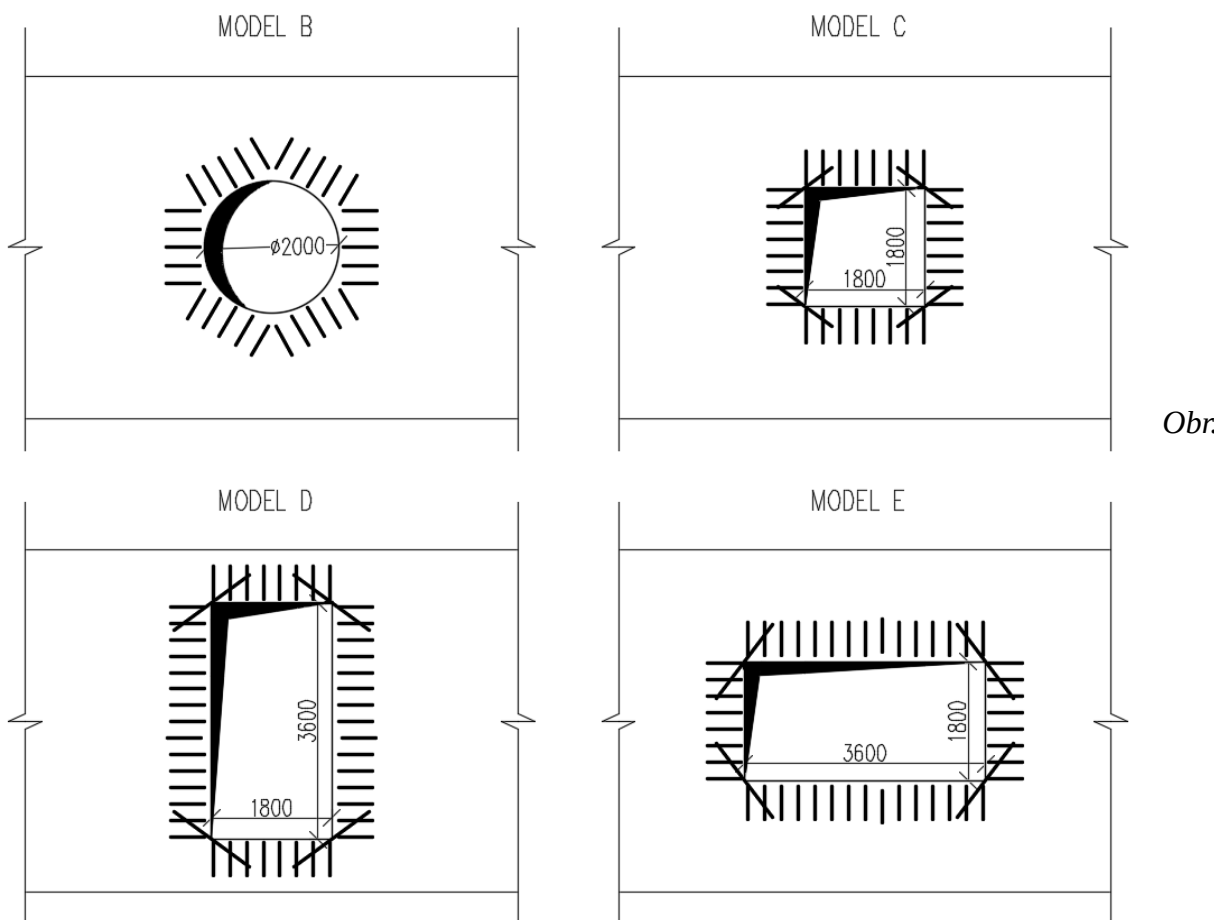
Obr. 2.2.8 – skica horní výztuže – model B a C – červeně vyznačená výztuž pro největší zatížení



2.2.9 – skica horní výztuže – model D a E – červeně vyznačená výztuž pro největší zatížení

Skica horní výztuže vypracována dle výstupu SCIA Engineer 20.0 – funkce Beton – návrh výztuže. Viz. Příloha 4.

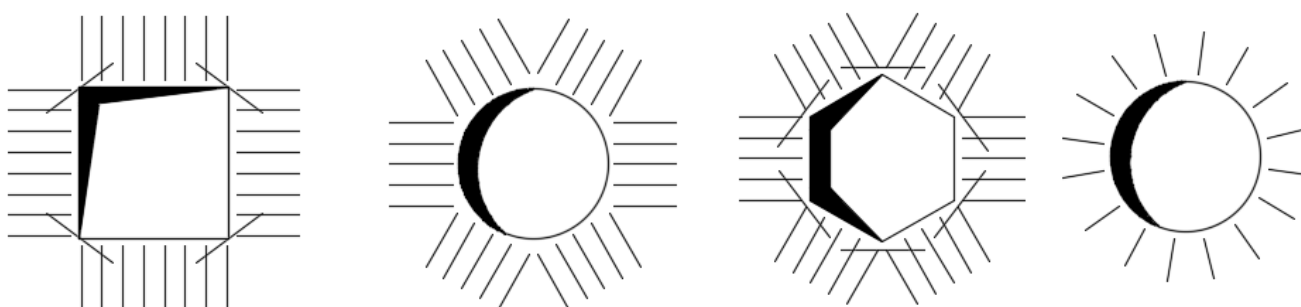
SKICA LEMOVACÍ VÝZTUŽE



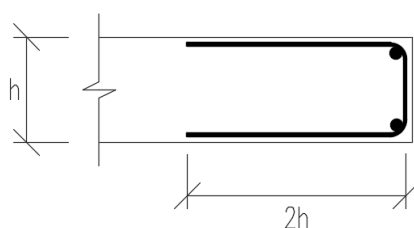
2.2.10 – skica lemovací výztuže

Uspořádání výztuže kolem otvorů

Uspořádání výztuže závisí na tvaru prostupu a směru pnutí desky. Obecně lze říci, že lemování je v kolmém směru, jako je hrana otvoru. V případě kruhových, nebo obloukových otvorů se výztuž umísťuje radiálně, tj. ve směru poloměru, nebo po krátkých úsecích rovnoběžně. (viz. Obr. 2.2.11) Pro vyztužení okolo otvorů se používá lemovací výztuž, ta má minimálně stejný průměr, jako výztuž navržená ve směru pnutí. Tvar lemovací výztuže jsou převážně „účka“ (viz. Obr. 2.2.12) v případě, kdy je prostup umístěn blízkosti hrany desky se používají třmínky. V případě velkých otvorů se do rohů otvorů přidává diagonální výztuž.



Obr. 2.2.11 - Příklad uspořádání lemovací výztuže okolo otvoru



Obr. 2.2.12 - typická lemovací výztuž

2.3 Dodatečná realizace otvorů

S dodatečně realizovanými otvory v již zhotovených stropních konstrukcích se můžeme setkat při rekonstrukcích, při změně poloh otvorů v průběhu realizace konstrukce (např. změna vedení technických zařízení) a v neposlední řadě při opomenutí v dokumentaci.

V první řadě, při dodatečném navrhování otvoru, je potřeba si opatřit projektovou dokumentaci, podle které byl objekt zhotoven, včetně případných změn, které byly v průběhu stavby provedeny. V případě rekonstrukce staršího objektu, může být tato část složitější, jelikož starší dokumentace nemusí být úplně vypovídající, v horším případě nebude dostupná vůbec.

Při jakémkoli dodatečně realizovaném otvoru ve stropních konstrukcích, nesmí chybět statický posudek, jelikož může nastat situace, kdy malý otvor může narušit statickou funkci konstrukce. U předpjatých panelů je zcela běžné, že se daný otvor realizuje až na pracovišti. (jádrové vrtání – obr. 2.3.1), avšak i takový malý otvor může způsobit přerušení předpínacího lana a tím rapidně snížit únosnost daného panelu. V tomto případě je nutné zjistit přesné označení panelu a podívat se do dokumentace od výrobce.



Obr. 2.3.1- Jádrové vrtání do předpjatého panelu. [10]

Při platném návrhu realizace dodatečného otvoru statickem se zpravidla dočteme o dalším speciálním opatření, které má redukovat vliv prostupu na danou konstrukci. Například: vyztužení FRM lamelami, uhlíkovými tyčemi apod. (viz. dále)

Při samotné realizaci musíme zkontrolovat, zda-li se náš předpoklad o nadimenzování konstrukce neliší s realitou, resp. výztuž která byla přerušena je ta, kterou jsme předpokládali.

Pakliže se reálný stav bude lišit s naším předpokladem, je zapotřebí celý statický posudek přepočítat s reálným stavem a případně ho dále doplnit.

Uhlíkové lamely CFK (Carbon-Faser Kunststoff)

Jedná se o kombinaci mnoha tenkých uhlíkových vláken uložených podélně v matrici z epoxidové pryskyřice. Tyto lamely jsou na konstrukci lepeny pomocí speciálních epoxidových lepidel. Velmi důležitou roli při správné funkci lamel hraje správná příprava podloží. Je zapotřebí docílit dokonale čistého, odmaštěného a rovného povrchu, jinak nemusí lamely správně přilnout ke konstrukci a nebudou plnit svoji statickou funkci. Ve směru uhlíkatých vláken mají velmi vysokou pevnost a tuhost při nízké objemové hmotnosti. Pevnost v příčném směru (kolmo k vláknům) je mizivá, jelikož jsou lamely konstruovány jednosměrně – v podélném směru namáhání. [7] [11] [12] [13]



Obr. 2.3.2 - Ukázka zesílení stropní desky kolem prostupu s využitím uhlíkových lamel [13]

Uhlíkové pruty (tyče)

CFRP tyče (Carbon Fiber Reinforced Polymer) jsou vyrobeny z tlačných uhlíkatých vláken s kruhovým průřezem. Na rozdíl od lamel, se uhlíkové tyče vlepují do předem připravených drážek. Vlastnosti jsou totožné jako u karbonových lamel. (viz obr. 2.3.5 vlevo) [13]

Uhlíkové tkaniny

Uhlíkové tkaniny jsou posledním typem karbonového kompozitu, který se používá na zesílení konstrukcí. Tkanina se převážně používá na zesílení přetížených sloupů, kdy se celý prvek obmotá a tím se zvýší jeho únosnost. Stejně jako u lamel, je potřeba lepidlo na bázi pryskyřice a dokonale

čistý odmaštěný povrch. V případě menších prostupů se dá tkanina také použít, ostatně je to lamela jen s větší šířkou, avšak většinou je ekonomicky výhodnější použít více lamel s rozmístěním jako u navržené výztuže, než tkaninu. [7] [11] [12] [13]



Obr. 2.3.3 – Ukázka zesílení stropní desky kolem prostupu uhlíkovou tkaninou [14]



Obr. 2.3.4 – Ukázka zesílení sloupu uhlíkovou tkaninou []

Obecně jsou uhlíkové kompozity často používány, zejména kvůli charakteristické pevnosti v tahu ($2500 - 2900 \text{ Mpa}$), která umožňuje značně zvýšit únosnost konstrukce, avšak tolik nepřispívají k snížení průhybu. Další výhodou pro kterou jsou často používány, je zachování světlé výšky konstrukce, snadné úpravy povrchu, nízká objemová hmotnost (1600 kg/m^3), dobrá odolnost proti únavě materiálu, tvarová nezávislost a v neposlední řadě odolnost vůči korozi. Požární odolnost závisí na odolnosti lepidla (epoxidové pryskyřice), obecně lze tuto vlastnost zlepšit ochrannými nátěry, obklad apod.

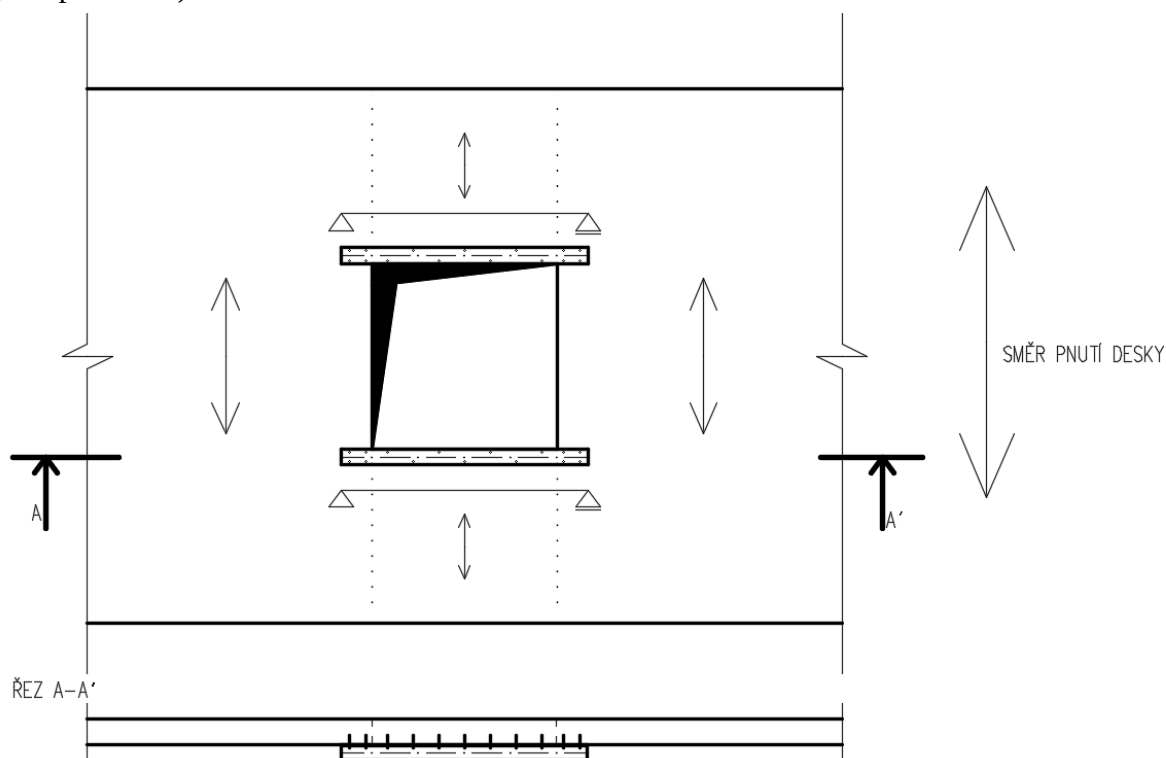
[13]



Obr. 2.3.5 - Příklad zesilujících prvků od firmy SANAX[15]

Válcované ocelové profily

Dalším způsobem, jak zesílit oblast okolo prostupu, je kotvení válcovaných ocelových profilů (UPE, HEA, HEB,...). Kotvení bude provedeno za pomoci chemické kotvy a kotvicích šroubů do betonu. Dalším kritériem pro realizaci, je zajištění protipožární ochrany ocelového prvku. Ocelový profil pak funguje jako podpůrný nosník. Nevýhodou tohoto řešení je snížení světlé výšky místnosti (skrytí v podhledu).



Obr. 2.3.6 - Schéma možného vyztužení HEB profilem

Vnější ocelová výztuž

Stropní konstrukce může být také dodatečně vyztužena ocelovými pásky, jedná se o podobný systém vyztužení, jakož tomu je u karbonových lamel. Pásky mohou být na sobě vrstveny, mohou se svařet. Ke konstrukci jsou buď lepeny, nebo mechanicky kotveny. Mezi hlavní přednosti ocelové pásoviny patří kotvení a svařitelnost mezi pásky. Nevýhody jsou oproti karbonovým lamelám zcela jasné: nižší pevnost v tahu, větší objemová hmotnost, riziko koroze.

Dodatečné nadbetonování vrstvy

Nadbetonování vrstvy betonu se nejčastěji realizuje v tloušťce od 30mm do 80 mm. Vyztužení takovéto vrstvy se provádí s vázanou výztuží malých rozměrů, nebo svařovanou sítí. Hlavním

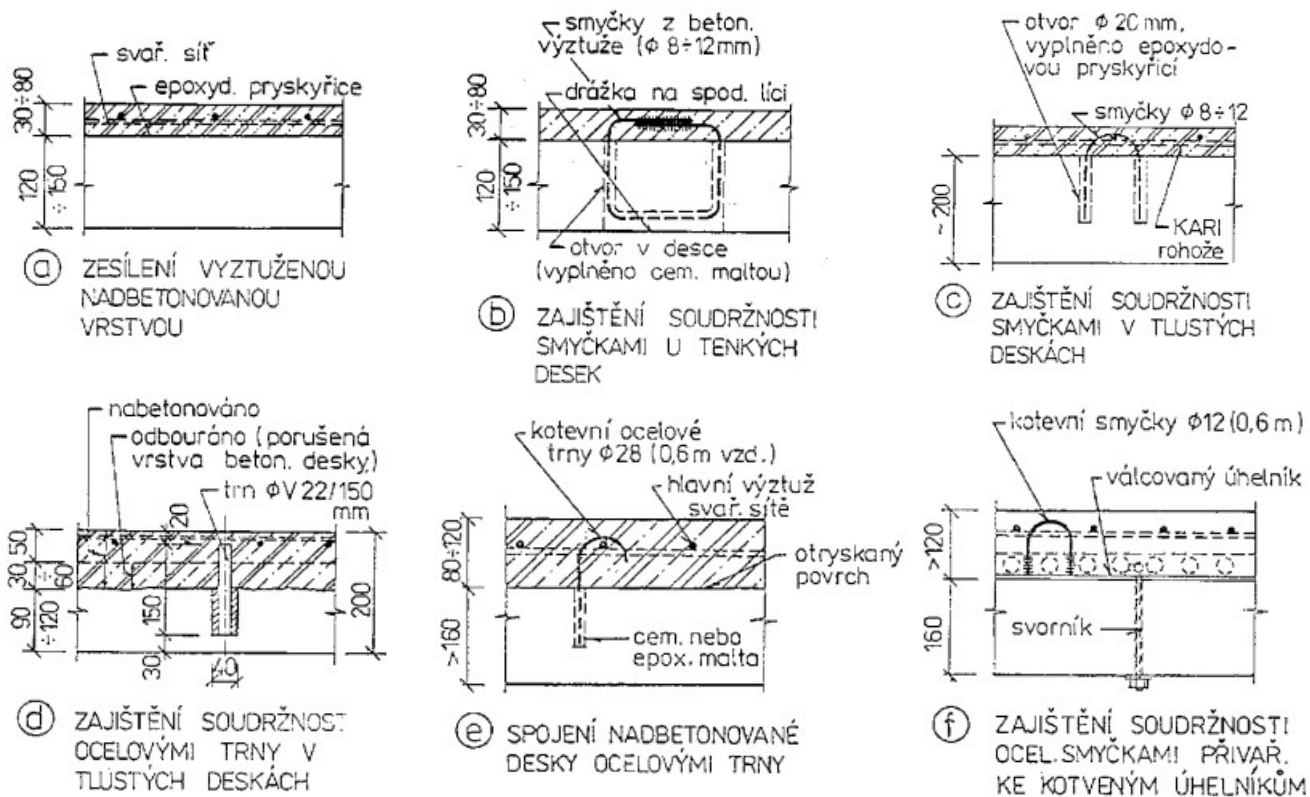
kritériem této technologie, je dokonalé spřažení nové vrstvy se stávající. Důležité je povrch řádně očistit, odmastit a zdrsnit. V případě potřeby se dá spřažení zdokonalit spojovací vrstvou z epoxidové pryskyřice, která se nanáší bezprostředně těsně před ukládáním zesilující vrstvy betonu. Vrstva z epoxidové pryskyřice se nanáší stěrkou, nebo válečkem na jeden záběr. (1,8-2,5 kg/m²)

Další možností, jak spojit nadbetonávku se stávající konstrukcí lze za pomoci smykových trnů, smyček, nebo jiných kotevních prvků do stávající vrstvy. (Obr. 2.3.7) Prvky se kotví do předem vyvrtaných otvorů za přítomnosti epoxidového lepidla.

Nezbytným kritériem pro správnou realizaci je nutné nekládat výztuž přímo na zesilovanou desku, minimální tloušťka betonu mezi stávající konstrukcí a výztuží musí být 10mm.

Při realizaci je dobré použít cement s vysokou počáteční pevností a jemné kamenivo ideálně s frakcí do 4mm. Dále potřeba stropní desku odlehčit hydraulickými zvedáky, kvůli následné aktivaci nadbetonávky, minimálně je potřeba dodatečné podepření. Jakmile beton (nadbetonávka) dosáhne minimálně 70% předepsané pevnosti je možné odstranit dočasné podepření.

Při zhotovení otvoru v této variantě se po podepření stropní desky vyřeže požadovaný průstup, který bude větší než je požadavek. Do nově vzniklého otvoru se zakotví lemovací výztuž, při spodním povrchu do stávající konstrukce při horním povrchu do nadbetonávky. [3]



Obr. 2.3.7 – příklady zesílení železobetonových desek [3]

2.4. Vliv polohy otvoru v panelu na návrh (maximalizace rozměrů otvoru)

Úvodní informace

Pro lepší znázornění vlivu polohy otvoru jsem si zvolil jako model prefa železobetonový panel, který je prostě uložen na průvlak. Panel o délce 5200 mm, typické šířce 1200 mm resp. 1190 mm a výšce 250 mm. Ve všech následujících modelech je použit tentýž rozměr kruhového otvoru o průměru 2/3 šířky panelu resp. 800 mm. Polohy otvoru od hrany panelu jsou následující: 2600 mm, 1733 mm, 1300 mm, 800 mm, 500 mm resp. maximální možný okraj při uložení panelu 100 mm.

Maximalizace velikosti otvoru bude provedena v nejvíce nevýhodných místech (u podpory a uprostřed panelu) a naopak v nejvýhodnějším místě. V těchto případech bude navržena i výztuž.

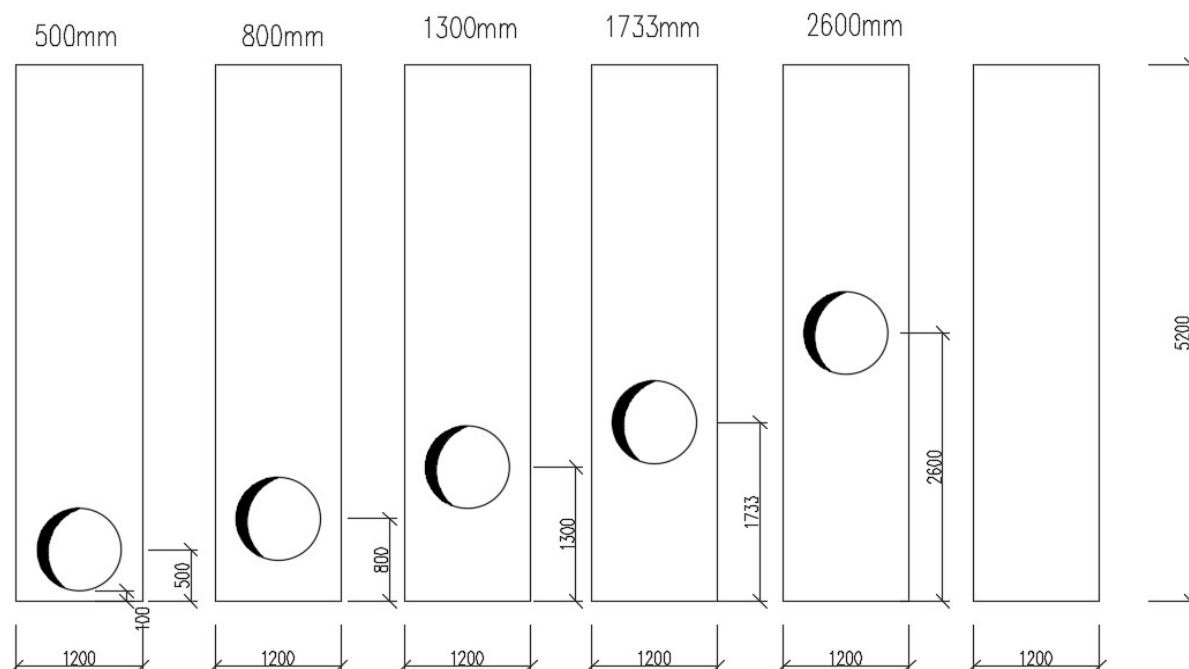
Panel bude z betonu C 45/55 a betonářské oceli B500B.

Uvažované zatížení: Vlastní tíha – generováno programem SCIA Engineer 20.0

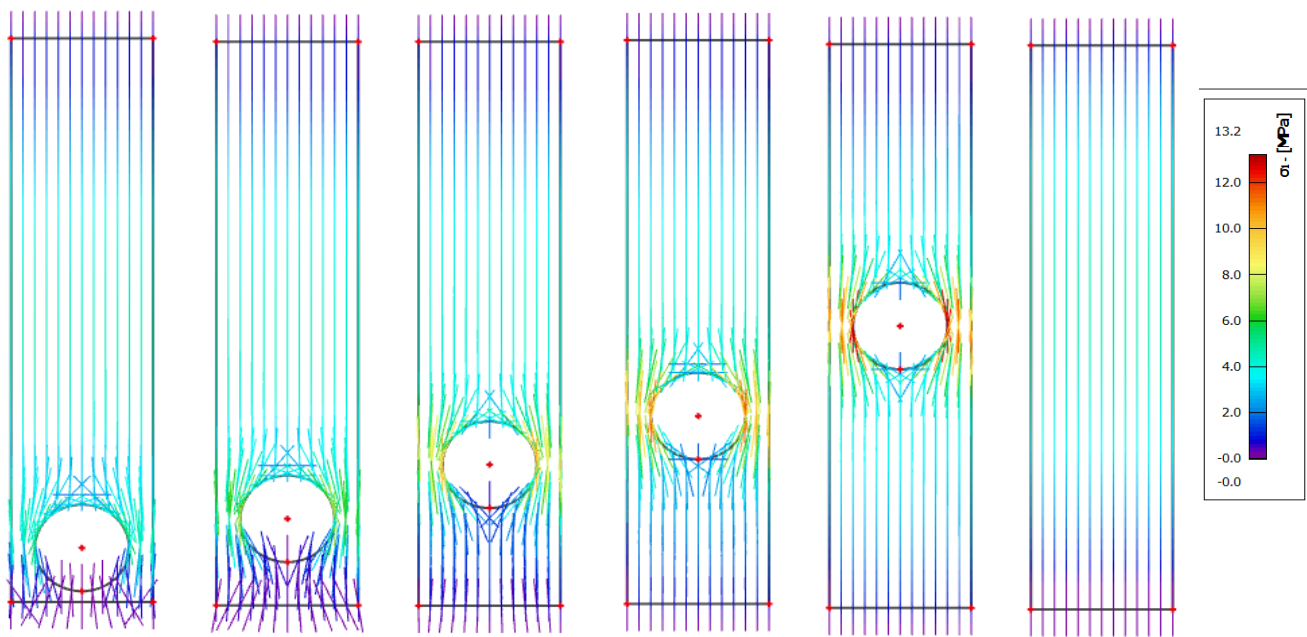
Skladba podlahy – 1,5 kN/m²

Užitné kategorie B (kancelářské plochy) – 2,5 kN/m²

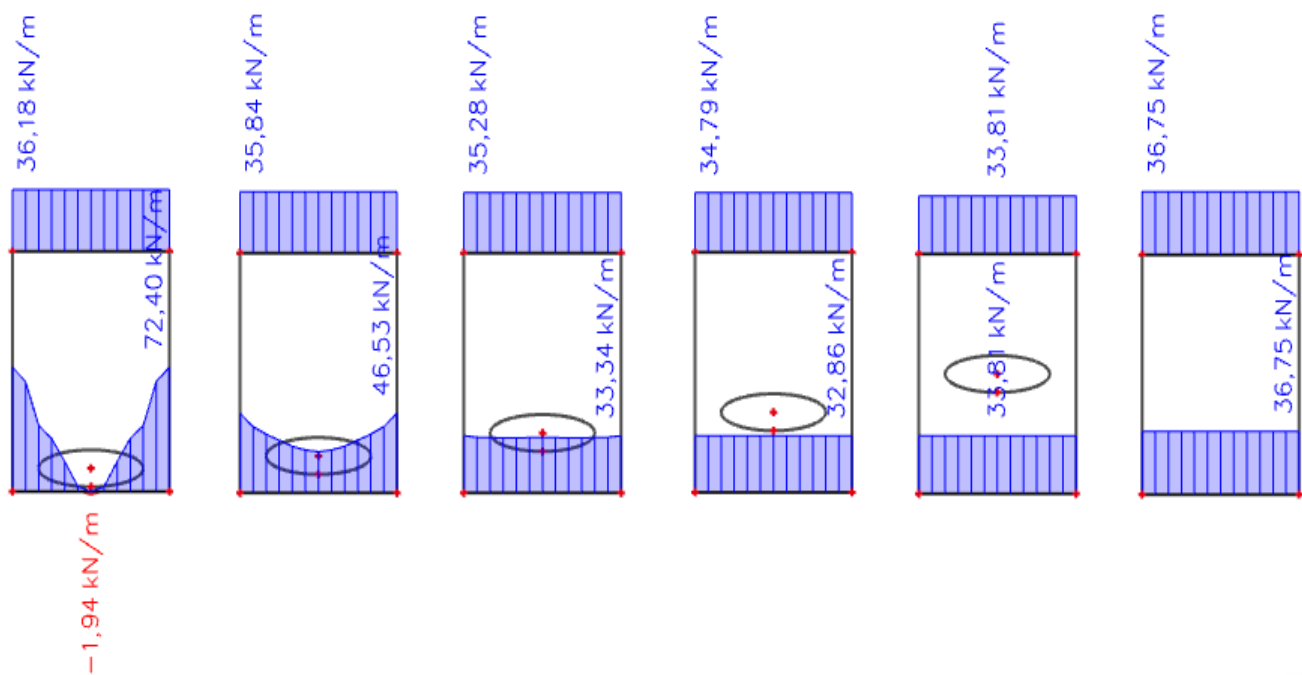
POLOHA STŘEDU KRUHOVÉHO OTVORU:



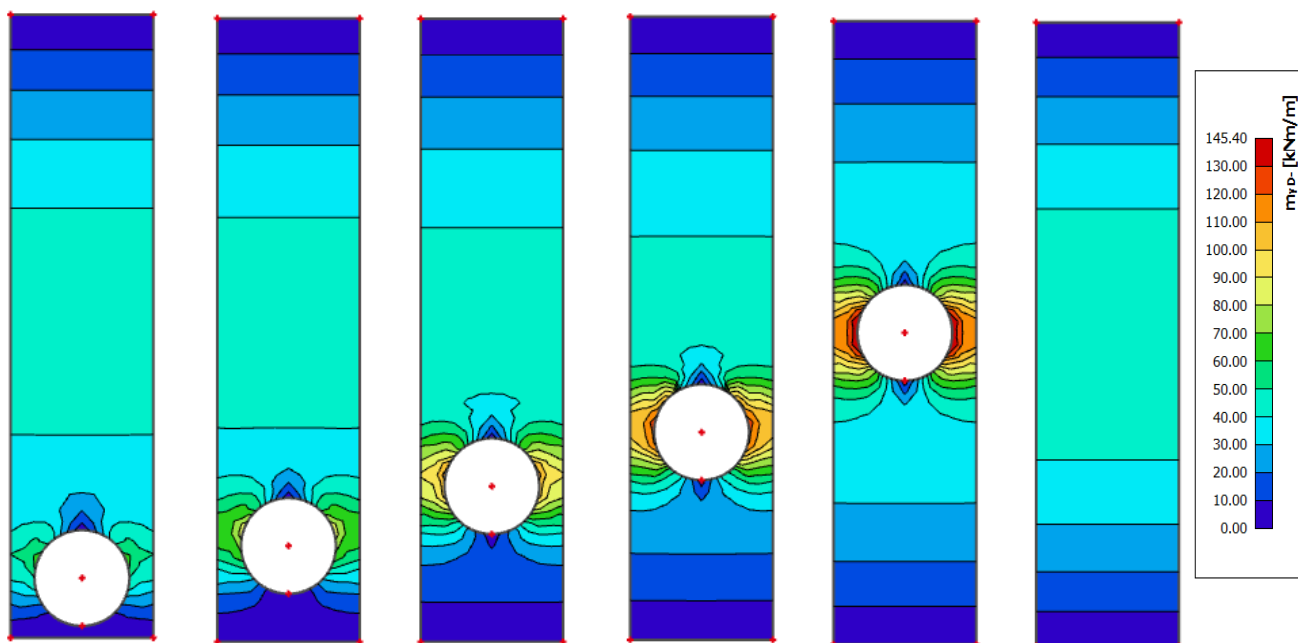
Obr. 2.4.1 – schémata modelů použité v programu SCIA Engineer 20.0



Obr. 2.4.2 – trajektorie hlavních tahových napětí - program SCIA Engineer 20.0



Obr. 2.4.3 – reakce podpory R_z - program SCIA Engineer 20.0



Obr.2.4.4 – návrhová veličina – m_{yD} - neboli: dimenzační moment ve směru y při spodních vláknech - program SCIA Engineer 20.0

Vyhodnocení dat – poloha otvoru

Výsledky z programu SCIA Engineer jasně ukazují, jak může poloha otvoru ovlivnit postup návrhu konstrukce. Při navrhování deskových stropních konstrukcí, neuvažujeme při návrhu smykové zatížení, jelikož je zcela zanedbatelné vůči ostatním silám a předpokládá se, že konstrukce tuto sílu vždy přenesou. Toto tvrzení přestává platit, pokud v blízkosti podpory umístíme otvor, jak je vidět z obrázku 2.4.3.

Druhým případem, kdy nám poloha otvoru značně zkomplikuje návrh, je poloha uprostřed konstrukce, zde je největší ohybový moment a největší průhyb, na který navrhujeme výztuž. Pokud v těchto místech umístíme otvor, který tuhost konstrukce značně sníží, vytvoří se zde skoro o 50% větší síly, než kdyby se otvor umístil do jedné čtvrtiny délky panelu.

Nejvýhodnějším umístěním otvoru je do $\frac{1}{4}$ délky, zde nám otvor nijak významně nezasahuje do návrhu, což se týče smykového zatížení a ohybový moment není tak extrémní.

Maximalizace velikosti otvoru

Okrajové podmínky:

- Předpokládaný profil výztuže: $\varnothing=16$ mm
- krycí vrstva: $c = 20$ mm
- účinná výška průřezu: $d = h - c - \varnothing/2 = 250 - 20 - 16/2 = 222$ mm
- $\alpha = 1$ beton do C45/55, $\alpha = 0,8$ beton nad C45/55
- poměrná výška tlačené oblasti pro beton nad C35/45 - $\xi_{\max}=0,35$
 → maximální možný moment ze vztahu poměrného ohybového momentu

$$\mu = \frac{M_{ED}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} \quad \text{- pro maximální výšku tlačené oblasti } \xi_{\max}=0,35 \text{ se poměrný ohybový}$$

moment $\mu=0,241$ → po upravení vzorečku $M_{ED} = \mu \cdot b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}$ →

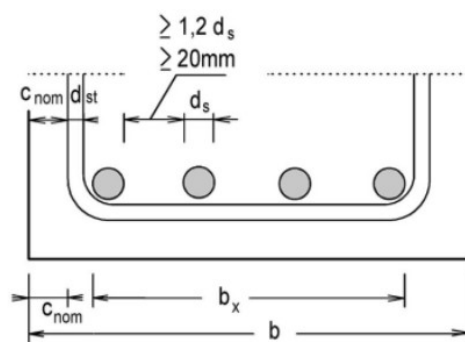
$$M_{ED} = 0,241 \cdot 1000 \cdot 222^2 \cdot 1 \cdot 34,6 = 410,95 \text{ kNm/m}$$

pozn.: Výška tlačené oblasti smí být maximálně 0,617 (61,7%) z účinné výšky průřezu. Tato hodnota platí, pokud je tlačená část ovinuta třmínky (nosníky). V případě, že průřez není ovinut třmínky se uvažuje maximální hodnota 0,45 (45%) z účinné výšky průřezu. Tato hodnota se ještě dále upravuje v závislosti na kvalitě betonu. Pro beton do C35/45 hodnota zůstává, pro beton nad C35/45 se hodnota snižuje na 0,35 (35%) z účinné výšky průřezu. [1]

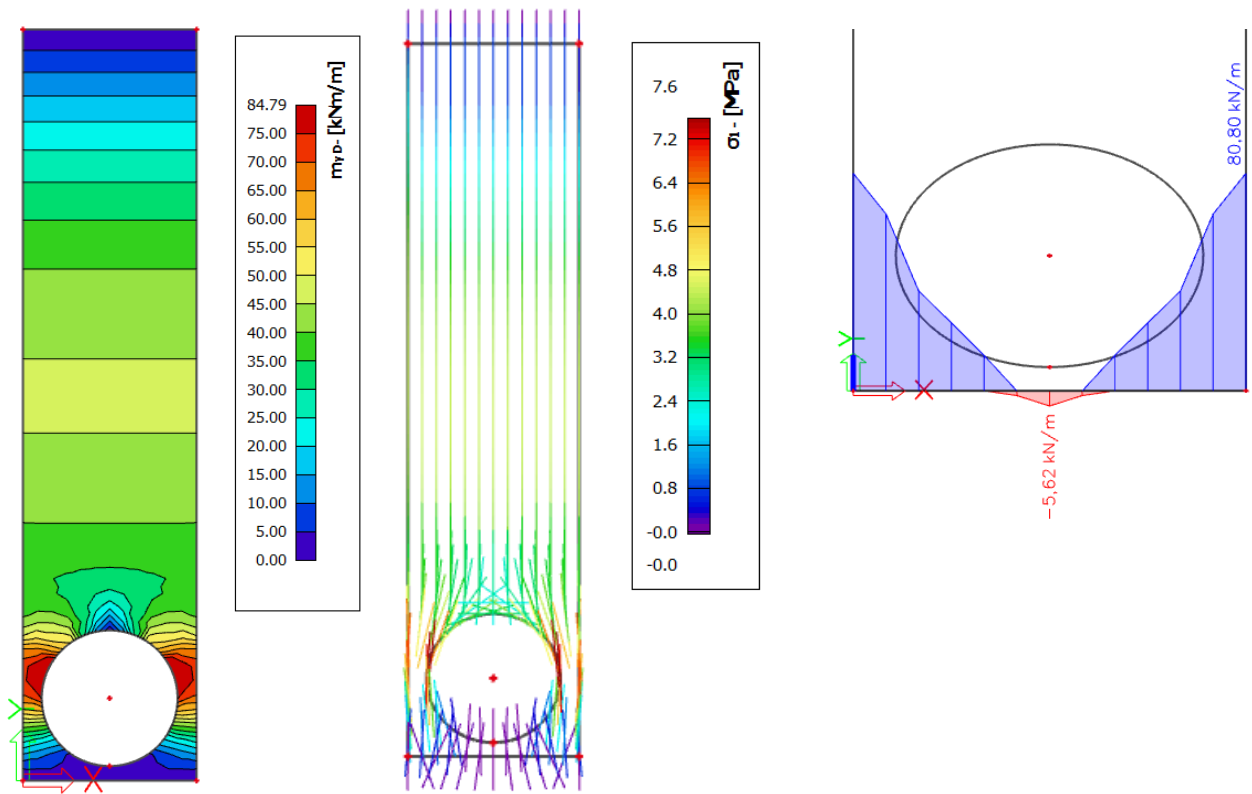
Konstrukční zásady:

(A_c = plocha průřezu, $\varnothing_{s,\max}$ – největší průměr výztuže, d_g – průměr největšího zrna v kamenivu)

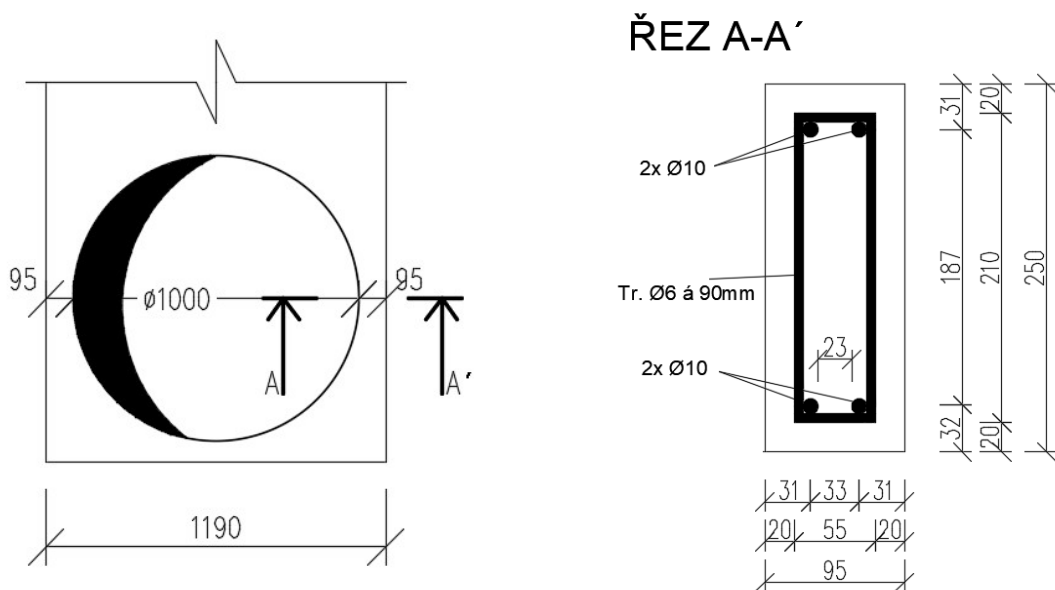
- minimální plocha výztuže ($A_{s,\min}$) a maximální plocha výztuže ($A_{s,\max}$)
 $A_{s,\min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 1000 \cdot 222 = 429 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,\min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 222 = 285 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,\max} = 0,4 \cdot A_c = 0,4 \cdot b \cdot D = 0,4 \cdot 1000 \cdot 250 = 100\,000 \text{ mm}^2/\text{m}$
- minimální světlá vzdálenost vložek
 $> (1,2 \cdot \varnothing_{s,\max}; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) \rightarrow (1,2 \cdot 16; 8 + 5; 20) \rightarrow (19,2; 13; 20) \rightarrow \mathbf{20 \text{ mm}}$



Obr. 2.4.5 – schéma světlé vzdálenosti vložek [1]

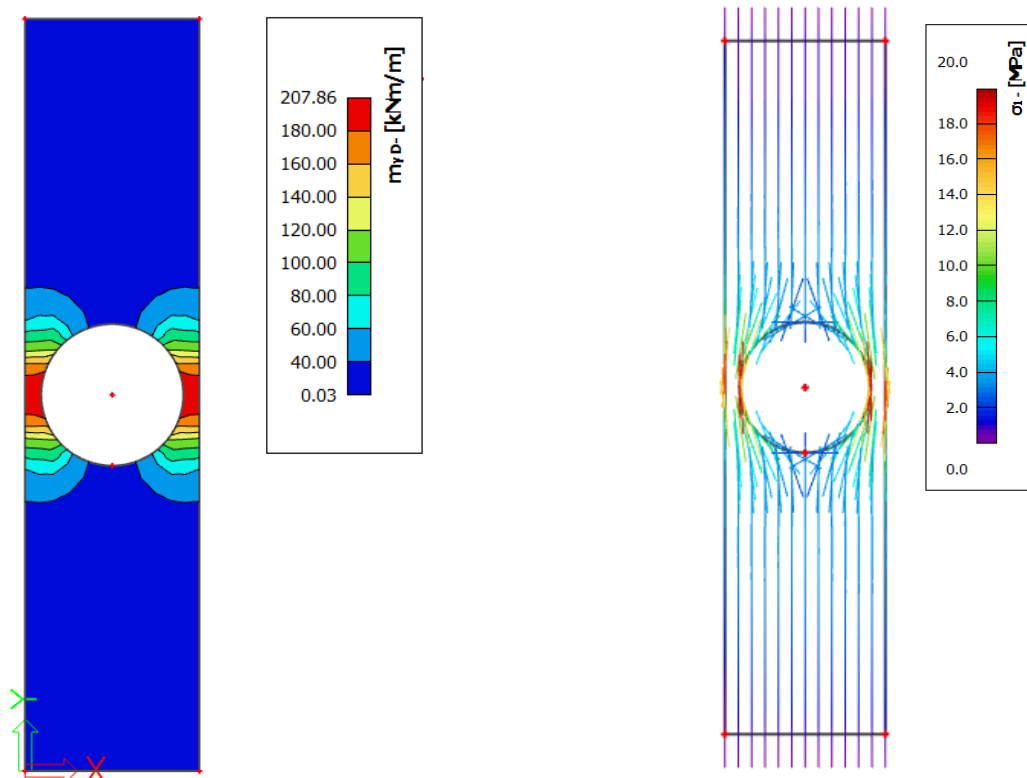


Obr. 2.4.6 - a, b, c– Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0 zleva:
 Dimenzační moment m_{yD} -, hlavní tahová napětí, reakce Z



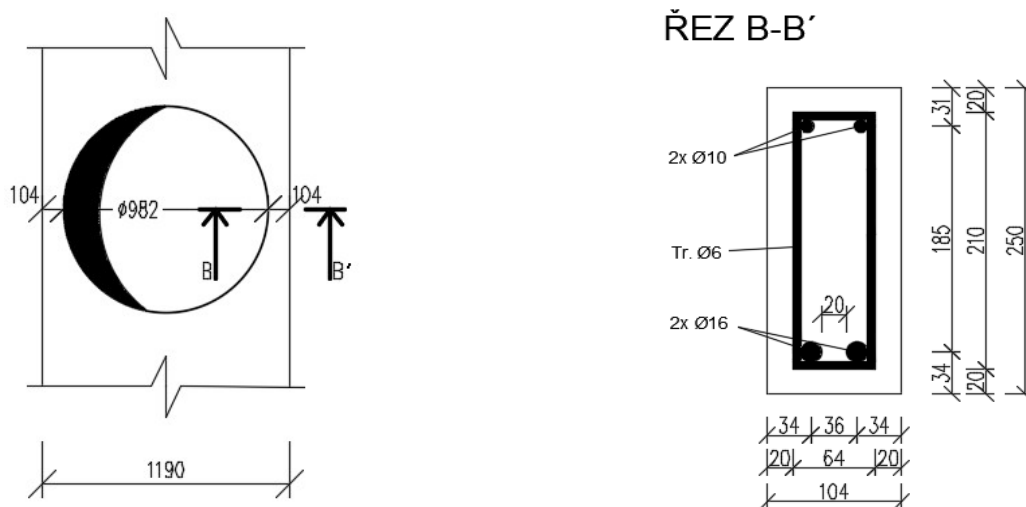
Obr. 2.4.7- a,b – Schéma řešení oblasti a navržená výztuž v řezu

Maximální možný otvor v oblasti podpory (100 mm od hrany panelu) je o průměru 1000 mm. Větší rozměr už z konstrukčních hledisek nebude možný. Navržená výztuž (obr.2.4.7b) je navržena na 82,9% únosnosti (viz příloha 5). Návrh nejvíce ovlivnila kritéria konstrukčních zásad - minimální světlá vzdálenost vložek. Dle ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2.



Obr. 2.4.8- a, b – Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0 zleva:

Dimenzační moment m_{yD} -, hlavní tahová napětí



Obr. 2.4.9 – a, b – Schéma řešení oblasti a navržená výztuž v řezu

Maximální možný otvor v druhém extrémním případě (uprostřed rozpětí panelu) je menší, jelikož ohybový moment působí na konstrukci horšími účinky. Navržená výztuž (obr.2.4.9b) je navržena na 68,6% únosnosti.

Závěr

Při návrhu maximálního otvoru v panelu je nejvíce rozhodující ohybový moment. Pokud bude požadavek investora o maximální kruhový otvor v panelu o typické šířce 1190 mm, je zcela zásadní navrhovat otvor v místech nejmenšího ohybového momentu, tzn. co nejbližší u podpory. Sice v těchto místech vzniká nejvyšší smyková síla, avšak pořád jsou zde neoptimálnější podmínky pro umístění maximálního kruhového otvoru.

Kritickým problémem těchto návrhů je precizní zpracování, jelikož se návrh dostává do minimálních distancí vložek a při špatném umístění, může hrozit nedokonalé probetonování mezi vložkami a tím i působení nosné výztuže!

3. Konstrukční řešení objektu

3.1. Referenční stavba

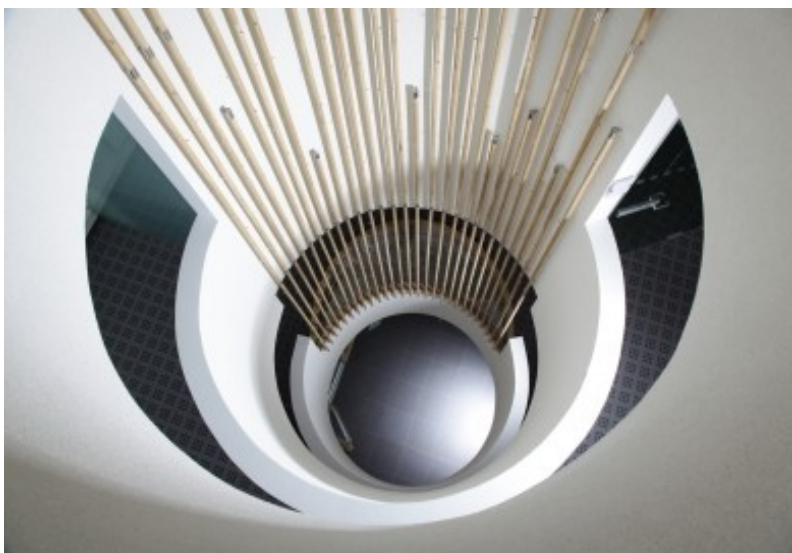
Popis objektu

Jedná se o čtyřpodlažní administrativní budovu v Ostravě, která slouží jako firemní sídlo. Konstrukční systém budovy je velmi jednoduchý a to v rastru 2x4 pole, to nám umožňuje flexibilní dispoziční řešení. Základní rastr je v každém podlaží totožný. Půdorysné rozměry konstrukce 23 x 15 m a výšce 15,4 m – kvádrový tvar (plochá střecha). Konstrukční výška podlaží je 3,6m. Nosný systém budovy je řešen z prefabrikovaných dílců a předpjatých panelů SPIROLL tloušťky 250 mm. Sloupy a průvlaky jsou k sobě spojeny tuhým spojem, tzv. Čapkův spoj. Stropní panely jsou prostě uloženy na cementové lóže přímo na průvlaky (obrácený „T“ průřez pro vnitřní průvlaky a obrácený „L“ průřez pro krajní průvlaky) + zálivková výztuž mezi panely. [16]



Obr. 3.1.1 – pohled na referenční stavbu INTOZA [15]

V zadaném objektu bude čtyřmi způsoby řešení stropní panel s otvorem o průměru 1800 mm. První řešením bude velký atypický panel o šířce 2400 mm resp. 2390 mm, druhé řešení jako 2 atypické panely o šířkách 1200 mm resp. 1190 mm, které jsou navzájem zrcadlově převrácené a navzájem vytvoří daný otvor. (Třetí a čtvrté řešení bude totožné jako u prvního a druhého jen s tím rozdílem, že panely budou spřaženy železobetonovým prstencem. (obr.3.1.5) Prstenec slouží jako zábradlí kolem otvoru. Nejedná se o prvek s pohledového betonu, tudíž následná montáž a spřažení nemusí dbát na ochranu povrchu před nevratným estetickým poškozením. Otvor prochází skrz celý objekt a tvoří architektonický prvek zajišťující prosvícení prostoru recepce. Prostor uzavírá stropní panel ve 4.NP, kde se nacházejí 3 světlíky. (Obr. 3.1.2 – 3.1.4) Jako podklad ke zpracování slouží architektonická studie. [15]

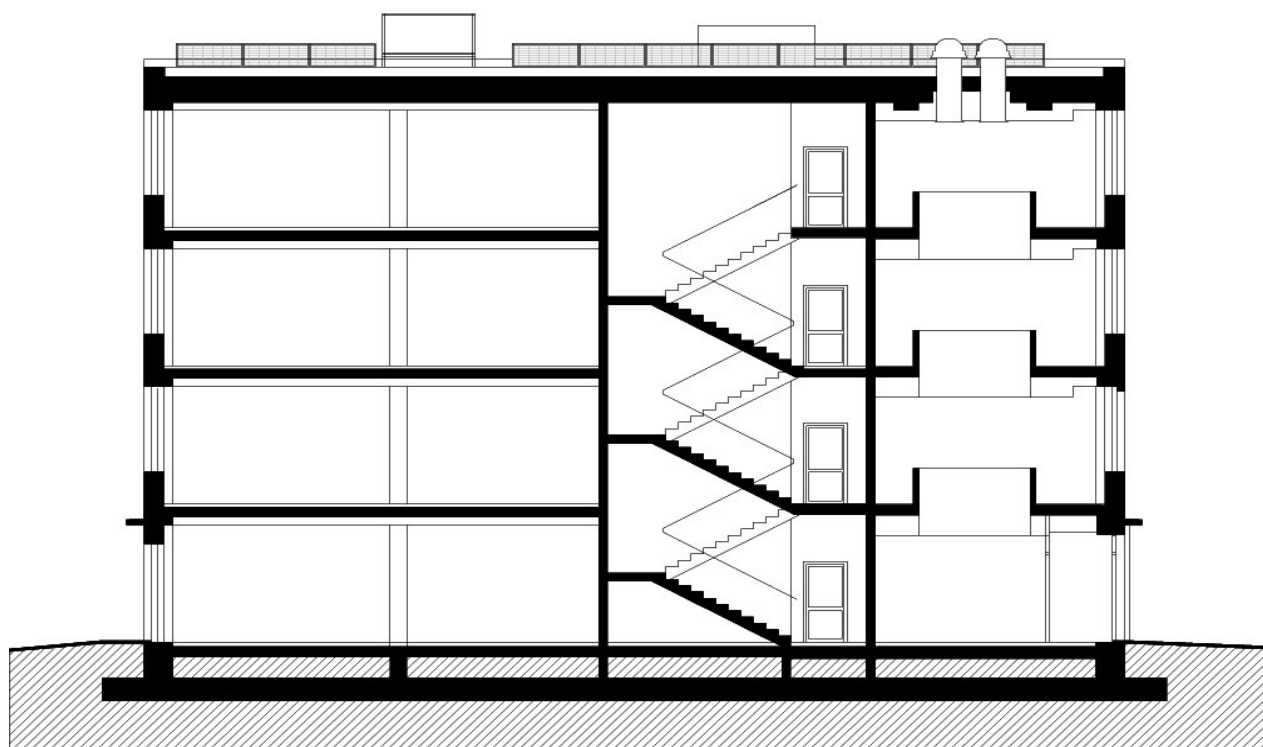


3.1.2 a 3.1.3 – kruhový otvor napříč podlažími[15]



Obr. 3.1.4. Skutečná realizace při výstavbě objektu [19]

ŘEZ PODÉLNÝ



Obr. 3.1.5 – podélný řez celou stavbou [15]

Okrajové podmínky:

Panel bude z betonu C 45/55 a betonářské oceli B500B.

Uvažované zatížení: Vlastní tíha – generováno programem SCIA Engineer 20.0

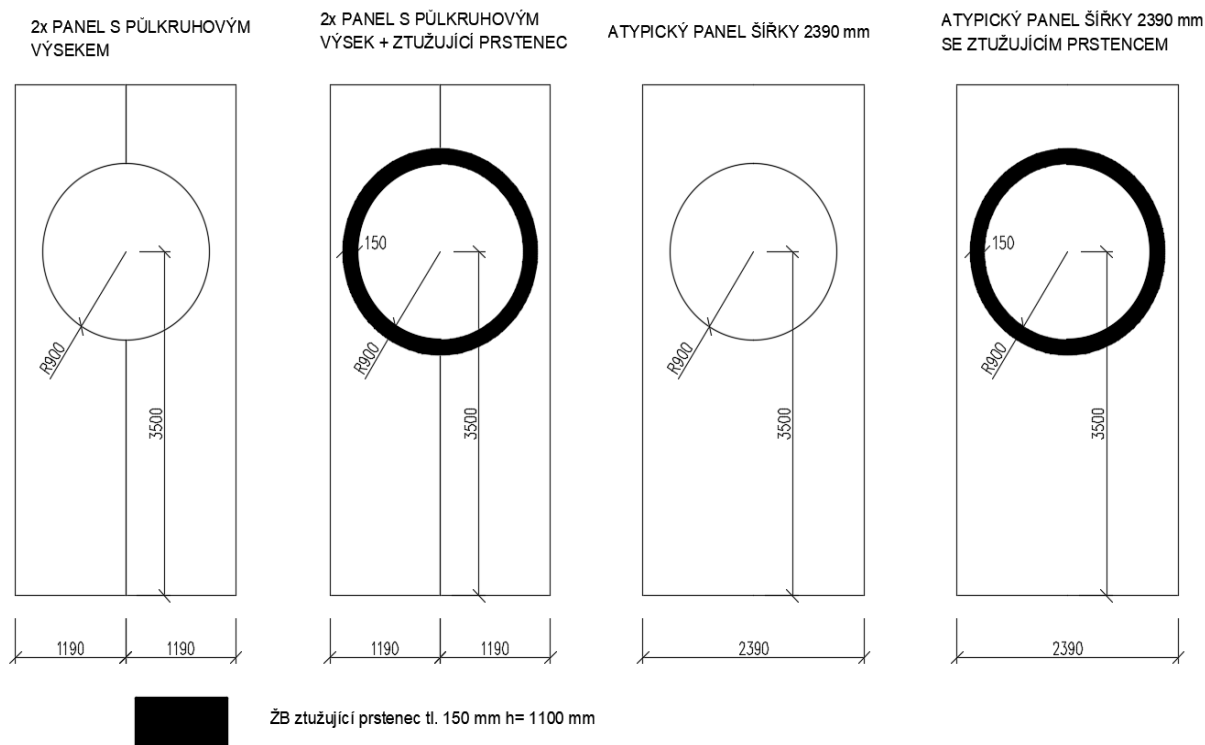
Skladba podlahy – $1,5 \text{ kN/m}^2$

Užitné kategorie B (kancelářské plochy) – $2,5 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací kombinace:

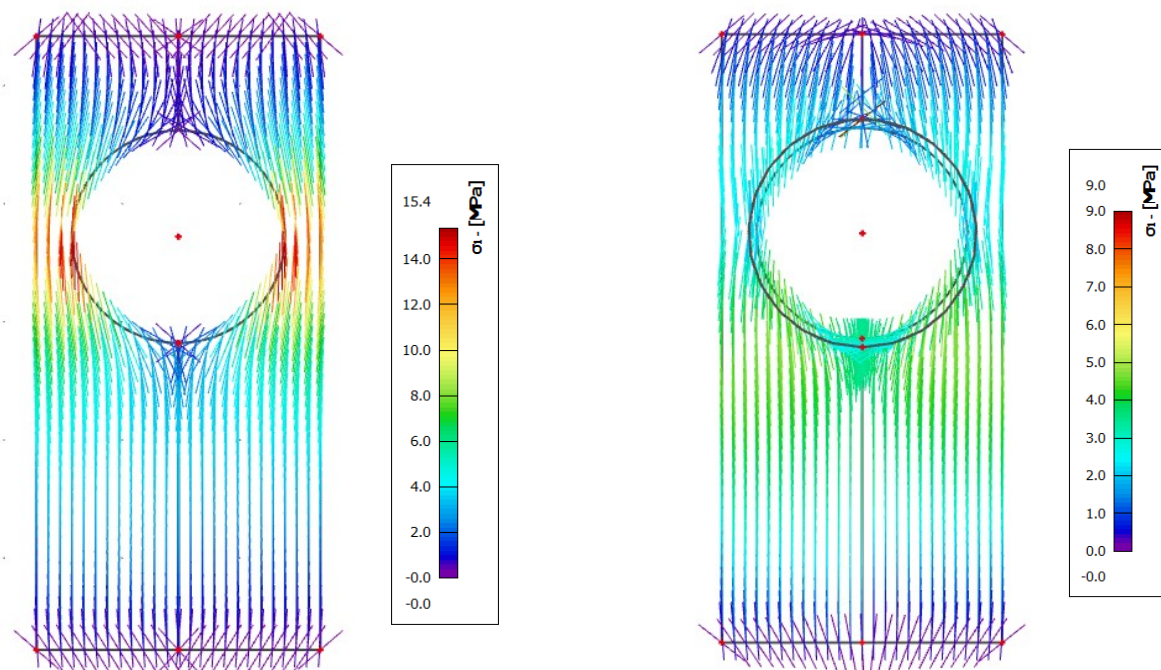
MSÚ: $1,35 \cdot \text{Vlastní tíha} + 1,35 \cdot \text{Ostatní stálé} + 1,5 \cdot \text{Užitné (kat.B)}$

MSP: $1,0 \cdot \text{Vlastní tíha} + 1,0 \cdot \text{Ostatní stálé} + 0,3 \cdot \text{Užitné (kat. B)}$



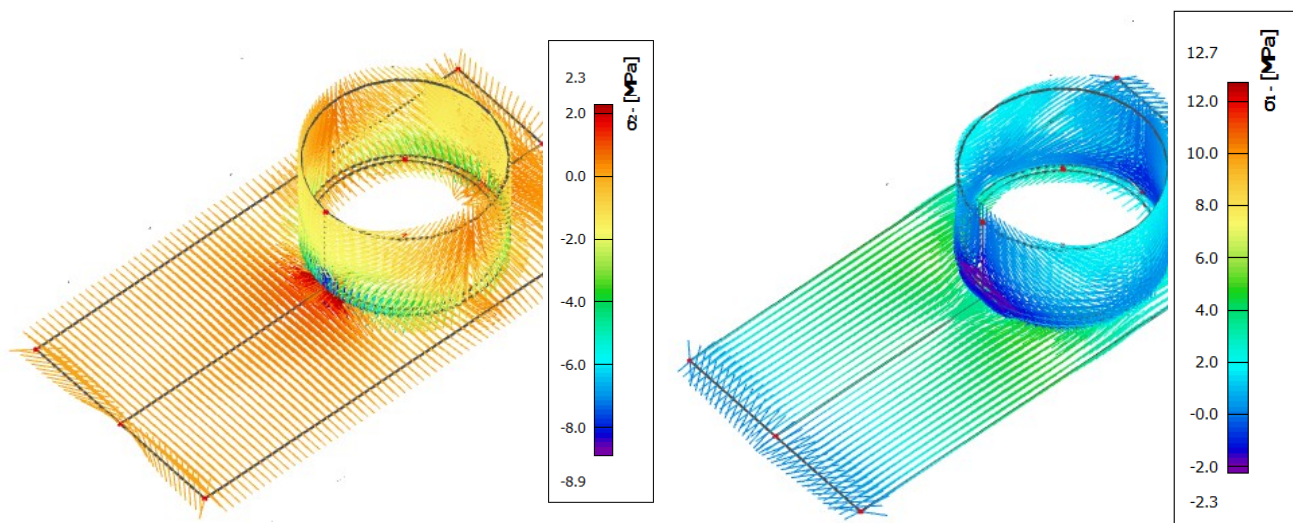
Obr. 3.1.6 – schémata 4 variant řešení

Tahové napětí – 2 atypické panely



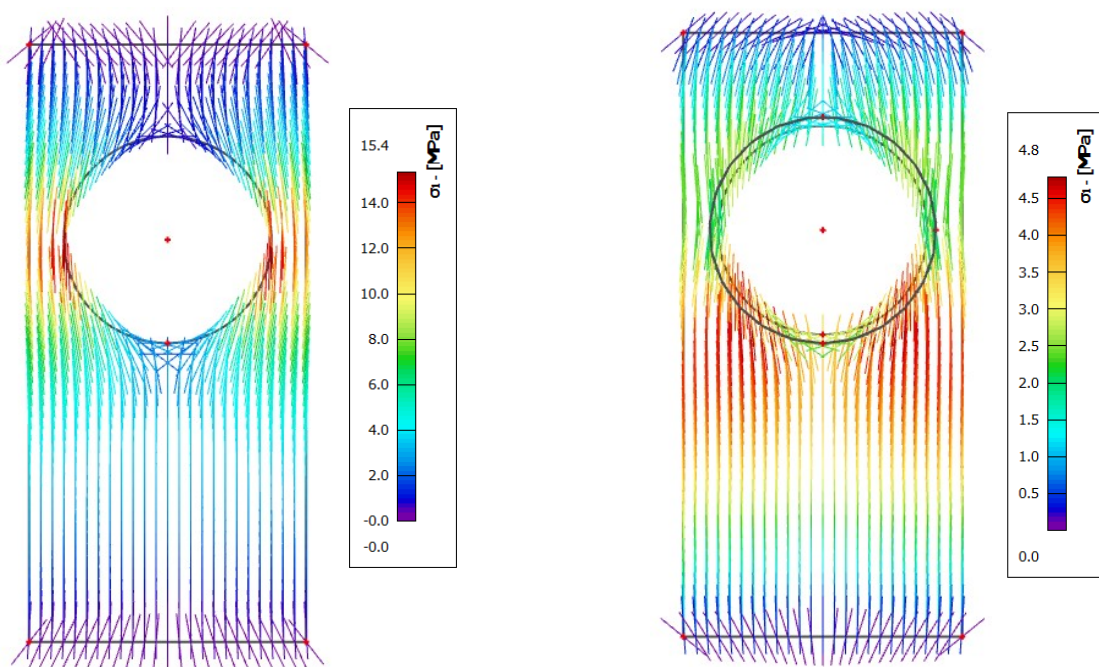
Obr. 3.1.7 – a, b Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0

Hlavní tahové napětí: a – bez sprážením (vlevo) b – se sprážením s betonovým prstencem (vpravo)



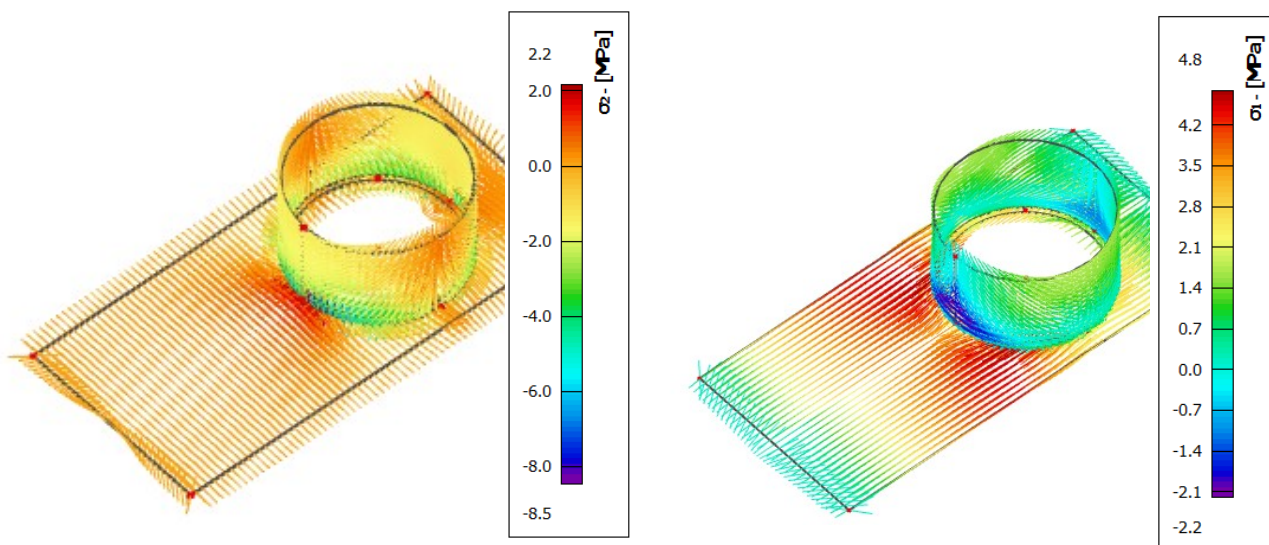
Obr. 3.1.8 - a, b Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0 Hlavní tahová napětí se sprážením s betonovým prstencem: a – napětí ve směru kolmém na pnutí desky b – napětí ve směru pnutí desky

Tahové napětí – 1 atypický panel



Obr. 3.1.9 – a, b Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0

Hlavní tahová napětí: a – bez sprážením (vlevo) b – se sprážením s betonovým prstencem (vpravo)



Obr. 3.1.10 - a, b Výstupy z programu SCIA ENGINEER 20.0 Hlavní tahová napětí se sprážením s betonovým prstencem: a – napětí ve směru kolmém na pnutí desky b – napětí ve směru pnutí desky

zatížení – příloha 5

návrh ohybové výztuže – příloha 6

další výstupy z SCIA Engineer – příloha 9

Napětí na panelech bez sprážení s betonovým prstencem značně vyšší, než je tom na panelech, kde prstenec spolupůsobí s panelem. Výhodou sprážení je zvýšení tuhosti v oblasti otvoru, tedy u problematického místa a přenesení napětí do betonového prstence.

(obr. 3.1.7 nebo obr. 3.1.9 – panel bez sprážení vs panel se sprážením + axonometrický pohled obr. 3.1.8 nebo 3.1.10)



Obr. 3.1.11 – ukázka manipulačních kleští pro panely SPIROLL [25]

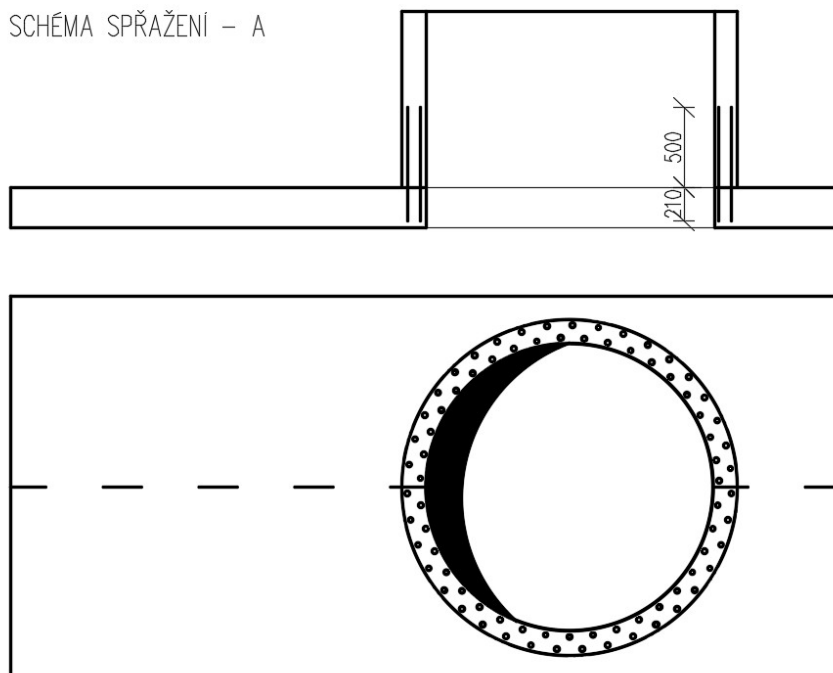


Obr. 3.1.12 – vahadla s manipulačními kleštěmi pro manipulaci panelů SPIROLL[23]



Obr. 3.1.13 – ukázka manipulačních kleští pro železobetonový prstenec [24]

3.2 Spřažení s železobetonovým prstencem varianta A



Obr.3.2.1 – Schéma sprážení panelu s železobetonovým prstencem

Spražení bude provedeno za pomoci betonářské výztuže, která je předem připravena v železobetonovém prstenci. Výztuž je konstruována ve dvou řadách po celém obvodu železobetonového prstence v osové vzdálenosti 150 mm. Průměr výztuže 16 mm.

Otvory pro vloženou výztuž bude tvořit vlnovcová ocelová trubka DN25 („husí krk“), takto vytvořené otvory bude zapotřebí ve formě stabilizovat, aby se ve formě nijak neodchýlili. Možným řešením je vložení dřevěné/ocelové kulatiny o průměru trubky, která poslouží i k zamezení vniknutí nežádoucího betonu při odlévání.

Jako kotvicí materiál bude použita zálivková hmota **SikaGrout®-314**. Jedná se o jednosložkovou zálivkovou hmotu s cementovým pojivem velmi tekuté konzistence s expanzními vlastnostmi.

Detailní návrh v příloze 7

Realizace:

Takto navržené sprážení **není možné zrealizovat**, jelikož při návrhu se pohybujeme na hranici minimální kotevní délky - 210 mm (pro průměr 16 mm → min. 203 mm) Toto se z hlediska návrhu nejeví jako velký problém, ale při realizaci se dostaneme k problému, kdy dělník se zálivkovou hmotou musí do předem připraveného otvoru nalít vždy stejné a přesné množství, aby se zálivková

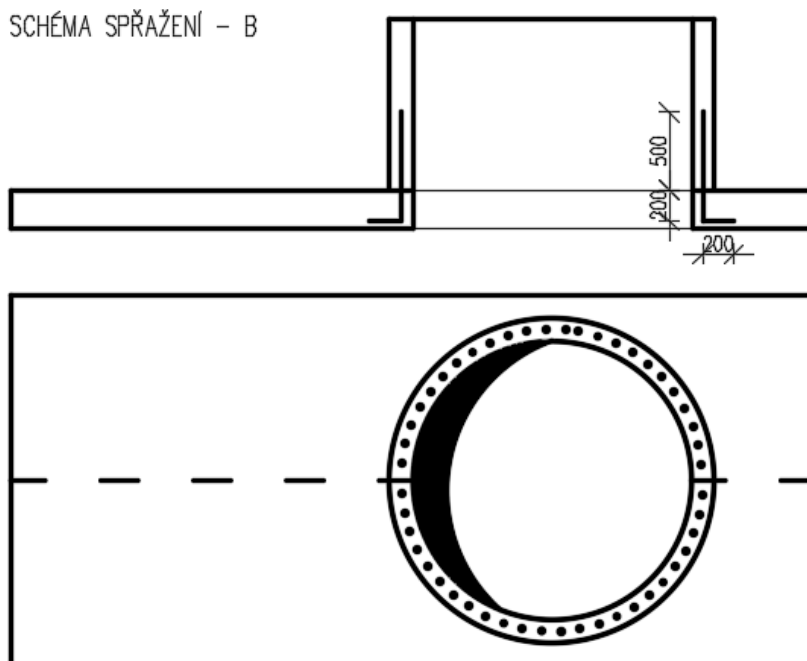
hmota nedostala mimo otvor. Pakliže bude v otvoru málo zálivkové hmoty, nedojde k minimálnímu zakotvení trnů, což je z hlediska normy **špatný návrh** [1].

V druhém případě kdy bude v otvoru příliš mnoho zálivkové hmoty, která se dostane ven, hrozí nesprávné a nerovnoměrné položení na panel, to může mít za následek vznik větších sil na konstrukci, na které nemusí být konstrukce navržena.

Dalším problémem pro tuto realizaci je, že dělník by musel každý otvor vyčistit, zkontrolovat a ujistit se, že v připraveném otvoru není „cizí“ materiál a že se zde vejde požadované množství zálivkové hmoty.

Zkrátka, tento návrh by mohl být použit, pakliže panel sám o sobě zvládne přenést zatížení a bylo by pouze nutné snížit průhyb MSP, kde by částečné spřažení splnilo svůj účel.

3.3 Spřažení s železobetonovým prstencem varianta B



Obr.3.3.1 – Schéma spřažení panelu s železobetonovým prstencem

Spražení bude provedeno za pomoci betonářské výztuže, která je předem připravena a vystartována ze železobetonovém panelu. Výztuž je konstruována v jedné řadě po celém obvodu otvoru 75 mm od jeho hrany. Průměr výztuže 22 mm a osová vzdálenost 140 mm.

Otvory pro vloženou výztuž bude tvořit vlnovcová ocelová trubka („husí krk“) o průměru 30 mm (DN32) takto vytvořené otvory bude zapotřebí ve formě stabilizovat, aby se ve formě nijak neodchýlily. Možným řešením je vložení dřevěné, nebo ocelové kulatiny o průměru trubky, která poslouží i k zamezení nežádoucímu betonu při odlévání.

Jako kotvící materiál bude použita záливková hmota **SikaGrout®-314**. Jedná se o jednosložkovou záливkovou hmotu s cementovým pojivem velmi tekuté konzistence s expanzními vlastnostmi. [17]

Detailní návrh v příloze 8

Při návrhu je uvažováno i částečné sprážení prvku, resp. kdy nedojde k plnému zakotvení výztuže skrz záливkovou hmotu a dojde pouze k 70 % zakotvení. Délka kotvení je $500 \text{ mm} \rightarrow 500 \cdot 0,7 = 350 \text{ mm} > l_{b,\min} = 293,3 \text{ mm}$ – neboli minimální kotevní délka.

Realizace:

Takto navržené sprážení lze zrealizovat a bude funkční, jelikož je zde uvažováno i s nedokonalým sprážením, které je z hlediska provedení nutné brát na vědomí a je potřeba s ním dále počítat.

Při realizace je potřeba dodržet správný technologický postup, jinak sprážení nemusí fungovat a v druhé řadě může dojít ke kolapsu. Při položení panelů na „T“ průvlaky je potřeba panely řádně podstojkovat a to zejména v oblasti otvoru – řešeného sprážení. Toto podstojkování bude provedeno po celé výšce budovy až do doby, kdy poslední (vrchní) panely neprojdou technologickou pauzou. V momentě, kdy je panel podepřen, lze položit železobetonový prstenec na panel. Záливková hmota bude vedena přes záливkový kanálek. Bude do kanálku vnášena do doby, než začne vytékat koncem, poté se otvor uzavře a dále se bude plnit, dokud opět nedojde k vytékání záливkové hmoty. Takto provedená záливka zaručí, že dojde k vytlačení veškerého vzduchu v kanálku a tím dostatečného zakotvení/sprážení prvku. Po technologické pauze, která je stanovena výrobcem (minimálně 24h při teplotě vyšší jak 20°C, při nižších teplotách je potřeba delší technologické pauzy [17]) Stejný postup se aplikuje na ostatní patra, kde jsou panely položeny. Jelikož jsou panely podstojkovány, není nutné čekat na technologickou pauzu u všech panelů, nejpodstatnější je dodržet technologickou pauzu u posledního panelu. Při realizaci je též možné použití chemické kotvy Hilty HIT RE 500 na poslední panely, aby došlo k urychlení výstavby, jelikož tato hmota dovolí po kratší technologické

pauze plné zatížení. Délka technologické pauzy je závislá na okolní teplotě, v případě teploty 20°C je tato doba 7h, poté je možné plného zatížení konstrukce. [18] Tato hmota slouží také pro kotvení/vlepování dodatečné výztuže, jen je opatřena urychlovači a dalšími speciálními přísadami.

3.4. Závěr – vyhodnocení

V rámci konstrukce se jeví jako nejvhodnějším varianta - dva atypické panely o šířce 1190 mm sprážené železobetonovým prstencem. Jelikož stropní konstrukce jsou řešeny za pomoci panelů SPIROLL, tudíž na stavbě bude k dispozici jeřáb s manipulačními kleštěmi (obr 3.1.11), proto není potřeba řešit problém s manipulačními úchyty pro panel o typické šířce 1190mm, jelikož kleště jsou na tuto šířku panelu dimenzovány.

Atypický panel o šířce má tu výhodu, že v oblasti kruhového otvoru není potřeba řešit kroucení panelu, jelikož je panel celistvý a v případě řešení bez sprážení s betonovým prstencem se jedná o lepší variantu. Nevýhodou je nutnost návrhu manipulačních úchytů (příloha 10), jelikož na stavbě nebudou k dispozici takové kleště a vzhledem k atypické šíři, by se kleště museli extra vyrábět pro 4 panely. Navíc se zde jeví předpoklad, že síla sevření kleští v této šíři, by mohla začít drtit panel.

Výkres tvaru výztuže jednoho atypického panelu o šířce 1190mm se sprážením viz příloha 11

Výkres tvaru výztuže jednoho atypického panelu o šířce 2390mm bez sprážení viz příloha 12

4. Závěr

Předložená bakalářská práce se zabývá problematikou otvorů ve stropních deskách a jejich vlivem na průběh napětí a následné dimenzování. Popisuje jednotlivé extrémní případy v případě polohy otvoru, dále pak rozdíl v tvaru otvoru a jeho vliv na konstrukci.

V podkapitole číslo 2.2 bylo prokázáno, že tvar otvoru má vliv na průběh napětí na desce. Na modelech B a C (kruhový a čtvercový otvor) bylo viditelné, že kruhový otvor má z hlediska průběhu napětí menší natočení trajektorií okolo otvoru, než je tomu v případě čtvercového otvoru. Druhý závěr, který nám přineslo porovnání těchto modelů je, že kruhový otvor vytváří na konstrukci o něco větší napětí než čtvercový otvor. V této podkapitole se také dočteme, jak je výhodné umístit obdélníkový otvor vždy delší stranou na směr pnutí desky. V rámci vyztužování, je zde zmíněná hlavní nosná výztuž a uspořádání lemovací výztuže v oblasti okolo otvorů, vždy rozkresleno na použitých modelech.

V podkapitole číslo 2.3. jsou zmíněny různé možnosti, jak dodatečně vytvořit otvor ve stropní konstrukci. Nejčastěji používané jsou karbonové materiály, konkrétně karbolamely, které jsou hojně využívány v moderním navrhování. Jedná se o vnější výztuž konstrukce. Méně časté je použití ocelových profilů, zejména kvůli světlé výšce, dále za pomoci ocelových pásků, stejný princip jako u lamel, avšak mnohonásobně nižší únosnost, jedinou výhodou tohoto typu dodatečného vyztužení, je možnost svařování pásku k sobě. A v neposlední řadě nadbetonávkou, toto řešení se zpravidla používá u desek, kde beton značně zdegradoval a dodatečně realizovaný otvor by zde nemohl být proveden.

V podkapitole číslo 2.4 je popsáno, jak poloha otvoru dokáže změnit postup návrhu konstrukce. Je zde detailně namodelováno několik schémat, které se liší pouze v poloze otvoru, vykreslená tahová napětí pro každý model, aby bylo zcela očividné, jak napětí roste/klesá s rozdílnou polohou. Obecně desky a panely zpravidla neposuzujeme na smykové zatížení, avšak jakmile se otvor dostane do blízkosti podpor, je nutné jej posuzovat na smyk.

V kapitole 3 byl řešen kruhový otvor v administrativní budově INTOZA. Návrh byl řešen jinak, než byl reálně konstruován. Byly zde zmíněny 4 varianty řešení, 2 varianty bez sprážením s betonovým prstencem, který slouží jako zábradlí v oblasti okolo otvoru a 2 varianty se sprážením. Návrh se detailněji zabývá samotným sprážením a jeho následné realizaci. Výstup z této kapitoly je vybrání nejvhodnějšího řešení pro daný problém.

Závěrem chci říci, že jsem se při psaní této práce znatelně prohloubil znalosti v této problematice, zejména jsem se snažil zaměřit na dodatečně realizované otvory, jelikož tento záměr

je v reálné praxi velmi častým požadavkem. Snažil jsem se co nejlépe shrnout možná řešení a zaujmout obrázky z reálné realizace. A seznámit s materiály, které jsou pro tyto požadavky používané.

Jako možnost dalšího rozšíření mé bakalářské práce, bych uvažoval o tématu s obousměrně pnutých deskách a navázal bych v podobném duchu, jako jsem psal svou práci. Nebo zde řešit konkrétní případ návrhu dodatečného vytvoření otvoru a vyztužení pomocí karbonových lamel, ocelovými pásky a ocelovými profily a zhodnotit tyto návrhy mezi sebou, co se týče ceny, doby realizace, únosnosti, životnosti, pracnosti, atd.

5. Použitá literatura, odkazy

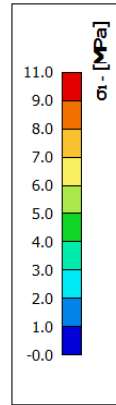
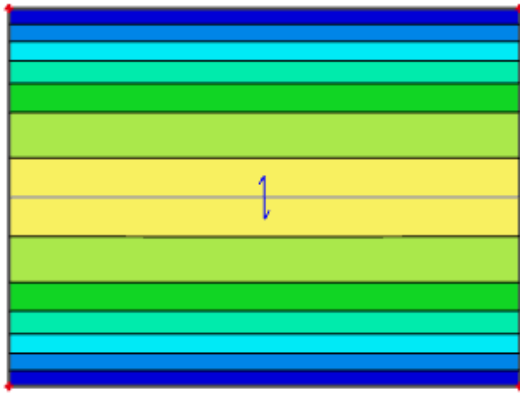
- [1] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2.: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1.: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení.
- [3] ČSN EN 1990 Eurokód.: Zásady navrhování konstrukcí.
- [4] ČSN 73 1201 (r.v. 2010).: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb
- [5] Procházka J., Šmejkal J.: Betonové stropní a schodišťové konstrukce, vydavatelství ČVUT, Praha 2017
- [6] Witzany J a kol., Obnova a rekonstrukce staveb. Nakladatelství ČVUT Praha, 2018, ISBN 978-80-01-06360-6
- [7] CONCRETE SOCIETY. Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fibre Reinforced Composite Materials. Technical report No. 55. 2000
- [8] Prostupy. ARCHICAD Web Viewer [online]. Copyright © 2021 by [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: https://help.graphisoft.com/AC/25/CZE/_AC25_Help/040_ElementsVB/040_ElementsVB-320.htm
- [9] Točité schodiště JAP – ČESKÉSTAVBY.cz. ČESKÉSTAVBY.cz - vše o stavbě, zahradě a bydlení [online]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky-foto/jak-vybrat-schodiste-20874.html?photo=7>
- [10] Obrázky jádrového vrtání + manipulační kleště [online]. dostupné z: https://www.prefa.cz/wp-content/uploads/2020/05/PREFA-BRNO_Prirucka_PANELY-SPIROLL_WEB.pdf [cit. 27.04.2022]
- [11] Zesilování konstrukcí uhlíkové lamely | MOPED, s.r.o.. MOPED, s.r.o. [online]. Copyright © 2016 MOPED.CZ Všechna práva vyhrazena. Tvorba www [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: http://www.moped.cz/zesilovani_konstrukci
- [12] externí uhlíkové výztuže – TESAN. TESAN – Speciální stavební technologie [online]. Dostupné z: <https://www.tesan.cz/externi-lepene-uhlikove-vystuze/>
- [13] Carbo systém | Sanax chemical construction s.r.o.. Sanax chemical construction s.r.o. | Specialista na stavební chemii [online]. Copyright © Sanax chemical construction s.r.o. 2014 [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: <https://www.sanax.cz/technicke-informace/carbo-system>
- [14] Zesilování konstrukcí uhlíkovými lamelami a tkaninami - reference N.T. Plus, spol. s r.o.. Stavební firma N.T. Plus, spol. s r.o. [online]. Copyright © 2022, vytvořila eBRÁNA s.r.o. [cit. 27.04.2022]. Dostupné z: <https://ntplus.cz/zesilovani-konstrukci-uhlikovymi-lamelami-a-tkaninami---reference>
- [15] Produktové materiály společnosti SANAX dostupné z: <https://www.sanax.cz/katalog-produktu/zesilovani-stavebnich-konstrukci> [cit. 27.04.2022]
- [16] archiweb.cz - Pasivní administrativní budova INTOZA. archiweb.cz [online]. Copyright © Archiweb, s.r.o. 1997 [cit. 26.04.2022]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/pasivni-administrativni-budova-intoza>
- [17] Informace o produktu SIKAGROUT [online]. dostupné z: https://www.chemieprostavbu.cz/user/related_files/sikagrout_314871.pdf [cit. 6.05.2022]
- [18] Tabulka a informace o produktu HILTI HIT RE 500 [online]. dostupné z: https://www.hilti.cz/medias/sys_master/documents/h74/hb6/9678805139486/Technical-data-sheet-for-HIT-RE-500-V4-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-ASSET-DOC-13527227.pdf [cit. 6.05.2022]

- [19] Skutečná realizace otvoru - intoza_youtube.mpg – YouTube. *YouTube* [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 15.05.2022]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Aa43oFI9ySY&t=436s>
- [20] Ukázka lemovací výztuže kolem otvorů - Revit Structure - арматура обрамления плит и отверстий – YouTube. *YouTube* [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 15.05.2022]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gLgMeigLL1w>
- [21] Ukázka lemovací výztuže kolem otvorů - 3D reinforcement in Revit with Naviate Structure and Naviate Rebar Extension. *Naviate Blog - Accelerate*[https://blog.naviate.com/3d-reinforcement-in-revit-with-naviate-structure-and-naviate-rebar-extension your BIM Projects](https://blog.naviate.com/3d-reinforcement-in-revit-with-naviate-structure-and-naviate-rebar-extension-your-BIM-Projects) [online]. Dostupné z: [cit. 27.04.2022]
- [22] Zesílení sloupu uhlíkovou tkaninou - Unidirectional and Bidirectional Carbon Fiber Wrap | ctech-llc. *301 Moved Permanently* [online]. Dostupné z: <https://ctech-llc.com/en/products/cfrp-wrap/> [cit. 15.05.2022]
- [23] Vahadlo s manipulačními kleštěmi- *Přijímáme objednávky Po-Ne* [online]. Dostupné z: <https://www.nejlevnejsicihly.cz/fotoalbum/realizace/hrube-stavby/stropy-spiroll-ceske-budejovice-montaze.-.html> [cit. 15.05.2022]
- [24] Manipulační kleště na skruže TBC – půjčovna nářadí Kerouš. *Půjčovna nářadí Kerouš – Pelhřimov, Jihlava, Havlíčkův Brod, Třebíč, Humpolec, Znojmo* [online]. Copyright © Kerouš [cit. 15.05.2022]. Dostupné z: <https://www.kerous.cz/pujcovna-naradi-stavebnich-stroju/nezarazene/manipulacni-kleste-na-skruze-tbc/>
- [25] Stropsystem » Topos PrefaTovačov. *Topos Prefa Tovačov » Topos PrefaTovačov* [online]. Dostupné z: <http://www.toposprefa.cz/produkty/stropsystem/> [cit. 15.05.2022]

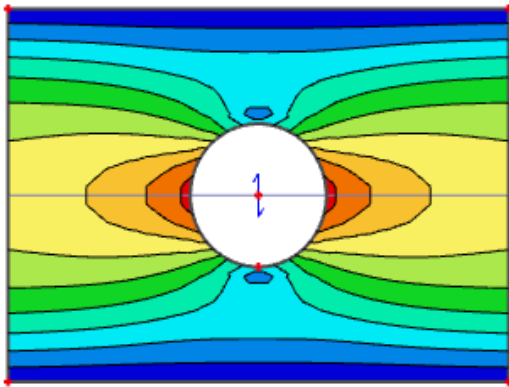
PŘÍLOHA 1

ISOPLOCHY HLAVNÍCH NAPĚTÍ - („Vliv tvaru otvoru na rozložení napětí v desce“ str. 10)
výstup z programu SCIA Engineer 20.0

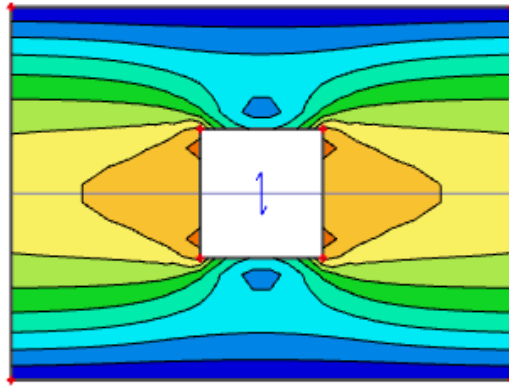
MODEL A



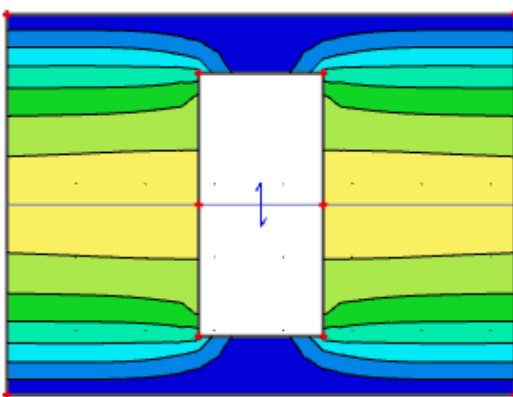
MODEL B



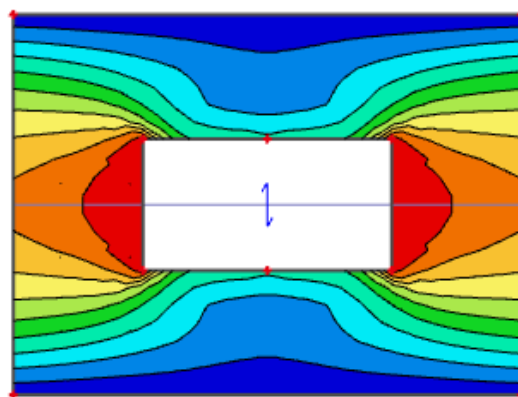
MODEL C



MODEL D

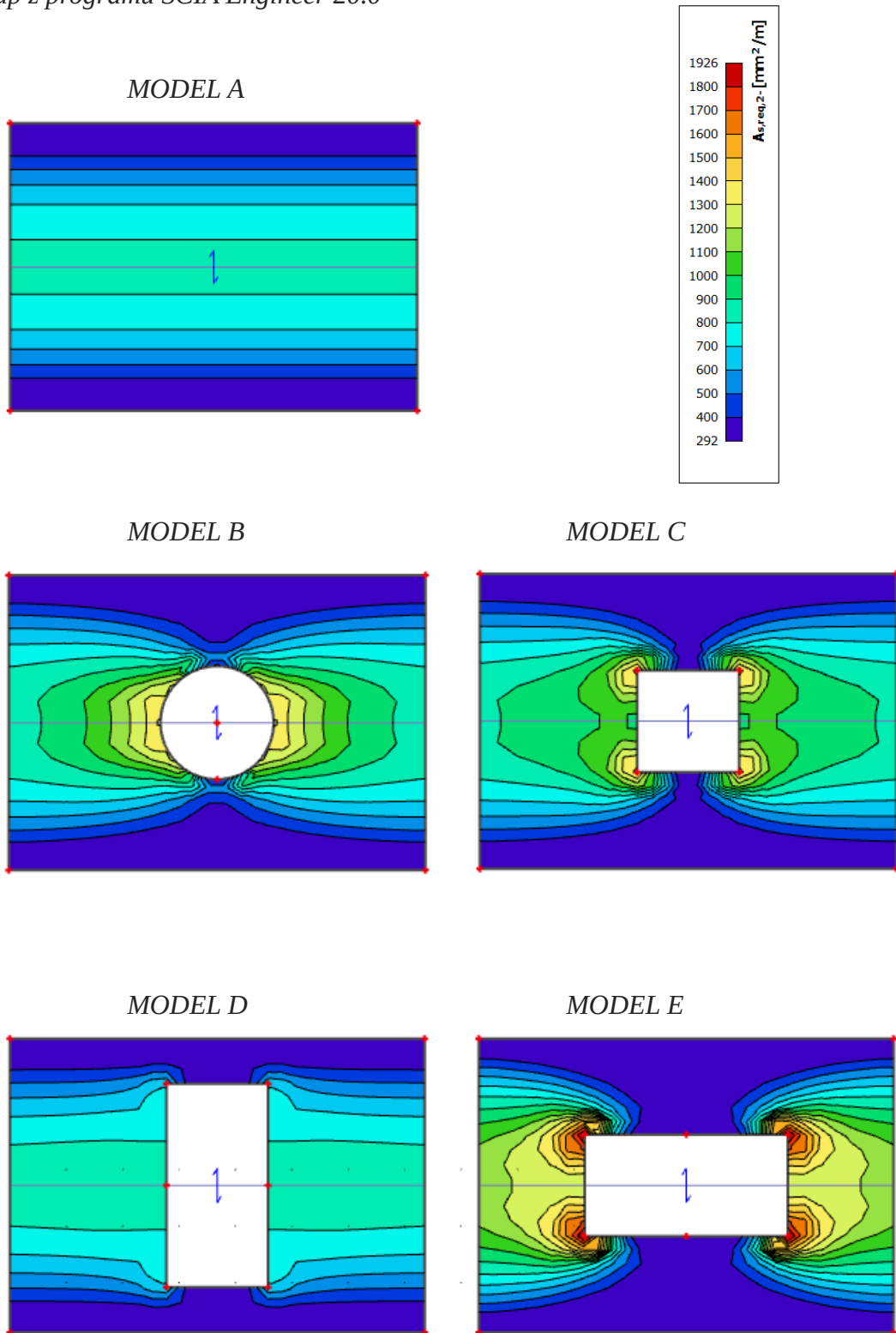


MODEL E



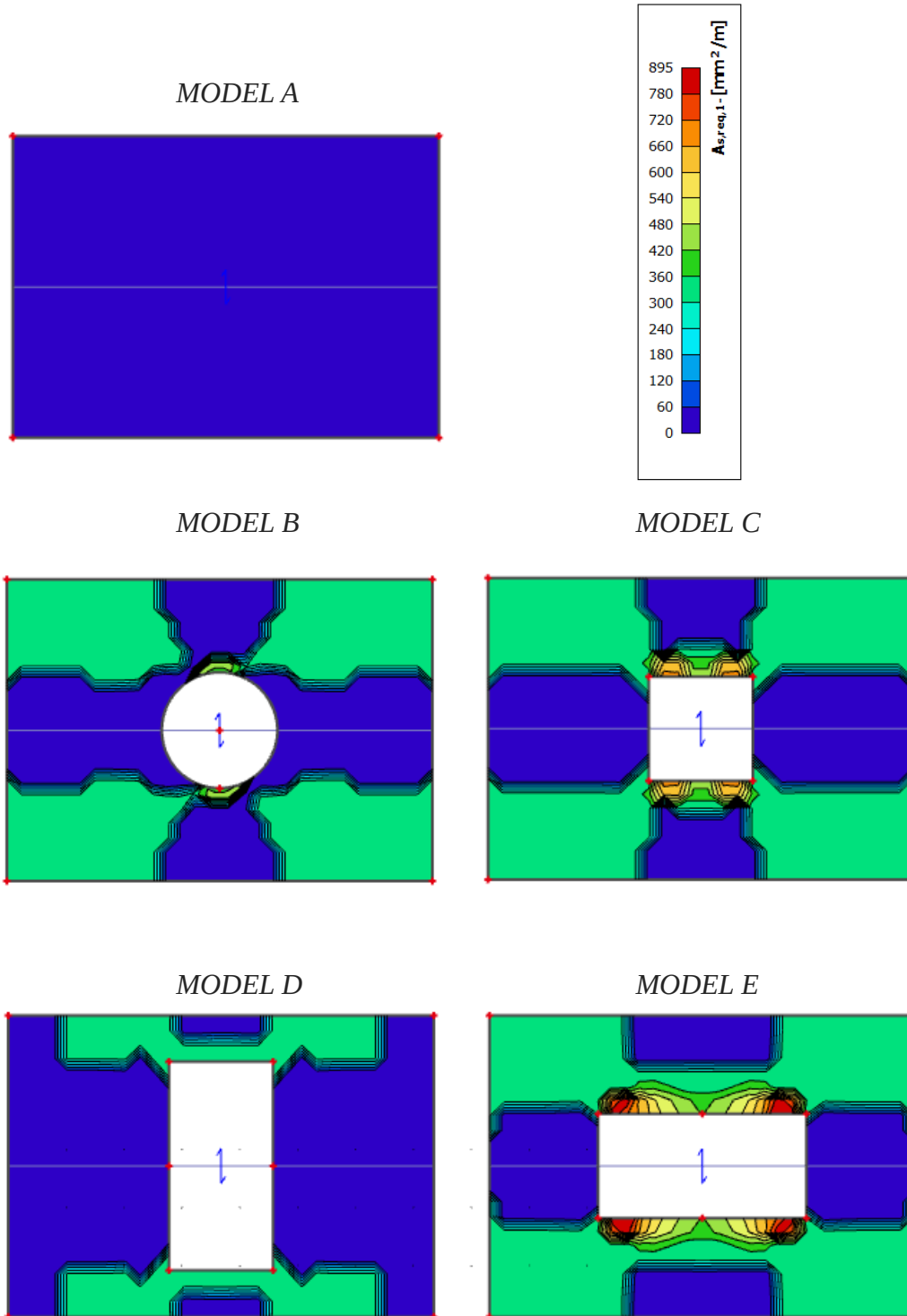
PŘÍLOHA 2

Hlavní nosná výztuž – spodní vlákna („Vliv tvaru otvoru na rozložení napětí v desce“ str. 10)
výstup z programu SCIA Engineer 20.0



PŘÍLOHA 3

Výztuž ve směru kolmo na pnutí desky – spodní vlákna („Vliv tvaru otvoru na rozložení napětí v desce“ str. 10) výstup z programu SCIA Engineer 20.0



Pozn.: Rozdělovací výztuž v horních vláknech je nižší než konstrukční, tudíž není třeba ji zde ukazovat.

PŘÍLOHA 4

Posouzení nejvíce zatížených míst v panelu („ Vliv polohy otvoru v panelu na návrh (maximalizace rozměrů otvoru“ str. 26 a 27) výstup z programu FIN EC 2021 - beton

1: **Zat. případ 1** - základní návrhová
 $N=0,00\text{kN}$; $M_y=22,50\text{kNm}$; $V_z=0,00\text{kN}$

Podrobné posouzení OHYB: Zat. případ 1

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = A_{s,t} / (b_t \times d) = 402,1 / (108 \times 214) = 0,0174$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 402,1 / 27\,000 = 0,0149$$

$$\rho_{s,\min} = \max(0,26 \times f_{ctm} / f_{yk}; 0,0013) = \max(0,26 \times 3,8 / 500; 0,0013) = \max(0,00198; 0,0013) = 0,00198$$

$$\rho_{s,t,\text{CSN}} = A_{s,t} / A_c = 402,1 / 27\,000 = 0,0149$$

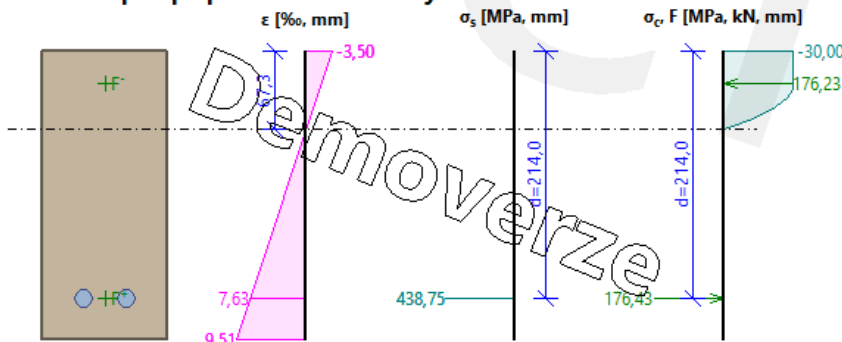
$$\rho_{s,\min,\text{CSN}} = \max(0,0018 \times f_{yk} / 500; 0,0014) = \max(0,0018 \times 500 / 500; 0,0014) = \max(0,0018; 0,0014) = 0,0018$$

$$\rho_{s,t} = 0,0174 \geq \rho_{s,\min} = 0,00198$$

$$\rho_{s,t,\text{CSN}} = 0,0149 \geq \rho_{s,\min,\text{CSN}} = 0,0018 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,0149 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly



Deformace v krajních vláknech průřezu

Nejmenší deformace v betonu: -3,50 ‰

Největší deformace v betonu: 9,51 ‰

Nejmenší deformace ve výztuži: 7,63 ‰

Největší deformace ve výztuži: 7,63 ‰

Směr neutrálné osy: 0,00 °

Výška tlačené části průřezu: $x = 67,3$ mm

Efektivní výška průřezu: $d = 214,0$ mm

$\xi = 0,31 \leq \xi_{\max} = 0,58 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

$M_{Edy} = 22,50 \leq M_{Rdy} = 32,81$ kNm

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 68,6 %

vyztužení průřezu v oblasti blízko podpory (otvor 1000mm)

1: **Zat. případ 1** - základní návrhová
 $N=0,00\text{kN}$; $M_y=10,00\text{kNm}$; $V_z=81,00\text{kN}$

Podrobné posouzení OHYB: Zat. případ 1

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Deska (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = A_{s,t} / (b_t \times d) = 157,1 / (95 \times 217) = 0,00762$$

$$\rho_s = A_s / A_c = 157,1 / 23\,750 = 0,00661$$

$$\rho_{s,\min} = \max(0,26 \times f_{ctm} / f_{yk}; 0,0013) = \max(0,26 \times 3,8 / 500; 0,0013) = \max(0,00198; 0,0013) = 0,00198$$

$$\rho_{s,t,CSN} = A_{s,t} / A_c = 157,1 / 23\,750 = 0,00661$$

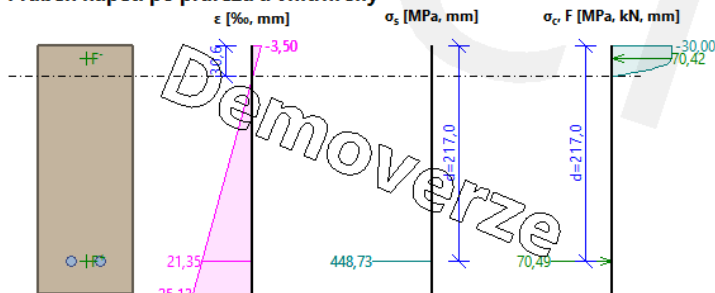
$$\rho_{s,\min,CSN} = \max(0,0018 \times f_{yk} / 500; 0,0014) = \max(0,0018 \times 500 / 500; 0,0014) = \max(0,0018; 0,0014) = 0,0018$$

$$\rho_{s,t} = 0,00762 \geq \rho_{s,\min} = 0,00198$$

$$\rho_{s,t,CSN} = 0,00661 \geq \rho_{s,\min,CSN} = 0,0018 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,00661 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly



Deformace v krajních vláknech průřezu

Nejmenší deformace v betonu: -3,50 ‰

Největší deformace v betonu: 25,13 ‰

Nejmenší deformace ve výztuži: 21,35 ‰

Největší deformace ve výztuži: 21,35 ‰

Směr neutrálné osy: 0,00 °

Výška tlačené části průřezu: $x = 30,06$ mm

Efektivní výška průřezu: $d = 217,0$ mm

$$\xi = 0,14 \leq \xi_{\max} = 0,58 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$M_{Edy} = 10,00 \leq M_{Rdy} = 14,40 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje

Využití: 69,5 %

Podrobné posouzení SMYK: Zat. případ 1

Stupeň vyztužení smykovou výztuží

$$\rho_w = A_{sw} / b_w / s = 56,55 / 95 / 90 = 0,00661$$

$$\rho_{w,\min} = 80 \times \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 80 \times \sqrt{45} / 500 = 0,00107$$

$$\rho_w = 0,00661 \geq \rho_{w,\min} = 0,00107 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Maximální vzdálenost třmínků } s_{l,\max} = 162,7 \text{ mm} \geq 90,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Maximální vzdálenost větví třmínků } s_{t,\max} = 325,5 \text{ mm} \geq 45,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Použit model náhradní příhradoviny

Sklon tlačené diagonály: $\theta = 29,74^\circ$

Únosnost betonu

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = \min(1 + \sqrt{(200 / d)}; 2) = \min(1 + \sqrt{(200 / 217)}; 2) = \min(1,96; 2) = 1,96$$

$$\rho_l = \min(A_{sl} / (b_w \times d); 0,02) = \min(157,1 / (95 \times 217); 0,02) = \min(0,00762; 0,02) = 0,00762$$

$$v_{\min} = 0,035 \times k^{1,5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \times 1,96^{1,5} \times \sqrt{45} = 0,644 \text{ MPa}$$

$$V_{Rdc} = \max(C_{Rd,c} \times k \times v_{\min} \times (100 \times \rho_l \times f_{ck}); v_{\min}) \times b_w \times d = \max(0,12 \times 1,96 \times 3 \times (100 \times 0,00762 \times 45); 0,644) \times 95 \times 217 = 15,75 \text{ kN}$$

Únosnost smykové výztuže

$$V_{Rds} = A_{sw} / s \times z \times f_{yd} \times \cot \theta = 56,55 / 90 \times 204,3 \times 434,8 \times 1,75 = 97,66 \text{ kN}$$

Únosnost tlakové diagonály

$$v_1 = 0,6 \times (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 45 / 250) = 0,492$$

$$V_{Rdmax} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) = 1 \times 95 \times 204,3 \times 0,492 \times 30 / (1,75 + 0,571) = 123,4 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost

$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; \min(V_{Rdmax}; V_{Rds})) = \max(15,75; \min(123,4; 97,66)) = \max(15,75; 97,66) = 97,66 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 81 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 97,66 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: 82,9 %

vyztužení průřezu v oblasti uprostřed panelu (otvor 980mm)

PŘÍLOHA 5

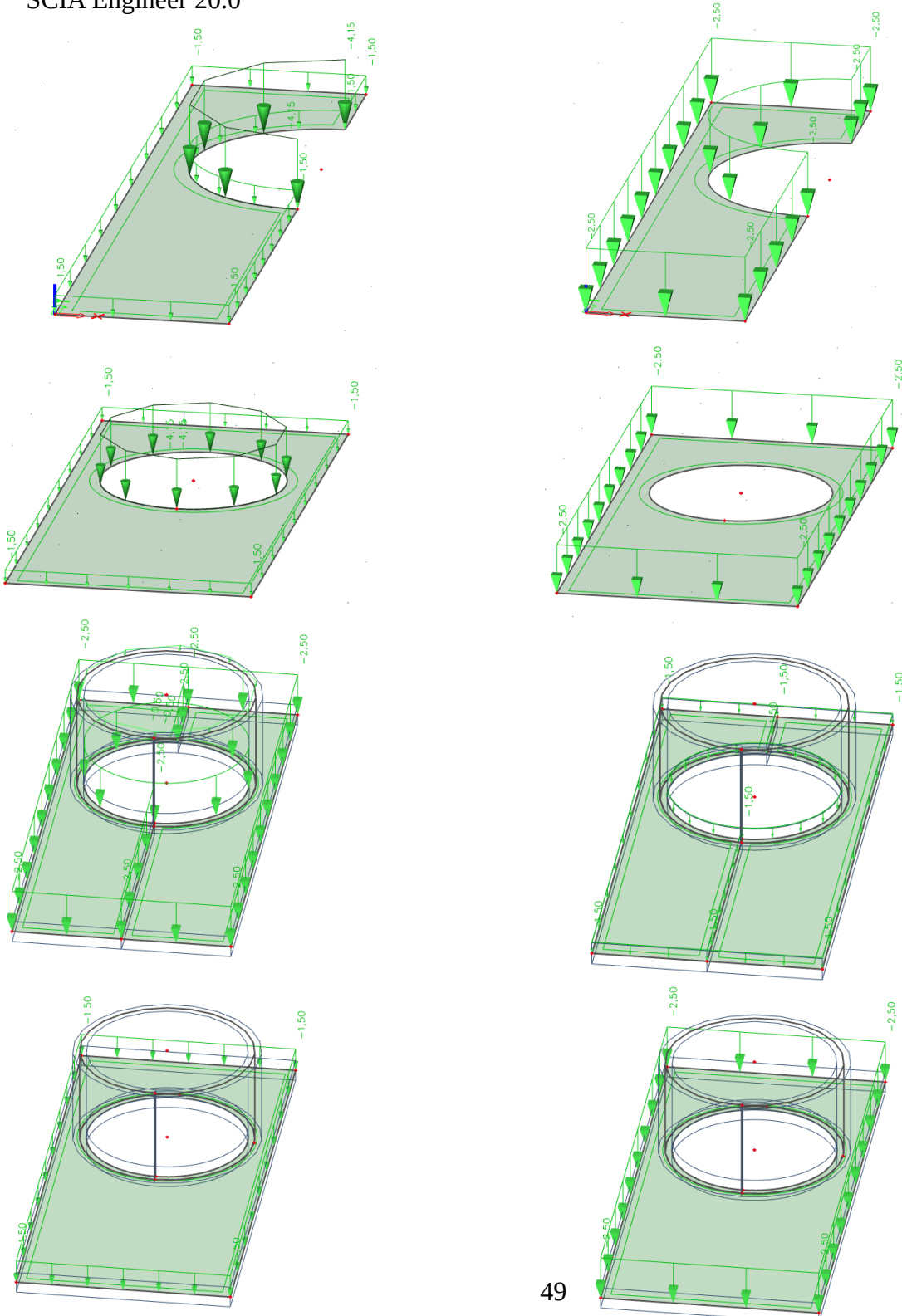
Modely zatížení panelů – („Referenční stavba“ str. 29) výstup z programu SCIA Engineer 20.0

Stálé zatížení

- podlaha (1,5 kN/m²)
- stěna okolo otvoru (tl. 150mm)
- vlastní tíha je generována programem SCIA Engineer 20.0

Užitné zatížení

- Kat. B (kancelářské plochy)



PŘÍLOHA 6

Návrh a posouzení ohybové výztuže – („Referenční stavba“ str. 29)

materiálové charakteristiky :

beton : C 45/55 $E_{cm} = 37\text{GPa}$

ocel : B500B $E_s = 200\text{GPa}$

$f_{ck} = 45\text{MPa}$

$f_{yk} = 500\text{MPa}$

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 45/1,3 = 34,6\text{MPa}$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 500/1,15 = 434,78\text{MPa}$

- návrhový ohybový moment: $M_{ED,max} = 163,4\text{ kNm/m}$
- Předpokládaný profil výztuže: $\varnothing = 16\text{ mm}$
- krycí vrstva: $c = 20\text{ mm}$
- účinná výška průřezu: $d = h - c - \varnothing/2 = 250 - 20 - 16/2 = 222\text{ mm}$
- $\alpha = 1$ beton do C45/55, $\alpha = 0,8$ beton nad C45/55
- poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{ED}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{163,4 \cdot 10^6}{1000 \cdot 222^2 \cdot 1 \cdot 34,6} = 0,098$$

→ $\xi = 0,13$, $< \xi_{max} = 0,35$ – poměrná výška tlačené oblasti

... OK

$\zeta = 0,948$ – poměrné rameno vnitřních sil

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{163,4 \cdot 10^6}{0,948 \cdot 222 \cdot 434,78} = 1810,21\text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **10Ø16 mm** $A_s = 2010,2\text{ mm}^2 > A_{s,req} = 1810,21\text{ mm}^2$

... OK

skutečná výška tlačené oblasti: $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2010,2 \cdot 434,78}{0,8 \cdot 1000 \cdot 34,6} = 31,58\text{ mm}$

poměrná výška tlačené oblasti (desky): $\xi = \frac{x}{d} = \frac{31,57}{222} = 0,144 < \xi_{max} = 0,35$

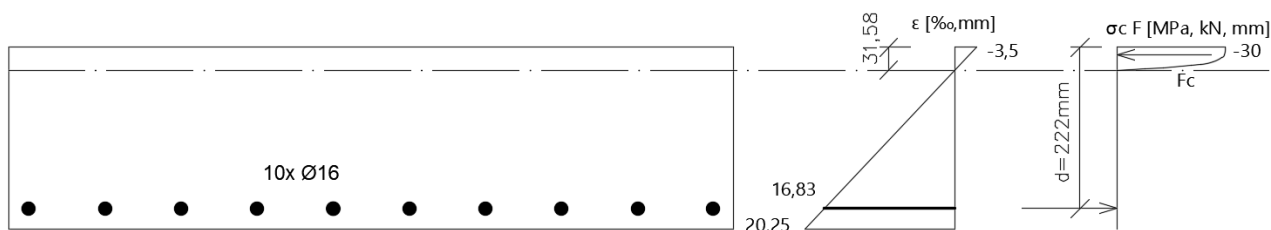
... OK

rameno vnitřních sil: $z = d - 0,4 \cdot x = 222 - 0,4 \cdot 31,58 = 209,37\text{ mm}$

moment únosnosti:

$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 2010,2 \cdot 434,78 \cdot 209,37 = 180,36\text{ kNm/m} > 163,4\text{ kNm/m} = M_{ED}$

... OK



vedlejší směr - spodní vlákna

- návrhový ohybový moment: $M_{ED,max} = 37 \text{ kNm/m}$
- Předpokládaný profil výztuže: $\varnothing = 10 \text{ mm}$
- krycí vrstva: $c = 20 \text{ mm}$
- účinná výška průřezu: $d = h - c - \varnothing/2 = 250 - 20 - 10/2 = 225 \text{ mm}$
- $\alpha = 1$ beton do C45/55, $\alpha = 0,8$ beton nad C45/55
- poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{ED}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{37 \cdot 10^6}{1000 \cdot 225^2 \cdot 1 \cdot 34,6} = 0,035$$

$$\rightarrow \xi = 0,045 < \xi_{max} = 0,35$$

$$\zeta = 0,982 - \text{poměrné rameno vnitřních sil}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{37 \cdot 10^6}{0,982 \cdot 225 \cdot 434,78} = 383 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **5 Ø 10 mm** $A_s = 392,7 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 383 \text{ mm}^2$... OK

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 1000 \cdot 225 = 438 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot D = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 222 = 288,6 \text{ mm}^2$$

$< A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$... NE

Nový návrh: **6 Ø 10 mm** $A_s = 471,2 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 383 \text{ mm}^2$... OK

$> A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$... OK

skutečná výška tlačené oblasti: $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{471,2 \cdot 434,78}{0,8 \cdot 1000 \cdot 34,6} = 7,4 \text{ mm}$

poměrná výška tlačené oblasti: $\xi = \frac{x}{d} = \frac{7,4}{225} = 0,033 < \xi_{max} = 0,35$... OK

rameno vnitřních sil: $z = d - 0,4 \cdot x = 225 - 0,4 \cdot 7,4 = 222 \text{ mm}$

moment únosnosti:

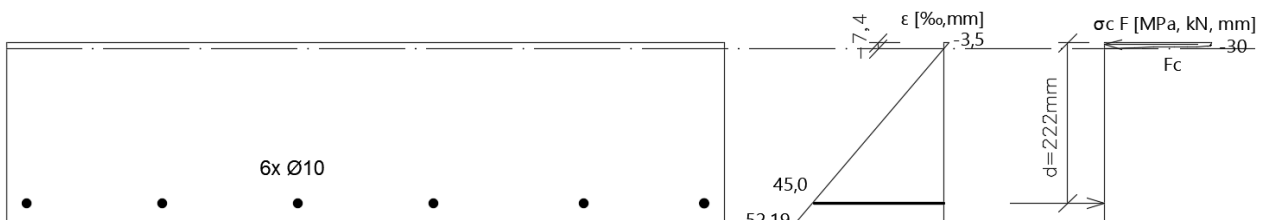
$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot Z = 471,2 \cdot 434,78 \cdot 222 = 45,48 \text{ kNm} > 37 \text{ kNm} = M_{ED}$... OK

Při horním povrchu bude panel vyztužen konstrukčně, tedy na minimální plochu výztuže a to v obou směrech.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 1000 \cdot 225 = 438 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot D = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 225 = 288,6 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **6 Ø 10 mm** $A_s = 471,2 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$... OK



pozn.: návrh platí i pro atypický panel o šířce 2390mm

Návrh a posouzení výztuže – panel ztužený betonovým prstencem

hlavní směr - spodní vlákna
materiálové charakteristiky :

beton : C 45/55 $E_{cm} = 37\text{GPa}$ ocel : B500B $E_s = 200\text{GPa}$
 $f_{ck} = 45\text{MPa}$ $f_{yk} = 500\text{MPa}$
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 45/1,3 = 34,6\text{MPa}$ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 500/1,15 = 434,78\text{MPa}$

- návrhový ohybový moment: $M_{ED,max} = 60\text{ kNm/m}$
- Předpokládaný profil výztuže: $\varnothing = 16\text{ mm}$
- krycí vrstva: $c = 20\text{ mm}$
- účinná výška průřezu: $d = h - c - \varnothing/2 = 250 - 20 - 16/2 = 222\text{ mm}$
- $\alpha = 1$ beton do C45/55, $\alpha = 0,8$ beton nad C45/55
- poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{ED}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{60 \cdot 10^6}{1000 \cdot 222^2 \cdot 1 \cdot 34,6} = 0,0352$$

$$\rightarrow \xi = 0,0352 < \xi_{max} = 0,35$$

$$\zeta = 0,937 - \text{poměrné rameno vnitřních sil}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{60 \cdot 10^6}{0,937 \cdot 222 \cdot 434,78} = 658\text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **10Ø10 mm** $A_s = 785,4\text{ mm}^2 > A_{s,req} = 658\text{ mm}^2$... OK

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 295 \cdot 222 = 129,4\text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot D = 0,0013 \cdot 295 \cdot 222 = 85,7\text{ mm}^2$$

$$> A_{s,min}$$

... OK

skutečná výška tlačené oblasti: $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{785,4 \cdot 434,78}{0,8 \cdot 1000 \cdot 34,6} = 12,34\text{ mm}$

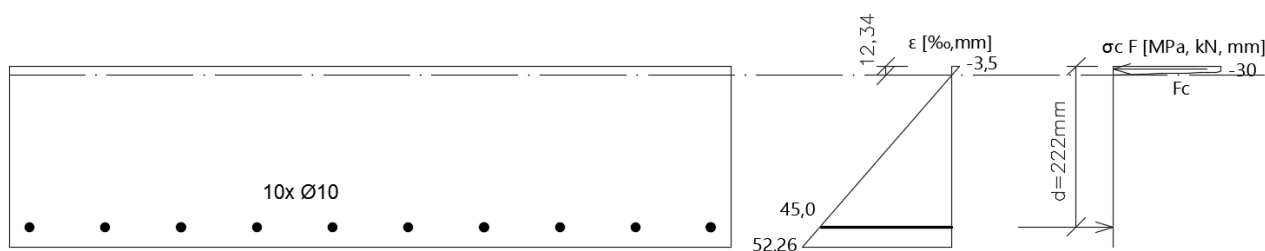
poměrná výška tlačené oblasti: $\xi = \frac{x}{d} = \frac{12,336}{222} = 0,0556 < \xi_{max} = 0,15$... OK

rameno vnitřních sil: $z = d - 0,4 \cdot x = 222 - 0,4 \cdot 12,34 = 217\text{ mm}$

moment únosnosti:

$$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 785,4 \cdot 434,78 \cdot 217 = 74,12\text{ kNm/m} > 60\text{ kNm/m} = M_{ED}$$

... OK



vedlejší směr - spodní vlákna

- návrhový ohybový moment: $M_{ED,max} = 37 \text{ kNm/m}$
- Předpokládaný profil výztuže: $\varnothing = 10 \text{ mm}$
- krycí vrstva: $c = 20 \text{ mm}$
- účinná výška průřezu: $d = h - c - \varnothing/2 = 250 - 20 - 10/2 = 225 \text{ mm}$
- $\alpha = 1$ beton do C45/55, $\alpha = 0,8$ beton nad C45/55 μ
- poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{ED}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{37 \cdot 10^6}{1000 \cdot 225^2 \cdot 1 \cdot 34,6} = 0,118$$

$$\rightarrow \xi = 0,0212 < \xi_{max} = 0,35$$

$$\zeta = 0,988 - \text{poměrné rameno vnitřních sil}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{ED}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{37 \cdot 10^6}{0,988 \cdot 225 \cdot 434,78} = 383 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **5 \varnothing 10 mm** $A_s = 392,7 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 383 \text{ mm}^2$... OK

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 1000 \cdot 225 = 438 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot D = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 222 = 288,6 \text{ mm}^2$$

$$< A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$$

... NE

Nový návrh: **6 \varnothing 10 mm** $A_s = 471,2 \text{ mm}^2 > A_{s,req} = 383 \text{ mm}^2$... OK

$$> A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$$

... OK

skutečná výška tlačené oblasti: $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{471,2 \cdot 434,78}{0,8 \cdot 1000 \cdot 34,6} = 7,4 \text{ mm}$

poměrná výška tlačené oblasti: $\xi = \frac{x}{d} = \frac{7,4}{225} = 0,033 < \xi_{max} = 0,15$... OK

rameno vnitřních sil: $z = d - 0,4 \cdot x = 225 - 0,4 \cdot 7,4 = 222 \text{ mm}$

moment únosnosti:

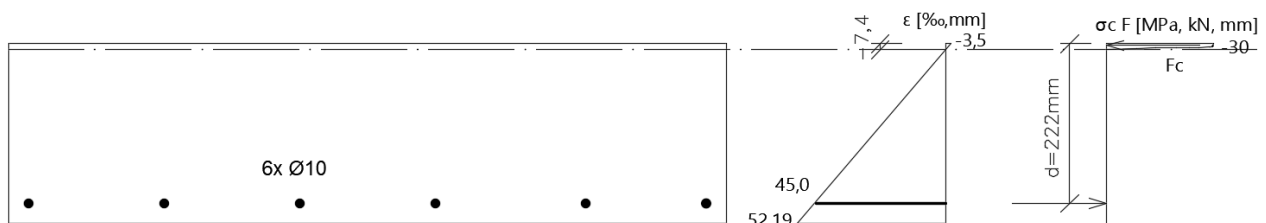
$$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot Z = 471,2 \cdot 434,78 \cdot 222 = 45,48 \text{ kNm} > 37 \text{ kNm} = M_{ED}$$
 ... OK

Při horním povrchu bude panel vyztužen konstrukčně, tedy na minimální plochu výztuže a to v obou směrech.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot 3,8/500 \cdot 1000 \cdot 225 = 438 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot D = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 225 = 288,6 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže: **6 \varnothing 10 mm** $A_s = 471,2 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 438 \text{ mm}^2$... OK



pozn.: návrh platí i pro atypický panel o šířce 2390mm

PŘÍLOHA 7

Návrh a posouzení sprážení ŽB prstence – („3.2 Sprážení s železobetonovým prstencem varianta A“ str. 36) výstup z programu SCIA Engineer 20.0

Varianta A

Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \text{MAX} (0,3 \cdot l_{b,rgd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}) \rightarrow (0,3 \cdot 711,1; 10 \cdot 16; 100\text{mm})$$
$$\text{MAX} (203; 160; 100 \text{ mm}) \rightarrow \mathbf{203 \text{ mm}}$$

$$l_{b,rgd} = (\varnothing \cdot \sigma_{sd}) / (4 \cdot f_{bd}) = 16 \cdot 400 / (4 \cdot 2,25) = 711,1 \text{ mm}$$

Únosnost trnu - výztuže

$$P_{RK} = \min (0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4) \rightarrow (0,8 \cdot 435 \cdot \pi \cdot 16^2 / 4) = 69,93 \text{ kN} - \text{ocel}$$
$$(0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}) \rightarrow (0,29 \cdot 1 \cdot 16^2 \cdot \sqrt{45 \cdot 36}) = 17,93 \text{ kN} - \text{beton}$$

$$f_u = F_{yk} / \gamma_{M1} = 500 / 1,15 = 435 \text{ Mpa} \quad \alpha = 1 \quad V_{ed} = 235,75 \text{ kN/m (viz příloha 9)}$$

→ rozhodující bude vytržení výztuže z betonu, než porušení výztuže. Výztuž je po obvodě ve dvou řadách, proto $P_{RK} = 2 \times 17,93 \text{ kN} = \mathbf{35,86 \text{ kN}}$

Do jednoho metru...

$$V_{ed} / P_{RK} = 235,75 / 35,86 = 6,57$$

V osové vzdálenosti...

$$1,0 / 6,57 = 152 \text{ mm} \rightarrow 150 \text{ mm}$$

SMYK

$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$$
$$= 0,2 \cdot 3,8 + 0,6 \cdot 0,0275 + 0,01586 \cdot 435 \cdot (0,6 \sin 90 + \cos 90) \leq 0,5 \cdot 0,494 \cdot 0,30$$
$$= 4,84 \leq 7,44 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ OK}$$

$$V_{ed} = 1,10 \leq 4,84 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ OK}$$

$$V_{ed} = \frac{\beta \cdot V_{ed}}{z \cdot b_i} = \frac{1 \cdot 235,75}{211 \cdot 1000} = 1,10 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_i} = \frac{1000 / 150 \cdot 2 \cdot 16^2 \cdot \pi / 4}{150 \cdot 1000} = 0,01586$$

$$v = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{45}{250}\right] = 0,496$$

$$\sigma_n = \frac{25 \cdot 0,15 \cdot 1,1}{0,15} = 27,5 \text{ kPa} \quad - \text{hmotnost prstence}$$

Součinitelé: $c=0,2$ $\mu=0,6$ (hladký povrch)

PŘÍLOHA 8

Návrh a posouzení sprážení ŽB prstence – („3.2 Sprážení s železobetonovým prstencem varianta B“ str. 37) výstup z programu SCIA Engineer 20.0

Varianta B

Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \text{MAX} (0,3 \cdot l_{b,rgd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}) \rightarrow (0,3 \cdot 977,7; 10 \cdot 22; 100\text{mm})$$

$$\text{MAX} (293,3; 220; 100 \text{ mm}) \rightarrow \mathbf{293,3 \text{ mm}}$$

$$l_{b,rgd} = (\varnothing \cdot \sigma_{sd}) / (4 \cdot f_{bd}) = 22 \cdot 400 / (4 \cdot 2,25) = 977,7 \text{ mm}$$

Únosnost trnu - výztuže

$$P_{RK} = \min (0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4) \rightarrow (0,8 \cdot 435 \cdot \pi \cdot 22^2 / 4) = 152,05 \text{ kN} - \text{ocel}$$
$$(0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}) \rightarrow (0,29 \cdot 1 \cdot 22^2 \cdot \sqrt{45 \cdot 36}) = 33,9 \text{ kN} - \text{beton}$$

$$f_u = F_{yk} / \gamma_{M1} = 500 / 1,15 = 435 \text{ Mpa} \quad \alpha = 1 \quad V_{ed} = 235,75 \text{ kN/m (viz příloha 9)}$$

→ rozhodující bude vytržení výztuže z betonu, než porušení výztuže. $P_{RK} = \mathbf{33,9 \text{ kN}}$

Do jednoho metru...

$$V_{ed} / P_{RK} = 235,75 / 33,9 = 6,78$$

V osové vzdálenosti...

$$1,0 / 6,78 = 147,5 \text{ mm} \rightarrow 140 \text{ mm}$$

SMYK

$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$$
$$= 0,2 \cdot 3,8 + 0,6 \cdot 0,0275 + 0,0277 \cdot 435 \cdot (0,6 \sin 90 + \cos 90) \leq 0,5 \cdot 0,494 \cdot 0,30$$
$$= 7,33 \leq 7,44 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ OK}$$

$$V_{ed} = 1,10 \leq 7,33 \text{ [MPa]} \quad \dots \text{ OK}$$

$$V_{ed} = \frac{\beta \cdot V_{ed}}{z \cdot b_i} = \frac{1 \cdot 235,75}{211 \cdot 1000} = 1,10 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_i} = \frac{1000 / 140 \cdot 2 \cdot 22^2 \cdot \pi / 4}{150 \cdot 1000} = 0,0251$$

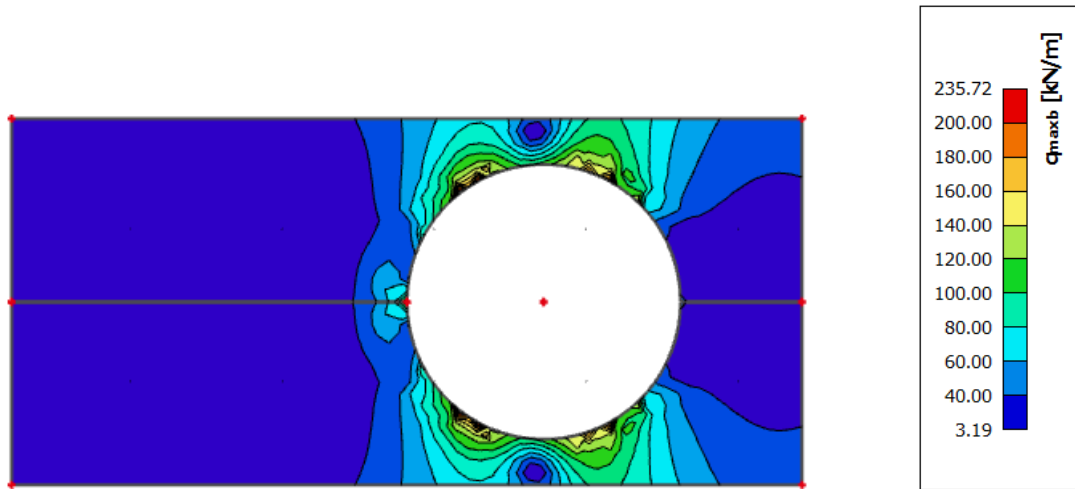
$$v = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,60 \cdot \left[1 - \frac{45}{250} \right] = 0,496$$

$$\sigma_n = \frac{25 \cdot 0,15 \cdot 1,1}{0,15} = 27,5 \text{ kPa} \quad - \text{hmotnost prstence}$$

Součinitelé: $c=0,2$ $\mu = 0,6$ (hladký povrch)

PŘÍLOHA 9

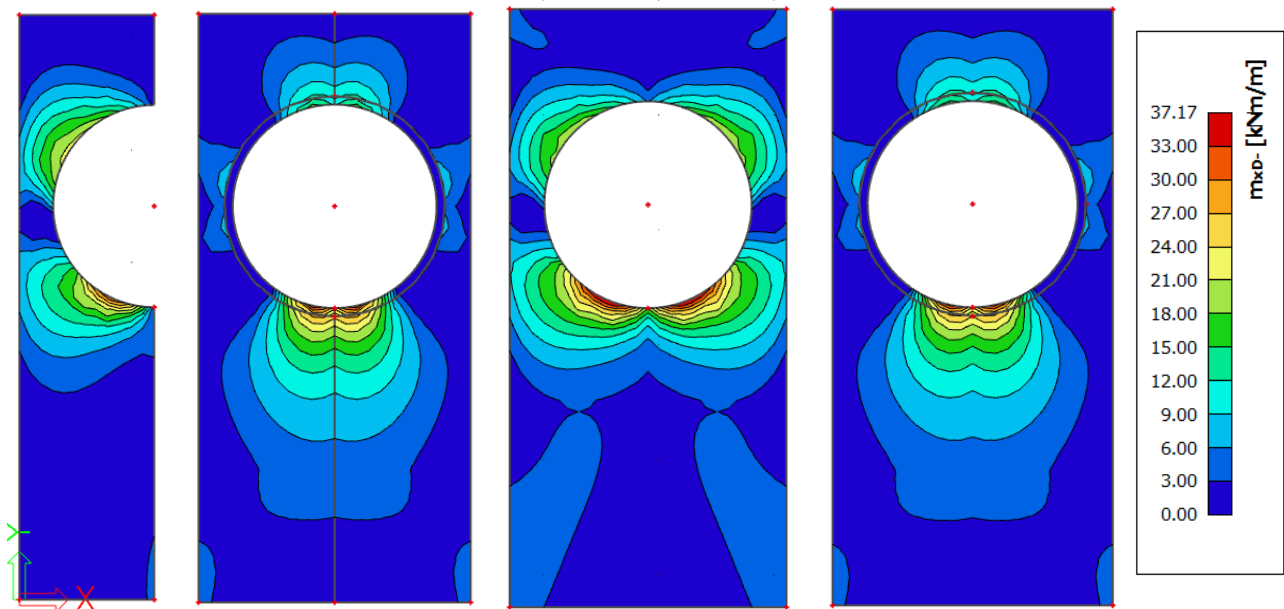
Další výstupy z programu SCIA Engineer 20.0 – potřebné pro návrh



maximální posouvající síla v oblasti otvoru potřebné pro návrh sprážení (příloha 8 a 9)

Vnitřní síly

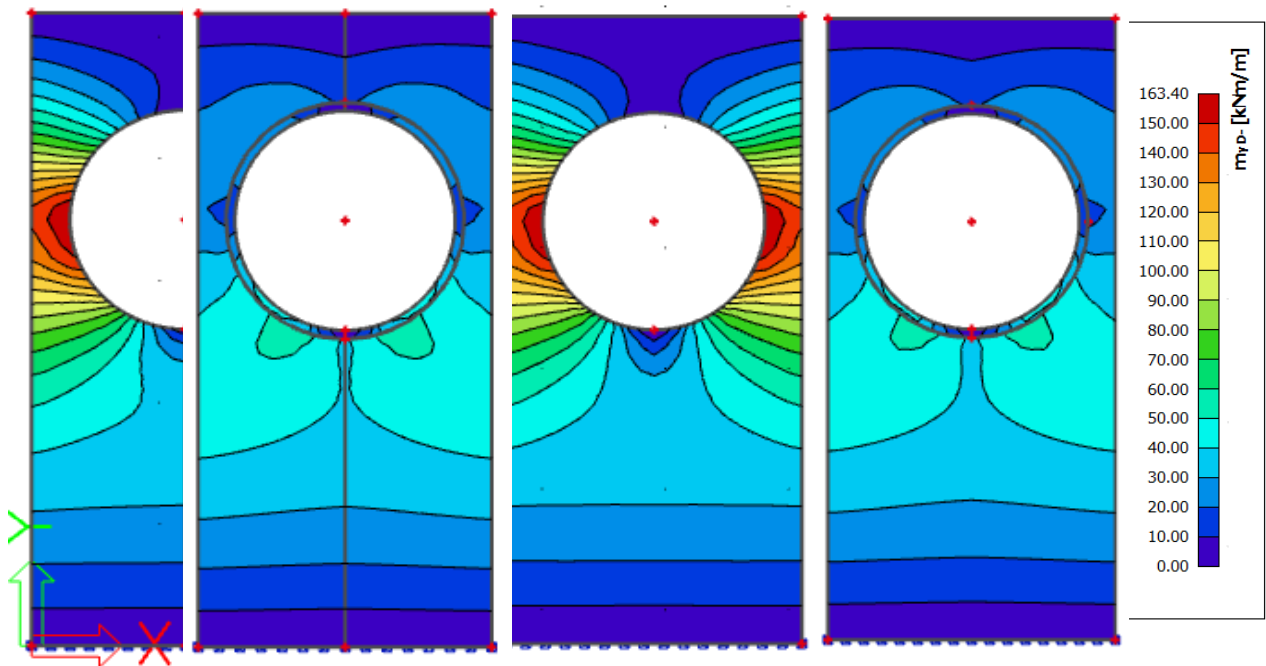
MxD-



Dimenzační návrhový moment ve směru x – kolmo na směr pnutí, potřebné pro návrh – příloha 6

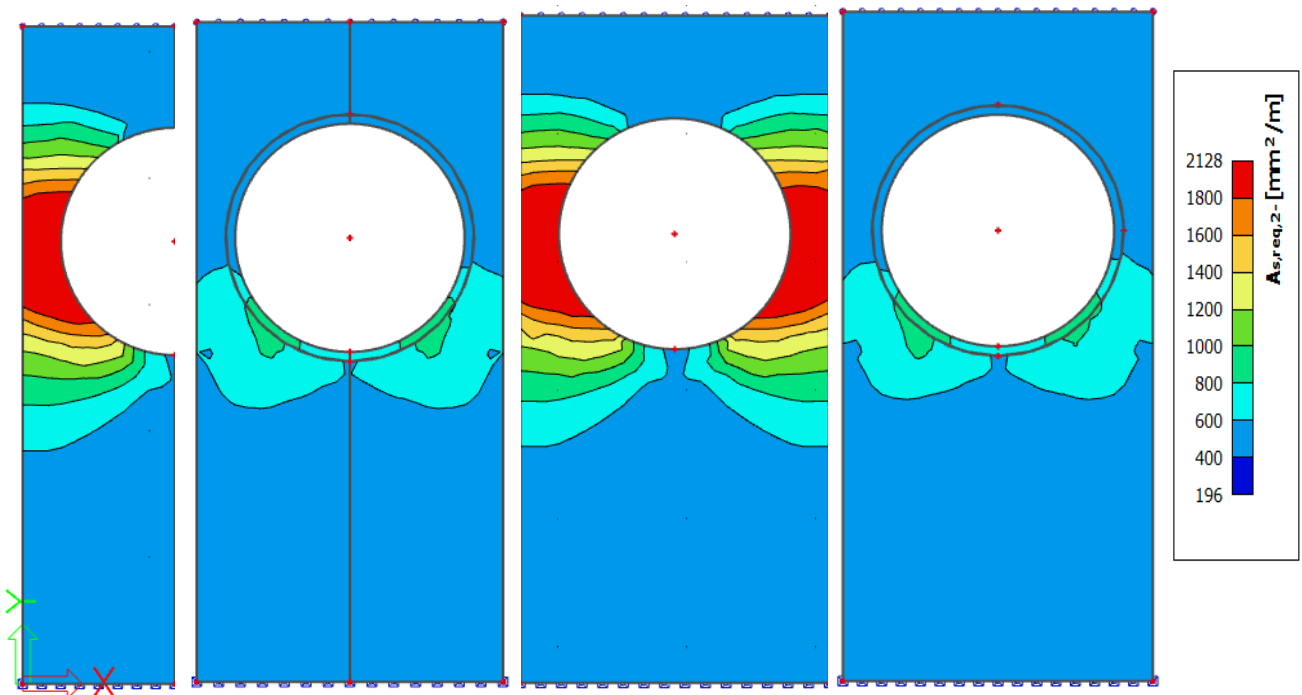
Vnitřní Síly

MyD-



Dimenzační návrhový moment ve směru y – ve směru pnutí, potřebné pro návrh – příloha 6

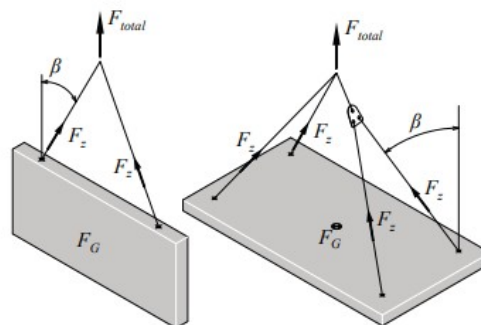
Potřebná výztuž



PŘÍLOHA 10

Návrh manipulačních úchytů – panel 2390 mm

Inclination angle β	Cos β	Diagonal tension z-factor ($1/\cos \beta$)
0.0°	1.00	1.00
15.0°	0.97	1.04
22.5°	0.92	1.08
30.0°	0.87	1.15
37.5°	0.79	1.26
45.0°	0.71	1.41



tabulka – úhel manipulace

Hoist equipment (class)	Dynamic factor Ψ_{dyn}	
Tower crane, portal crane, mobile crane	1.30	
Lifting and moving on flat terrain	2.50	
Lifting and moving on rough terrain	> 4.0	

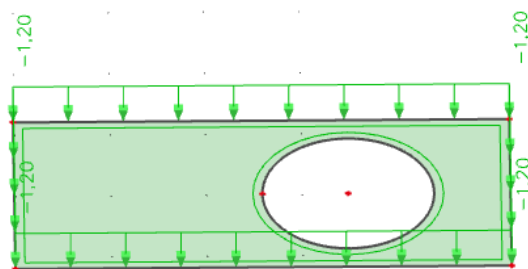
tabulka – dynamický faktor

Ostatní stálé zatížení

- vlastní tíha (generováno programem)

Užitné zatížení

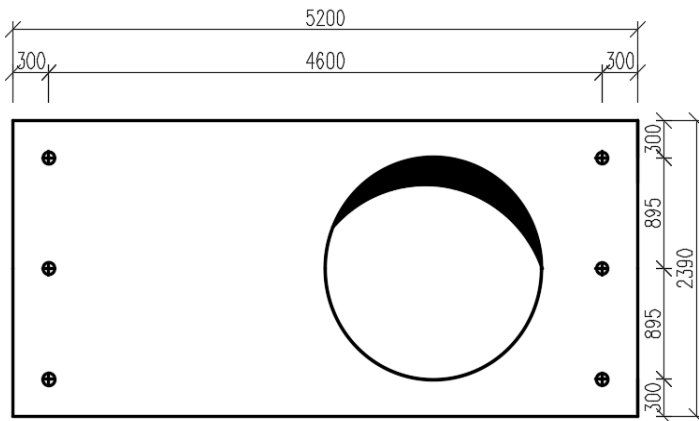
- adheze při vytahování z formy [1,2kN/m²]



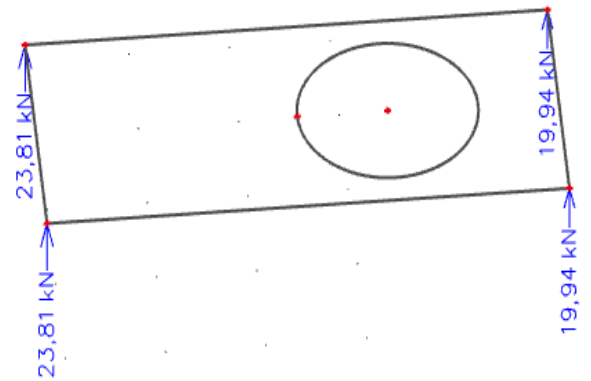
Zatěžovací kombinace:

MSÚ: 1.35 . Vlastní tíha + 1,5 . Užitné

Rozmístění manipulačních úchytů



Manipulační síly



$$F_{ED} = 23,81 \cdot 2 / 3 = 15,87 \text{ kN} - \text{přepočítáno na jeden úchyt}$$

Panel bude zavěšen na šesti manipulačních úchytech, přičemž maximální úhel mezi lanem a panelem může být 30°. Dynamický faktor bude uvažován 1,30 (viz. tabulka – úhel manipulace), vzhledem k tomu, že celá konstrukce je z prefabrikátu (viz. kapitola 3.2 Referenční stavba), bude na staveništi použit jeřáb, nebo silný autojeřáb.

$$\text{Výsledná síla: } F_{ED} \cdot Z\text{-factor}_{30^\circ} \cdot \Psi_{\text{dyn}} = 15,87 \cdot 1,15 \cdot 1,3 = 23,71 \text{ kN}$$

Item No. JRd/JM	Load Class	SRA, WAL, TF, ESA, CSA, SWL for β of 0-45° [kN]	SRA, WAL, TF SWL for γ of 90° [kN]	SRASW SWL for β 0-30° [kN]
12	500	5	2.5	
14	800	8	4	
16	1200	12	6	
18	1600	16	8	
20	2000	20	10	20
24	2500	25	12.5	25
30	4000	40	20	40
36	6300	63	31.5	63
42	8000	80	40	80
52	12500	125	62.5	125

Návrh manipulačního úchytu 24 TF – Peiko TF short 24

$$F_{RD} = 25 \text{ kN} > F_{ED} = 23,71 \text{ kN}$$

... OK