



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

ANALÝZA CHOVÁNÍ STROPNÍCH ŽELEZOBETONOVÝCH DESEK S PROSTUPY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

Autor práce: **Kateřina Lamberková**

Praha 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lamberková Jméno: Kateřina Osobní číslo: 438017
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza chování stropních železobetonových desek s prostupy
Název bakalářské práce anglicky: Analysis of Behaviour of Reinforced Concrete Slabs with Openings
Pokyny pro vypracování:
Geometrie a způsob provádění prostupů, vliv na změnu statického působení desek.
Rozbor variant konstrukčních řešení a jejich vyhodnocení.
Návrh části stropní konstrukce zadaného objektu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21. 2. 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

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 nutné 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“.

22. 2. 2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze za přispění vedoucího bakalářské práce Ing. Martina Típky, Ph.D. Veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 21. 5. 2018

.....

Kateřina Lamberková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Martinu Típkovi, Ph.D. za vedení v průběhu bakalářské práce, za cenné rady, konzultace a přístup. Dále chci poděkovat své rodině za jejich podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá tematikou prostupů železobetonových stropních desek a jejich vlivem na chování konstrukce.

V první části práce jsou popsány základní typy stropních železobetonových konstrukcí, způsob jejich realizace a statické působení v závislosti na geometrii prostupu.

Ve druhé části práce je analyzována železobetonová stropní konstrukce s variantním řešením prostupu. Varianty jsou porovnávány v závislosti na velikosti prostupu a řešení nosné konstrukce z hlediska velikosti ohybových momentů, potřebné plochy výztuže a průhybu desky.

Ve třetí části práce je variantně navržena stropní konstrukce výstavních prostor. Je zpracován předběžný statický výpočet základních nosných prvků objektu a následně porovnány jednotlivé varianty zastropení. Variantní řešení je podloženo výkresy tvaru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, železobetonové konstrukce, stropní konstrukce, prostupy.

ANNOTATION

This bachelor thesis focuses on the evaluation of effects of different types of construction openings on the floor reinforced concrete structures.

In the first part of the thesis, there are described the basic types of floor reinforced concrete structures, the ways of their construction and the corresponding structural impact in dependence on the geometry of the openings.

In the second part, there are analysed the steel reinforced concrete slabs with various solution of openings. The effect of different sizes of the openings and the execution of the supporting construction were evaluated for different bending moments, required reinforcements, and deflection of structures.

In the third part of the thesis, the floor structures for showgrounds are outlined. There are also presented check for the basic supporting elements and the comparison of alternatives. Each alternative is accompanied with the formwork drawing.

KEYWORDS

Concrete, steel reinforced concrete structures, floor structures, openings.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	STROPNÍ KONSTRUKCE A PROSTUPY	9
2.1	Základní typy stropních konstrukcí	10
2.2	Realizace prostupů stropních desek.....	14
2.3	Statické působení desek s prostupy	17
3	STUDIE VLIVU VELIKOSTI PROSTUPU	20
3.1	Tvar konstrukce, vstupní parametry	20
3.2	Výstupy studie	23
3.2.1	Návrhové ohybové momenty stropních desek.....	23
3.2.2	Potřebná plocha výztuže	26
3.2.3	Průhyby stropních desek.....	32
3.3	Porovnání variant.....	34
4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OBJEKTU	37
4.1	Popis objektu	37
4.2	Konstrukční varianty	40
4.3	Porovnání variant.....	44
5	ZÁVĚR	46
	POUŽITÁ LITERATURA	47
Příloha 1:	Statický výpočet	
Příloha 2:	Výkres tvaru 1NP – Varianta A, 1:100	
Příloha 3:	Výkres tvaru 1NP – Varianta B, 1:100	
Příloha 4:	Výkres tvaru 1NP – Varianta C, 1:100	

1 ÚVOD

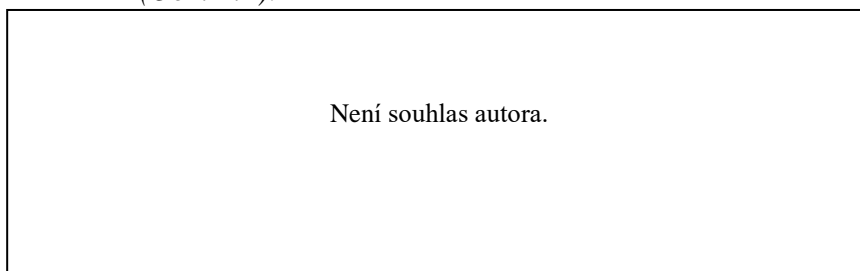
Tématem bakalářské práce je řešení problematiky stropních konstrukcí s prostupy. Prostupy jsou nedílnou součástí každé stropní konstrukce bez ohledu na její materiálové řešení a technologii. Prostupy se používají z mnoha důvodů. Ve stropních konstrukcích se nejčastěji využívají pro rozvody TZB (kanalizace, vodovodu, plynu, topení, vzduchotechniky), dále například jako komunikační prostory pro schodiště a komínové prostupy. Důvodem pro výskyt prostupů může být také vytvoření prosvětlovacích otvorů. Na působení stropní konstrukce má vliv velikost prostupu, jeho tvar a poloha vzhledem ke svislým nosným prvkům. Z hlediska technologického provedení prostupů je rozdíl, zda je otvor prováděn předem nebo dodatečně. V okolí prostupu mohou vznikat větší deformace konstrukce vyplývající ze změny statického působení (směru pnutí). Zmíněné působení má vliv na množství potřebné výztuže i způsob vyztužení a v některých případech může vyžadovat také změnu tloušťky desky. U větších prostupů vzniká potřeba doplnit deskové konstrukce žebry či jinými podpurnými prvky nebo navrhnout trémové stropní konstrukce.

Cílem v bakalářské práci je ukázat a kvantifikovat, jaký vliv mají prostupy na statické působení stropních deskových konstrukcí. Za tímto účelem je zpracována studie variantního řešení železobetonové stropní desky, ve které se vyskytují prostupy různých velikostí a různá konstrukční řešení. V řešených variantách je porovnáván vliv prostupů na ohybové momenty, potřebu výztuže a průhyby desky. Cílem konstrukční části práce je statické řešení reálného objektu s problematikou otvoru ve stropní desce, v návaznosti na ostatní nosné konstrukce. Variantní řešení má vliv zejména na vodorovné nosné prvky, které jsou porovnány z hlediska ohybových momentů a jejich potřeby vyztužení.

2 STROPNÍ KONSTRUKCE A PROSTUPY

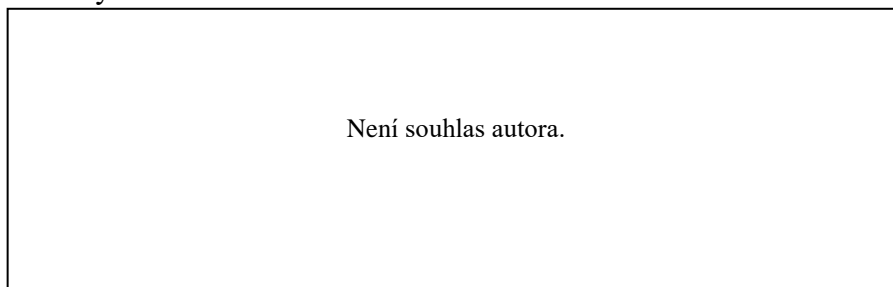
Stropní konstrukce je vodorovný nosný prvek rozdělující budovu na jednotlivá podlaží. Skládá se z nosné části, podlahy a v některých případech i z podhledu. Stropní konstrukce zajišťuje přenos zatížení do přilehlých nosných konstrukcí (stěny, sloupy) a podílí se na tuhosti budovy v horizontálním směru. Současně plní funkci architektonickou, akustickou, protipožární a tepelně technickou [5]. Stropní konstrukce musí mít dostatečnou únosnost a musí odolávat nadměrným průhybům. V případě železobetonové stropní konstrukce tvoří nosnou část obvykle železobetonová deska, která je případně doplněna železobetonovými trámy a průvlaky.

Deska, respektive desková konstrukce je rovinný prvek, u kterého převládají dva rozměry (šířka a délka) nad třetím (tloušťka), a který je namáhán převážně kolmo na svou střednicovou rovinu (*Obr. 2.1*).



Obr. 2.1 – Desková konstrukce [6]

Deska je namáhána převážně ohybovými momenty a posouvajícími silami, v některých případech také normálovou silou a kroucením. Na *Obr. 2.2* jsou vyobrazeny průběhy normálových a smykových napětí po tloušťce desky. Ve spodních vláknech vzniká od kladných momentů tah a u horních vláken tlak.



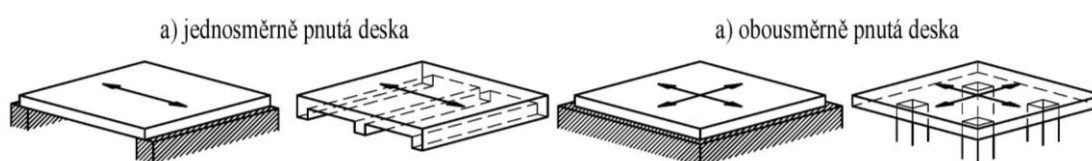
Obr. 2.2 – Průběh napětí po tloušťce desky [6]

Prostupy jsou otvory ve stropní konstrukci, které se používají pro vedení rozvodů TZB (kanalizace, vodovodu, plnu, topení, vzduchotechniky), komínových průduchů, jako komunikační prostor pro konstrukci schodiště i jako prosvětlovací otvory. Prostupy bývají nejčastěji obdélníkového tvaru, ale mohou být i kruhové či mnohoúhelníkové. Tvar, velikost a umístění prostupů ovlivňuje statické chování desky.

2.1 ZÁKLADNÍ TYPY STROPNÍCH KONSTRUKCÍ

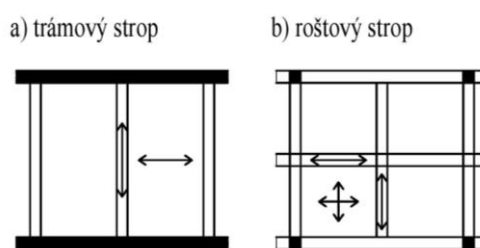
Deskové konstrukce můžeme rozlišovat z hlediska jejich pnutí, způsobu podepření nebo technologie provádění.

Z hlediska pnutí rozdělujeme stropní konstrukce na jednosměrně pnuté, podepřené pouze na dvou protilehlých stranách nebo po obvodě podepřené s poměrem stran větším než 2, a na obousměrně pnuté po obvodě podepřené, s poměrem stran menším než 2 a lokálně podporované desky. Podle způsobu uložení rozdělujeme desky na liniově podepřené stěnami, trámy a průvlaky nebo lokálně podepřené sloupy a krátkými stěnami (Obr. 2.3).



Obr. 2.3 – Deskové konstrukce

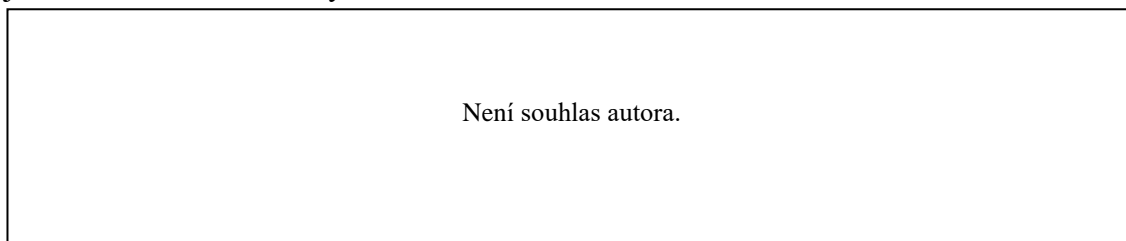
Desky mohou přenášet zatížení přímo do nosných stěn a sloupů nebo jsou jako mezistupeň v přenášení zatížení použity nosné průvlaky a trámy. Trámy mohou být orientovány v jednom nebo v obou směrech. Jsou uloženy na stěny nebo průvlaky a působí jako prosté nebo spojitě nosníky, případně konzoly. Stropy s trámy orientovanými v jednom směru se označují jako trémové nebo žebrové, trámy ve dvou směrech vytvářejí stropy roštové nebo kazetové (rozlišení podle konkrétní vzdálenosti trámů) (Obr. 2.4) [5]. Jednotlivá pole desky mohou působit samostatně, spojitě o dvou a více polích nebo mohou být překonzolovány za líc podpory.



Obr. 2.4 – Stropní trémové konstrukce

Železobetonové desky mohou být realizovány jako plné nebo při větším rozpětí polí jako vylehčené. Tím lze eliminovat negativní skutečnost, že při zvětšujících se rozpětích se zvyšuje tloušťka desky a tím i vlastní tíha desky. Vylehčení se provádí pomocí vložek v jednom nebo v obou směrech a vložky mohou být zabudované v konstrukci nebo vyjímatelné. Žebrové a kazetové stropní konstrukce můžeme pokládat za desky, pokud splní požadované podmínky [9].

Lokálně podepřené desky (*Obr. 2.5*) jsou pnuté ve dvou směrech a jsou podporované sloupy. Sloupy mohou být s hlavicemi viditelnými nebo skrytými v desce, u kterých vzniká rovný podhled a tím i snazší konstrukce bednění. U lokálně podepřených desek je nutné zajistit desku proti protlačení buď pomocí výztuže na protlačení (smykové trny a lišty) nebo pomocí už zmíněných hlavic. Hlavice mohou mít tvar komolého jehlanu, kužele, mohou být lomené a deskové [9].

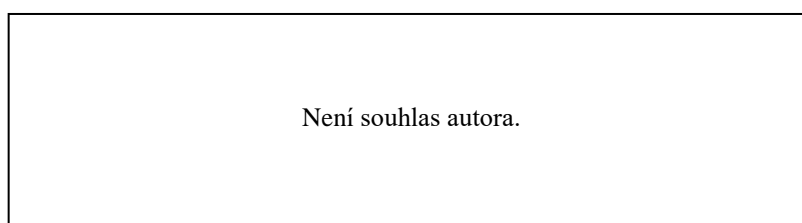


Obr. 2.5 – Lokálně podepřené desky [9]

Z hlediska technologie provádění dělíme stropní konstrukce na monolitické, prefabrikované a prefamonolitické (spřažené).

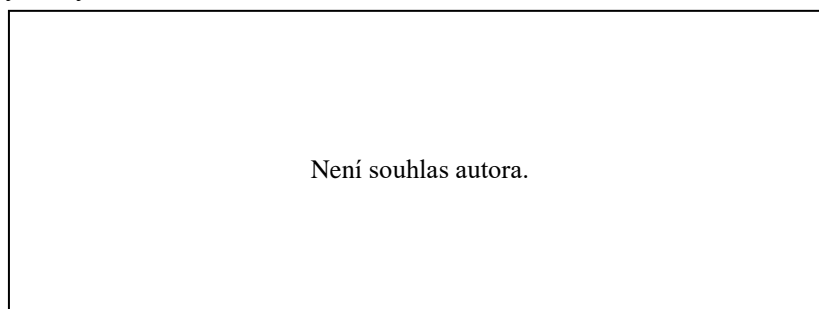
V případě **monolitické konstrukce** se čerstvý beton ukládá do bednění (formy) na místě stavby. V současnosti převažují systémová bednění (průmyslově vyráběná) před prvky tradičního bednění (tesařské). Výhodou těchto konstrukcí je tvarová variabilita a ztužení objektu v horizontálním směru vlivem spojitosti konstrukce. Hlavní nevýhodou monolitické konstrukce je mokrá proces betonáže, závislost na klimatických podmínkách, pracná stavba bednění, vyvazování výztuže a délka výstavby. Monolitické konstrukce se mohou provádět jako předem i dodatečně předpínané. Desky prostě uložené můžeme navrhnout na rozpětí až 6,0 m.

Monolitické stropy provádíme deskové jednosměrně i obousměrně pnuté, lokálně podepřené se skrytými nebo viditelnými hlavicemi, trámové konstrukce žebrové, roštové a kazetové nebo sklobetonové (skloželezobetonové) [5].



Obr. 2.6 – Deskový sklobetonový strop [5]

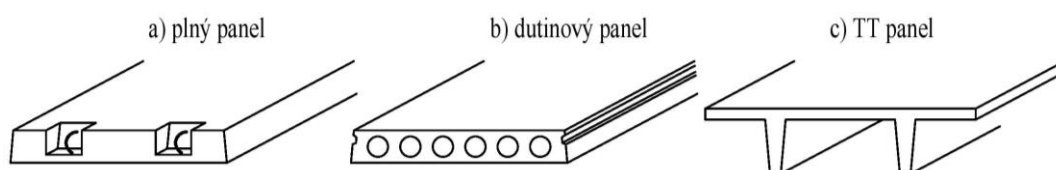
Z hlediska provádění bednění je nejjednodušší desková konstrukce s rovným podhledem. Rovný podhled lze vytvořit i u konstrukcí trémových použitím ztraceného bednění (např. keramických vložek, vložek z lehkého betonu nebo bedniček) nebo můžeme trémovou konstrukci stropu přiznat a použít vyjímátné vložky z plastových nebo kovových výlisků (Obr. 2.7) [9].



Obr. 2.7 – Vylehčené monolitické stropy pomocí bedniček a vložek [9]

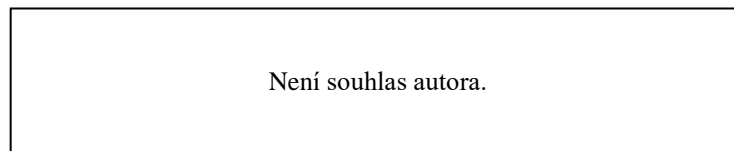
U **prefabrikovaných konstrukcích** odpadá mokřý proces výstavby, což je jedna z výhod oproti monolitickým konstrukcím. Výroba jednotlivých prvků probíhá v betonárce, na stavbě se provádí již pouze montáž dílců a zmonolitnění styků. Z toho plynou výhody jako rychlost výstavby, kvalita prvků a okamžitá únosnost po zabudování do konstrukce. Jedna z nevýhod prefabrikovaných konstrukcí je menší tvarová variabilita oproti monolitickým konstrukcím, složitější doprava prvků na stavbu, komplikace spojené s jejich manipulací na stavbě a nutnost řešení detailů uložení či napojení dílců. U prefabrikovaných desek je náročnější zajistit tuhost ve vodorovném směru pomocí spojení jednotlivých dílců. Prefabrikované stropní konstrukce se provádí jako nepředpjaté na menší rozpětí nebo předpínané [9].

Prefabrikované stropní konstrukce se provádí z plných panelů nebo vylehčených panelů pomocí dutin, při větších rozpětích a zatíženích lze použít panely předpjaté nebo TT panely (Obr. 2.8). Předpjaté stropní panely jsou únosnější, využívají se na větší rozpětí a mají i menší výšku oproti plným panelům. Únosnost typových prvků je obvykle dána výrobcem v závislosti na výšce a rozpětí panelu. Plné desky používáme do rozpětí cca 6,0 m. Dutinové panely a předpjaté panely na rozpětí 12 až 15 m [9].



Obr. 2.8 – Prefabrikované panely

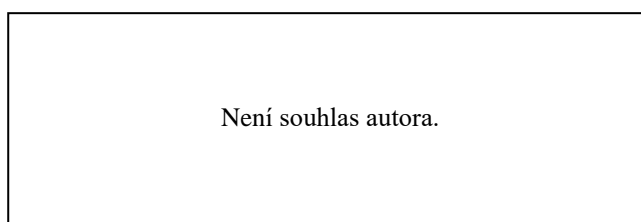
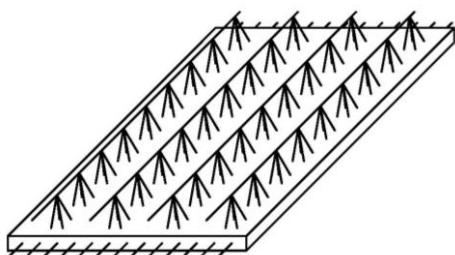
Dalším typem prefabrikovaných stropů jsou železobetonové panely s vylehčením pomocí keramických vložek (Obr. 2.9). Vložky se kladou ve směru pnutí panelu, mezi vložky se vloží výztuž, a ta se poté zabetonuje tak, že panel tvoří skrytou žebrovanou konstrukci.



Obr. 2.9 – Keramický stropní panel [7]

Prefamonolitické konstrukce spojují výhody monolitických a prefabrikovaných konstrukcí. Prefabrikovaná část stropní konstrukce tvoří ztracené bednění pro monolitickou část. Spřažení typu beton-beton se skládá z prefabrikované tenké desky s tahovou výztuží a s částečně zabetonovanou spřahovací výztuží. Deska tvoří ztracené bednění pro monolitickou dobetonovanou vrstvu (Obr. 2.10). Při montáži se většinou prefabrikovaná deska dočasně podepře, aby přenesla zatížení od čerstvého betonu, než nabyde plné únosnosti. Stropní konstrukce pak obvykle odpovídá železobetonové monolitické stropní konstrukci. Výhodou je zrychlení procesu výstavby a úspora bednění oproti monolitické konstrukci.

Spodní povrch prefabrikované desky je upravený, horní povrch je zdrsňen a ošetřován tak, aby následně došlo k dostatečně únosnému spojení s monolitickou částí konstrukce pomocí smykových sil a výztuže. Spřahovací výztuž vyčnívá z prefabrikované desky a je tvořena prostorovou příhradovinou. Desky se provádí buď s rovnými čely nebo s připravenou vyčnívající výztuží [9].



Obr. 2.10 – Prefabrikovaná deska – filigrán [11]

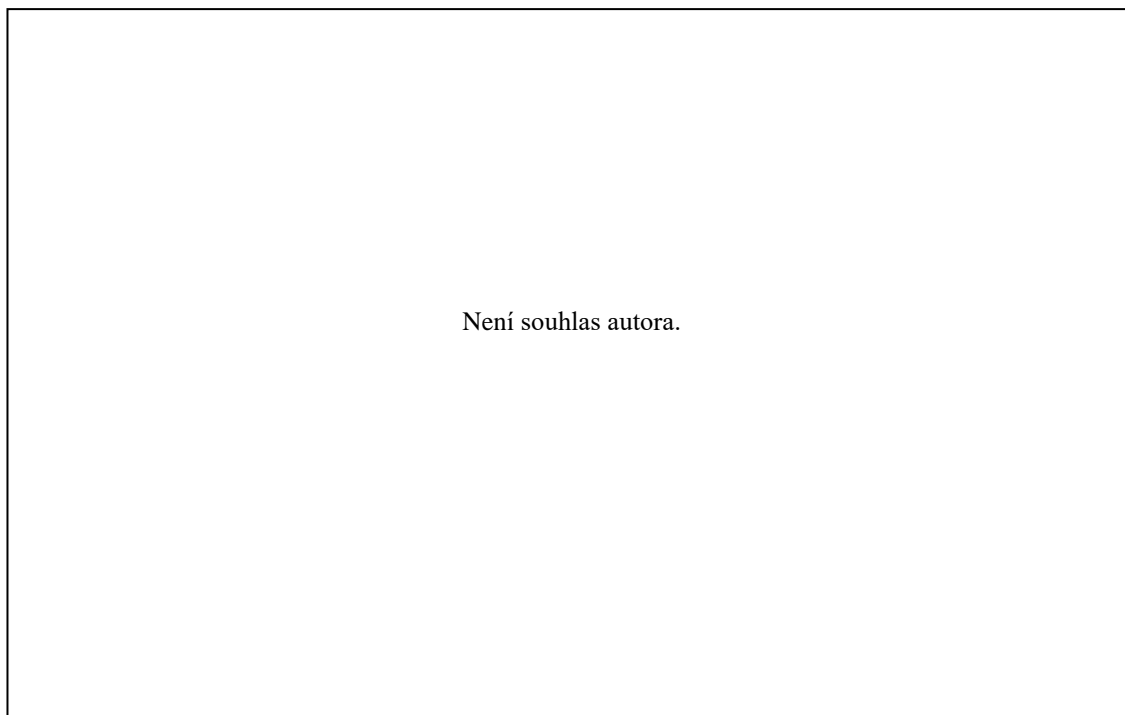
2.2 REALIZACE PROSTUPŮ STROPNÍCH DESEK

Při realizaci prostupů ve stropní konstrukci je rozhodující volba technologie provádění desky a také skutečnost, zda je otvor prováděn předem nebo dodatečně. Od toho je odvozen způsob provádění prostupů a vyztužování desek.

V případě **monolitické stropní konstrukce** máme největší variabilitu provedení prostupů oproti dalším technologiím. Při návrhu můžeme zohlednit změnu statického působení desky vlivem prostupu a její případné působení na okolní stropní konstrukce. Následně se provede návrh výztuže. Její tvar a umístění se v závislosti na velikosti otvoru přizpůsobí navrženému prostupu ve stropní konstrukci.

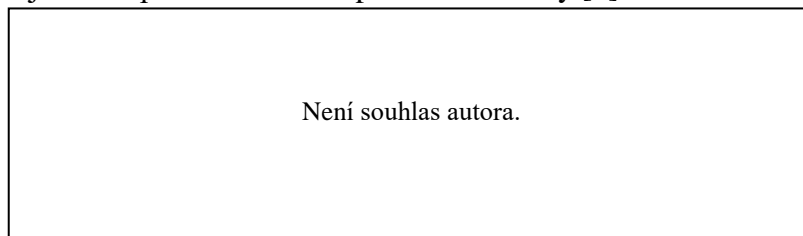
Při provádění stropní konstrukce je na místě stavby postaveno systémové bednění, které je připraveno tak, aby po zalití čerstvým betonem měla stropní konstrukce požadovaný tvar. Konstrukce bednění je připravena i pro plánované prostupy. Větší prostupy se bední pomocí prvků systémového bednění a menší se zajistí pomocí tesařských výrobků, například vyrobených bedniček z dřevěných desek.

U **prefabrikovaných stropních konstrukcí** nemá provádění prostupů takovou variabilitu jako u monolitických stropů. Velikost a polohu prostupu ve stropní desce se co nejvíce snažíme přizpůsobit tvaru prefabrikátu, co nejméně narušit panel a nosnou výztuž, a zbytečně nezasahovat do působení více panelů, než je nutné. Nebo můžeme upravit tvar a rozměry panelu s přizpůsobit výztuž (*Obr. 2.11*).



Obr. 2.11 – Příklad provedení prostupu železobetonovým panelem [9]

Výrobci prefabrikovaných dílců mají obvykle vlastní doporučení, jaké prostupy a jak lze na jednotlivých dílcích realizovat. Jedná se především o dodržování geometrie prostupu, aby nedošlo ke statickému narušení dílce. Rozlišují otvory podle velikosti, umístění v panelu (vzdálenost k podporám), procentuálního snížení únosnosti panelu a udávají, zda je nutné panel dodatečně posoudit staticky [8].

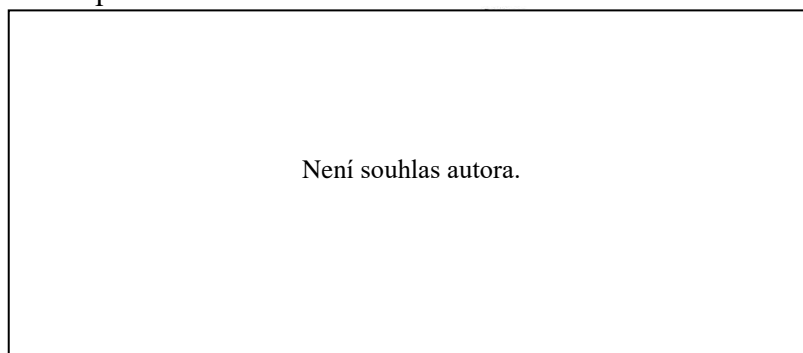


Obr. 2.12 – Příklad vedení prostupů předpjatým TT panelem [9]

U vylehčených panelů s běžnou výztuží je nutné při provedení prostupu panel staticky posoudit. Menší prostupy se provádí pomocí prosekávání do maximální šířky dutiny, přičemž výztužná lana nelze dodatečně přerušit, panel by ztratil svoji požadovanou únosnost [10]. Při provádění větších prostupů se ve skladbě stropu panel vynechá a v ostatních částech v okolí prostupu se případně provede dobetonování.

Při výrobě předpjatého panelu se předepnou výztužná lana při spodním, popřípadě i horním povrchu desky a poté je pomocí šnekové soustavy extrudéru protlačován čerstvý beton. Při prostupech prováděných předem se čerstvý beton odstraní z místa prostupu a v panelu se ponechá předepnutá výztuž. Panel se po dosažení požadované pevnosti nařeže na potřebné délky. Teprve po umístění panelu na stavbu se nepotřebná výztuž v místě prostupu přeruší. Při provádění prostupů až na místě stavby se používají diamantové nástroje a desky se jimi vrtají nebo řezají [8].

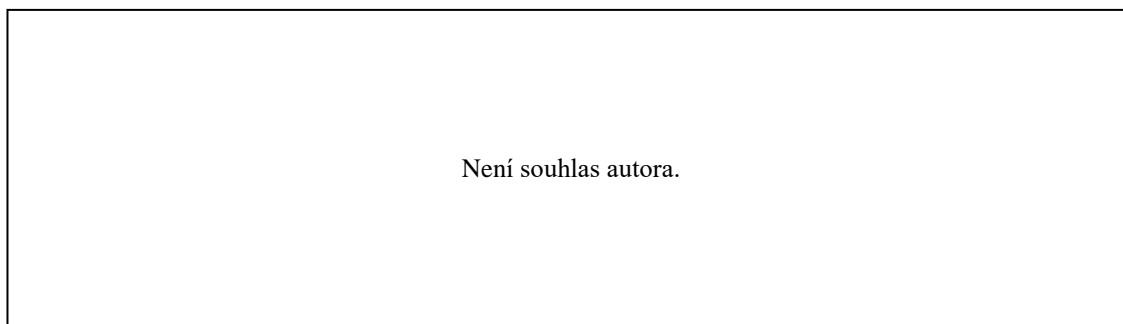
Šířka panelů je výrobci obvykle předem specifikována. Pokud je nutné panel řezat v podélném směru, je vhodné vést řez mezi hlavní ohybovou výztuží místem dutiny tak, aby byla dodržena minimální krycí vrstva betonu a nenarušilo se působení výztuže v prefabrikovaném panelu.



Obr. 2.13 – Příklad vedení prostupů dutinovým panelem (Prefa Brno) [8]

Řez v příčném směru panelu se může provádět přes jednu i více dutin a musí být proveden tak, aby přetínal co nejméně výztužných lan, v místě podpory porušoval co nejméně žeber a aby byla dodržena minimální krycí vrstva výztuže. Tato porušení mají vliv na únosnost v ohybu a ve smyku.

Lze také vytvořit prostupy na celou šířku dílce, které se provádí pomocí ocelových výměn (*Obr. 2.14*). Prostup se umístí na šířku panelu a do otvoru se umístí výměny. Ocelová výměna je speciální ocelový profil, který nahrazuje místo uložení panelu a přenáší zatížení do dvou přilehlých panelů.



Obr. 2.14 – Ocelová výměna u dutinových panelů (Prefa Brno) [8]

U **spřažených stropních konstrukcí** se otvor do desky provádí před uložením čerstvého betonu podobně jako u prefabrikovaných desek, poté se umístí bednění na místo prostupu a konstrukce se zmonolitní. Metody provádění otvorů jsou obdobné, jako u samostatných monolitických nebo prefabrikovaných konstrukcí. Větší prostupy zajišťuje převážně výrobce a když jsou splněny dané podmínky mohou se prostupy dodatečně provádět i přímo na stavbě. U prefamonolitických konstrukcí je třeba dbát, podobně jako u prefabrikovaných, na množství přerušené nosné výztuže ve filigránové desce nebo panelu. V případě monolitické vrstvy se otvoru přizpůsobí rozmístění výztuže (výztužné sítě) podle velikosti prostupu, jak již bylo zmíněno u monolitických stropních konstrukcí.

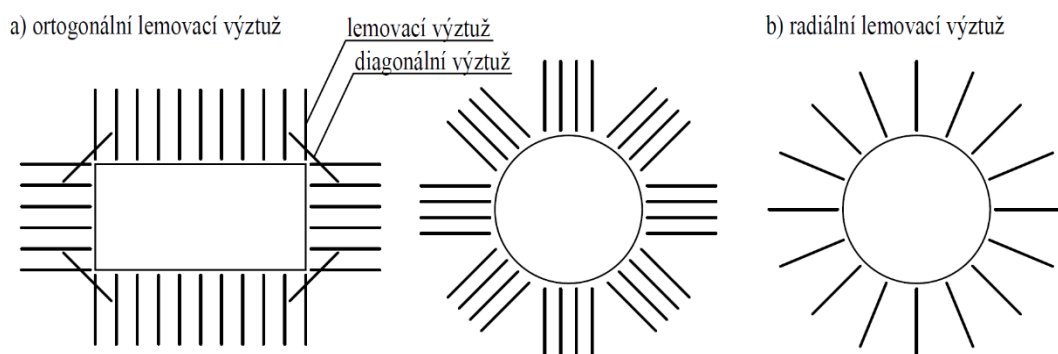
2.3 STATICKÉ PŮSOBENÍ DESEK S PROSTUPY

Z hlediska vlivu geometrie prostupů na statické působení desek se musí přihlížet k velikosti otvoru, tvaru a jeho umístění. Z hlediska technologie je rozdíl, zda je otvor prováděn předem nebo dodatečně. Výrazný vliv mají otvory zejména na deskové stropní konstrukce bez trámů nebo žeber. Trámy vždy zkracují rozpon deskových konstrukcí nebo tvoří takové podpory, mezi kterými jde prostup vytvořit jednodušeji bez většího zásahu do statického působení stropní konstrukce.

V případě realizace **malých otvorů** není dopad na chování konstrukcí příliš velký a vliv na statický výpočet je minimální. Při provádění velmi malých otvorů, například provedení kanalizace či vodovodu, se vyztužení v okolí otvoru neupravuje. V případě většího otvoru se v okolí otvoru zesílí podélná výztuž a doplní výztuž lemovací. V desce se navrhne pravidelná síť výztuže, výztuž přerušená otvorem se nahradí příložkami po obvodu otvoru. Příložky musí být zakotveny od kraje prostupu na minimální délku přesahu l_0 [9]. Při provádění prostupů dodatečně se u malých otvorů nemusí zhotovovat žádné úpravy nosné výztuže. Ideální je provést otvor mezi hlavní nosnou výztuží, pokud má dostatečné rozteče mezi jednotlivými pruty. Pokud se otvor nachází v místě s velkým lokálním zatížením nebo v oblasti koncentrovaného smyku je nutné vliv otvoru vždy staticky ověřit a provést případné dodatečné úpravy [9].

Velké prostupy (500 x 500 mm a větší) se musí u statického působení desky a návrhu výztuže vždy zohlednit. Okolo velkých prostupů a u desek větší tloušťky je nutné v okolí prostupu zhustit výztuž, otvor lemovat (*Obr. 2.15*) a v rozích prostupu doplnit diagonální výztuž. Při provádění velkých otvorů dodatečně je nutné zohlednit, jaké množství nosné výztuže je přerušeno a následně se musí navrhnout dodatečné úpravy, (např. vložení ocelového nosníku). Ve statickém návrhu je nutné uvažovat také otvory, které se nachází v oblastech koncentrovaného smyku, jako jsou oblasti okolí sloupů u lokálně podepřených desek a místa zatížená osamělými břemeny [9].

Pro vyztužení okolí otvorů se používá **lemovací výztuž**, která se umísťuje v závislosti na tvaru prostupu a směru pnutí hlavní výztuže. U prostupů mnohoúhelníkových se lemovací výztuž umísťuje kolmo na jednotlivé hrany otvoru. U kruhových prostupů se lemovací výztuž umísťuje podle velikosti prostupu buď v úsecích rovnoběžně nebo po celém obvodu prostupu radiálně (*Obr. 2.15*).



Obr. 2.15 – Příklad směrů lemovací výztuže

U deskových konstrukcích vznikají po stranách otvoru zatíženější pruhy o šířce přibližně dvojnásobku až trojnásobku tloušťky desky, ve kterých je nutné navrhnout zesílení výztuže. Vznikají tak skryté nosníky, které přenáší větší zatížení z přilehlých částí desky.

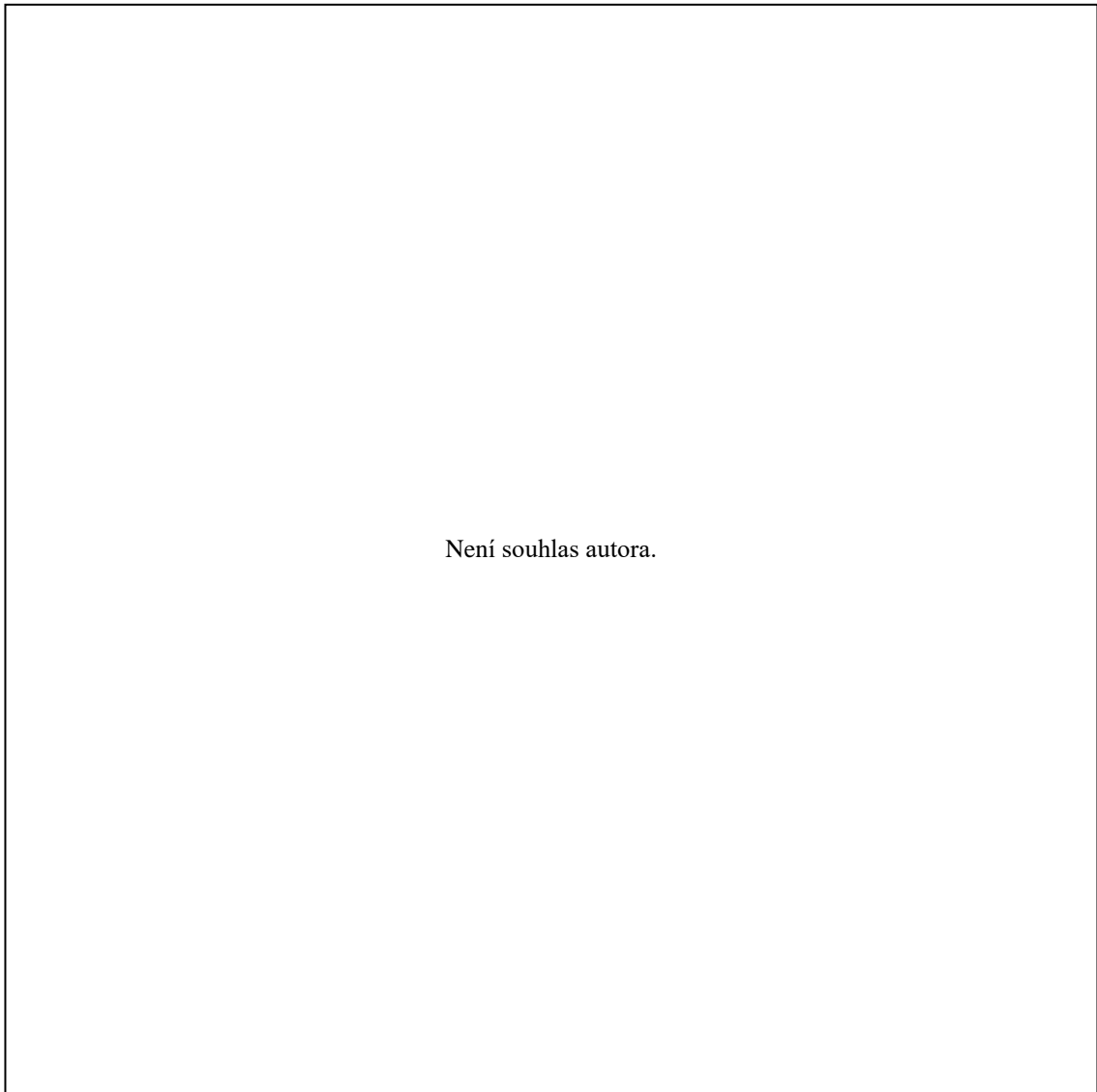
U **lokálně podepřených desek** není nutné přihlížet ke změně výpočtu ohybových momentů při splnění následujících konstrukčních kritérií [9]:

- Mezi otvory musí být dodržena minimální vzdálenost, která se rovná trojnásobku délky otvoru v daném směru.
- Pro rozměry na *Obr. 2.16* musí také platit:

$$a_1 \leq 0,1s_1 \quad \Sigma a_1 \leq 0,125s_1 \quad b_1 \leq 0,1s_A \quad \Sigma b_1 \leq 0,125s_A ;$$

$$a_2 \leq 0,2s_1 \quad \Sigma a_2 \leq 0,25s_1 \quad b_2 \leq 0,1m_A \quad \Sigma b_2 \leq 0,25m_A ;$$

$$a_3 \leq 0,4m_1 \quad \Sigma a_3 \leq 0,5m_1 \quad b_3 \leq 0,4m_A \quad \Sigma b_3 \leq 0,5m_A .$$



Obr. 2.16 – Prostupy v lokálně podepřené desce [9]

Prostup u lokálně podepřené desky má vliv také na oblast v blízkosti styčné plochy, kde se redukuje kontrolovaný obvod, pokud se otvor vyskytuje ve vzdálenosti $\leq 6d$ od nejbližšího okraje prostupu [9].

3 STUDIE VLIVU VELIKOSTI PROSTUPU

Pro účely prokázání vlivu prostupů na chování železobetonové stropní desky byla zpracována studie. Základním modelem je plná monolitická železobetonová stropní deska uložená na liniové podpory. V ostatních modelech jsou použity prostupy různých velikostí a různá konstrukční řešení. Pro účely porovnání jsou záměrně všechny varianty desky stejného rozměru a tloušťky, je použit jeden druh podepření a ve všech variantách je zadán jeden typ betonu a oceli. Ve variantě A je pro porovnání s ostatními variantami deska modelována bez prostupů. Ve variantě B se nachází menší prostup ve středu desky a ve variantě C je tento prostup zvětšen. Ve variantě D jsou desce přidány podporové trámy po stranách prostupu z varianty C (Obr. 3.1). Na desky působí celoplošně zatížení vlastní tíhou, ostatní stálé a proměnné zatížení.

3.1 TVAR KONSTRUKCE, VSTUPNÍ PARAMETRY

Pomocné výpočty jsou provedeny pomocí programu SCIA Engineer 17.01 a stropní deska je modelována jako 2D konstrukce, pro variantu D s trémem byl model řešen jako 3D konstrukce. Výpočty byly provedeny podle ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí [1].

Pro výpočet vnitřních sil a minimální potřebné plochy výztuže byla použita kombinace pro mezní stav únosnosti (MSÚ) a základní kombinaci zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.1)$$

- kde P je zatížení od předpětí, které zde není uvažováno
 $G_{k,j}$ stálé zatížení
 $Q_{k,1}$ hlavní proměnné zatížení
 $Q_{k,i}$ vedlejší proměnné zatížení, které zde není uvažováno
 γ_G dílčí součinitel stálého zatížení; $\gamma_G = 1,35$
 γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení; $\gamma_Q = 1,50$

Na posouzení průhybů byla vytvořena kombinace podle mezního stavu použitelnosti (MSP) pro kvazistálé zatížení:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.2)$$

kde P je zatížení od předpětí, které zde není uvažováno

$G_{k,j}$ stálé zatížení

$Q_{k,i}$ vedlejší proměnné zatížení

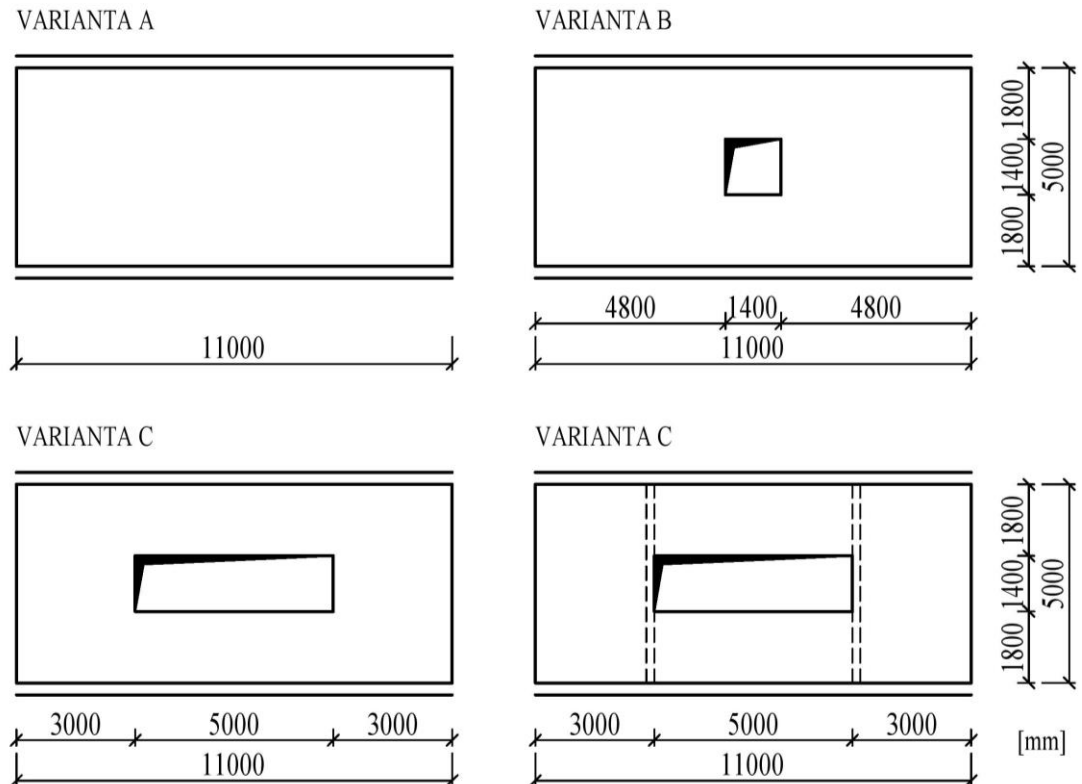
Ve výpočetním modelu je deska cíleně podepřena pomocí pevného kloubu, aby v konstrukci byly vyvozeny největší možné ohybové momenty pro variantní posouzení konstrukce.

Varianty konstrukce jsou porovnávány z hlediska rozložení vnitřních sil (ohybových momentů), potřebného množství výztuže a dlouhodobých průhybů deskové konstrukce.

Vstupní parametry:

- Použité materiály:
 - Beton C25/30
 - Ocel B500B
- Zatížení:
 - Vlastní tíha konstrukce: výpočet podle SCIA Engineer 17.01
 - Ostatní stálé zatížení: $g_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$
 - Proměnné zatížení: $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Nominální hodnota krytí: $c_{\text{nom}} = 25 \text{ mm}$
- Tloušťka stropní desky: $h_d = 200 \text{ mm}$

Ve všech variantách jsou desky podepřeny liniově pevnými klouby na delších okrajích. Varianta A představuje jednosměrně pnutou desku působící jako prostý nosník bez prostupů a slouží jako referenční k následujícím variantám desek s prostupem. Variantu B tvoří deska s menším prostupem 1,4 x 1,4 m, který se nachází ve středu řešené stropní konstrukce. Ve variantě C je prostup zvětšen na 5 x 1,4 m. Ve variantě D je stropní konstrukce z varianty C doplněna zesilujícími trámy umístěnými po stranách prostupu. Trámy mají rozměry 200 x 450 mm. Přehled všech variant je zobrazen na *Obr. 3.1*.



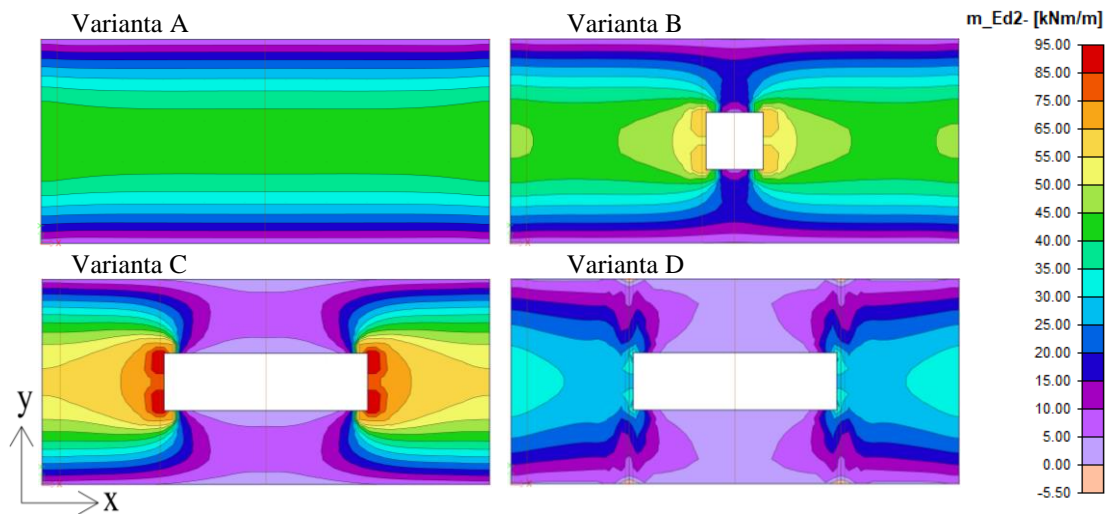
Obr. 3.1 – Schémata variant stropní desky

3.2 VÝSTUPY STUDIE

3.2.1 NÁVRHOVÉ OHYBOVÉ MOMENTY STROPNÍCH DESEK

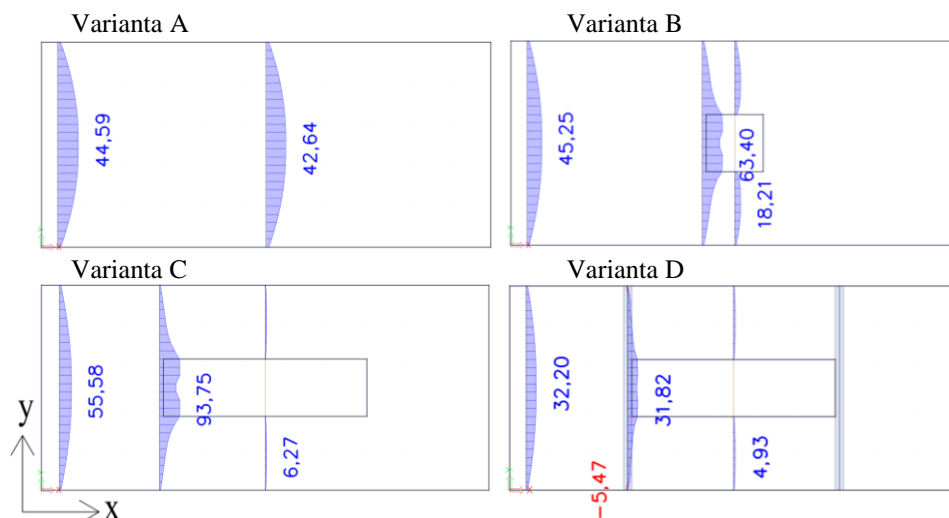
Ohybové momenty ve směru osy y:

Hlavní nosná výztuž je ve všech variantách orientovaná ve směru osy y. Hlavní rozdíl mezi variantami v ohybových momentech tvoří hlavně okolí prostupu. Po stranách prostupů vznikají více namáhané pruhy, ve kterých je nutno zhustit výztuž, šířka zatíženého pruhu se uvažuje jako dvojnásobek až trojnásobek tloušťky desky.



Obr. 3.2 – Návrhové ohybové momenty ve směru osy y

S velikostí prostupu roste i ohybový moment v okolí prostupu (Obr. 3.2). Pro porovnání hodnot ohybových momentů jsou deskou vedeny řezy ve směru osy y na kraji desky, v polovině desky a v těsné blízkosti prostupu (Obr. 3.3). V následující tabulce (Tab. 3.1) je uvedeno porovnání ohybových momentů v těchto řezech a jejich patrný nárůst v závislosti na velikosti otvoru ve variantě B a C oproti variantě A.



Obr. 3.3 – Návrhové ohybové momenty ve směru osy y [kNm/m] – řezy

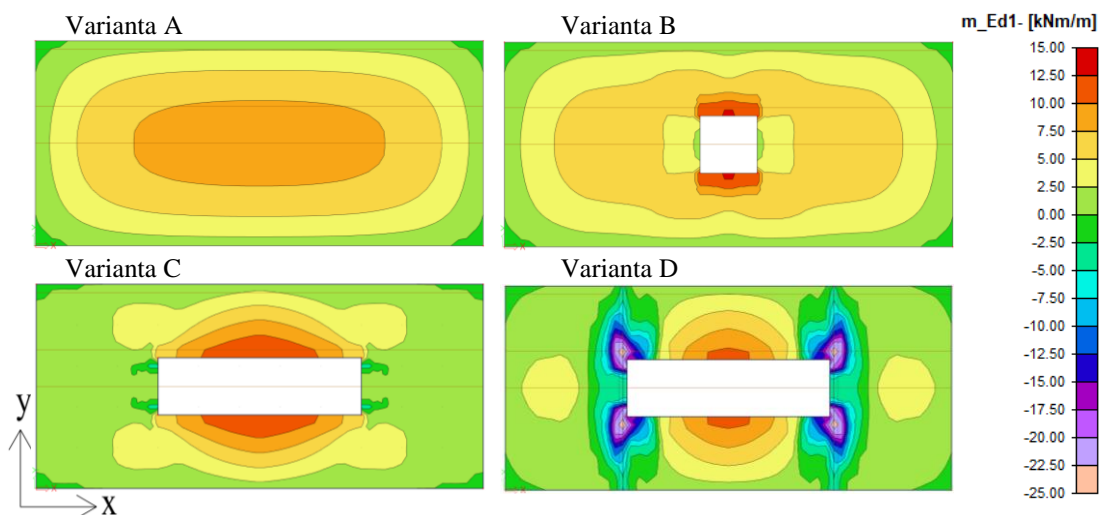
Tab. 3.1 – Porovnání ohybových momentů v poli ve směru osy y na řezech desky z Obr. 3.3

Řez	Kraj desky		Okolí otvoru		Polovina desky	
	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]
Varianta A	44,59	100,0	42,64	100,0	42,64	100,0
Varianta B	45,25	101,5	63,40	148,7	18,21	42,7
Varianta C	55,58	124,6	93,75	219,9	6,27	14,7
Varianta D	32,20	72,2	31,82	74,6	4,93	11,6

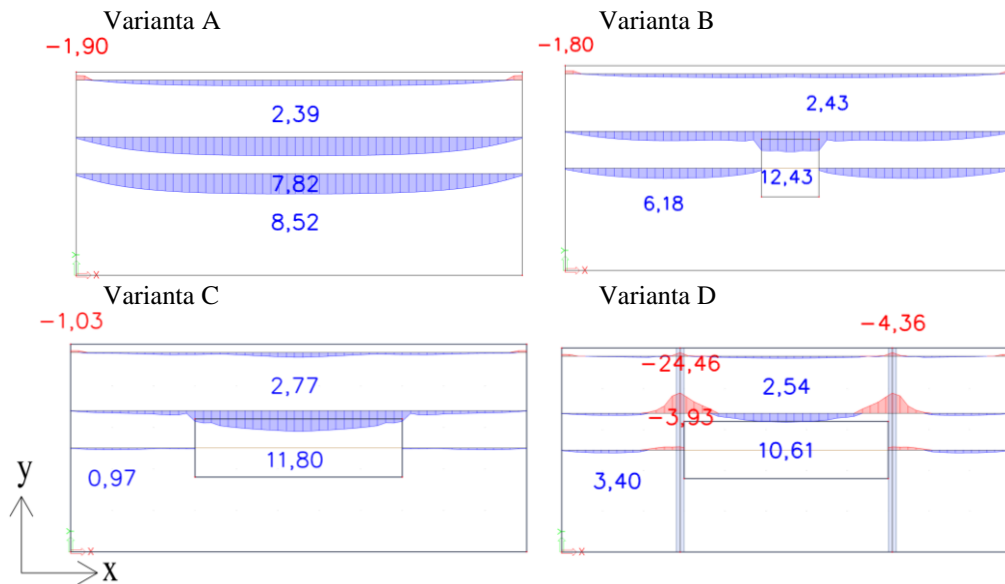
V tabulce (Tab. 3.1) jsou porovnávány desky s prostupy (varianta B, C a D) s referenční variantou A bez prostupu. Na kraji desky není mezi ohybovými momenty tolik znatelný rozdíl jako v okolí prostupu, kde u varianty C dochází k nárůstu ohybových momentů dvakrát oproti variantě A. Z tabulky je patrné, že v polovině desky se ve variantě B v okolí prostupu již začíná přenášet zatížení ve směru x, a tedy vidíme pokles momentu o polovinu oproti variantě A. Se zvětšující se délkou prostupu se tato hodnota dále snižuje u varianty C a D. Ve variantě D, po přidání trámu, jsou momenty na řezech naopak menší než u referenční varianty a je vidět že deska je méně namáhána.

Ohybové momenty ve směru osy x:

Ve směru osy x se u prostě podepřených desek umísťuje výztuž rozdělovací. Ve variantách je ale patrné, že v okolí prostupu je nárůst ohybových momentů ve směru x, ve kterém se přenáší více zatížení se zvětšující se délkou prostupu (Obr. 3.4).



Obr. 3.4 – Návrhové ohybové momenty ve směru osy x

Obr. 3.5 – Návrhové ohybové momenty ve směru osy x [kNm/m] – řezy

V okolí prostupu dochází ke zvýšení ohybových momentů jako ve směru y , ale hodnoty momentů u variant s prostupy oproti prosté desce nejsou znatelně rozdílné. U varianty D dochází vzhledem k umístění trámových podpor k nabývání záporných hodnot ohybových momentů a je tedy nutné desku vyztužit desku i u horního povrchu (Obr. 3.5). Hodnoty na řezech desky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.2) a porovnány.

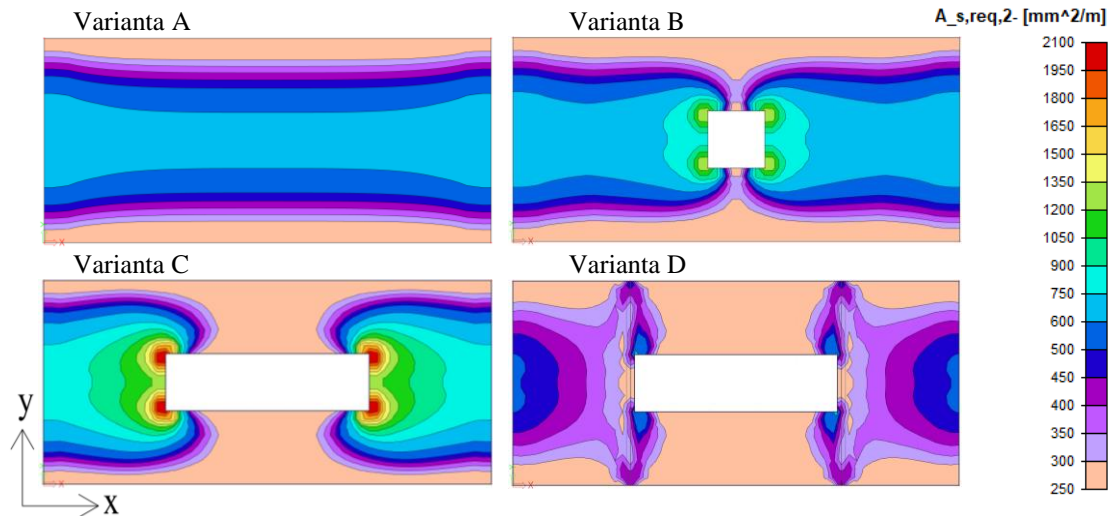
Tab. 3.2 – Porovnání ohybových momentů v poli ve směru osy x na řezech desky z Obr. 3.5

Řez	Kraj desky		Okolí otvoru		Polovina desky	
	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]	[kNm/m]	[%]
Varianta A	2,39	100,0	7,82	100,0	8,52	100,0
Varianta B	2,43	101,7	12,43	159,0	6,18	72,5
Varianta C	2,77	115,9	11,80	150,9	0,97	11,4
Varianta D	2,54	106,3	10,61	135,7	3,40	39,9

Z tabulky (Tab. 3.2) je patrné že na kraji desky jsou ohybové momenty téměř totožné. V okolí otvoru se momenty zvyšují, nejvíce u varianty B s malým prostupem. Největší rozdíl ohybových momentů tvoří polovina desky. Se zvětšujícím se otvorem se snižuje hodnota ohybového momentu, u varianty C téměř na desetinu varianty A. Na těchto hodnotách je patrné zmenšení namáhání desky ve směru y při zvětšující se délce prostupu.

3.2.2 POTŘEBNÁ PLOCHA VÝZTUŽE

Potřebná plocha výztuže u spodního povrchu ve směru y:



Obr. 3.6 – Potřebná plocha výztuže u spodního povrchu ve směru osy y

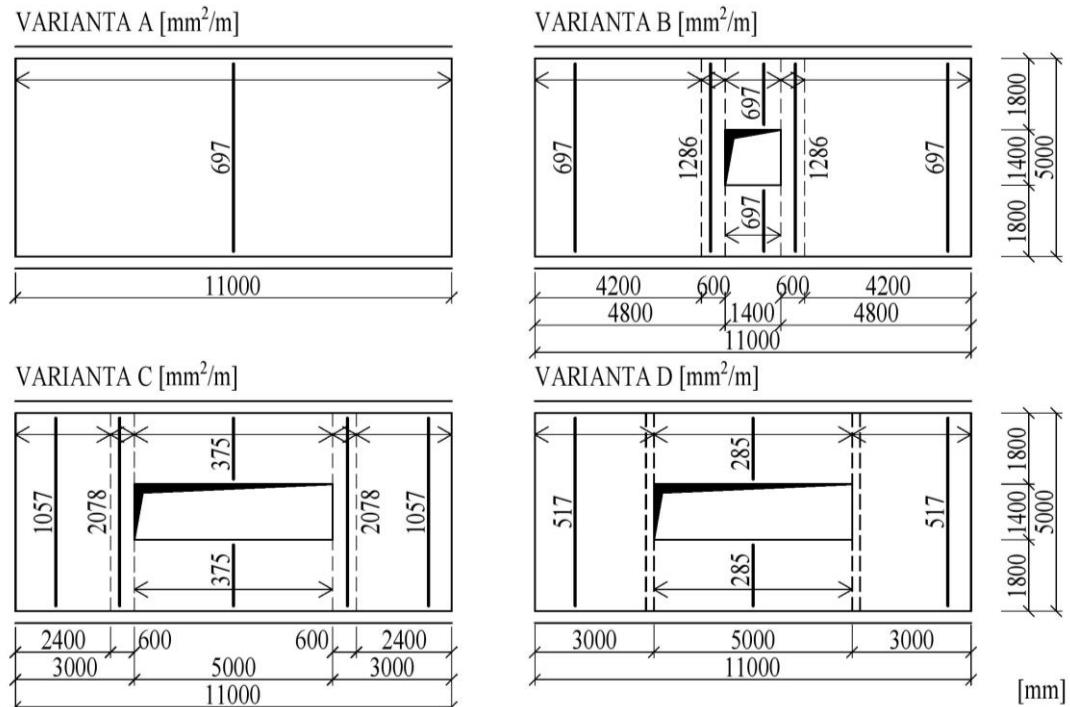
Ve směru osy y u spodního okraje se umísťuje hlavní nosná výztuž, v závislosti na ohybových momentech. V okolí prostupu u varianty C roste potřebná plocha výztuže až na cca trojnásobek oproti variantě A. Ve variantě D je po umístění trámu minimální potřebná plocha výztuže v desce skoro totožná s variantou A, ale je nutné přidat výztuž do žebra. V okolí prostupu by se v exponovaných pruzích navrhla zhuštěná výztuž oproti výztuži v poli a vytvořil by se skrytý trám, ve variantě D není takto zhuštěná výztuž potřeba, protože trám už je fyzicky přítomen a bude i potřebně vyztužen. V tabulce (Tab. 3.3) je uvedena maximální plocha výztuže, kterou je deska nutná vyztužit.

Tab. 3.3 – Porovnání max. plochy výztuže ve stropní desce u spodního povrchu ve směru osy y

	Max. plocha výztuže	
	[mm ² /m]	[%]
Varianta A	697	100,0
Varianta B	1286	184,5
Varianta C	2078	298,1
Varianta D	517	74,2

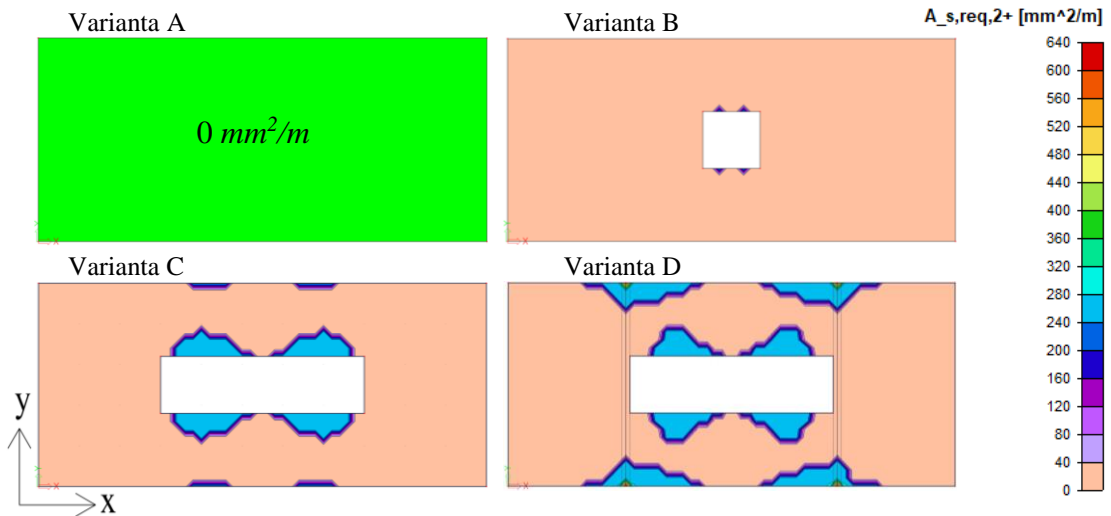
Pozn.: Ve variantě D není započítána výztuž trámu, jedná se pouze o ohybovou výztuž ve stropní desce.

Na Obr. 3.6 je patrné, jakým způsobem roste potřeba výztuže v okolí otvoru. Reálné provedení vyztužení je znázorněno na Obr. 3.7, kde by se výztuž umístila v zatíženějších pruzích cca 600 mm v okolí prostupu a vytvořil by se tak skrytý nosník.



Obr. 3.7 – Provedení výztuže na spodním okraji desky ve směru osy y

Potřebná plocha výztuže u horního povrchu ve směru y:



Obr. 3.8 – Potřebná plocha výztuže u horního povrchu ve směru osy y

Desky působí jako prostý nosník, a proto je není nutné vyztužovat u horního povrchu (Obr. 3.8). Ve variantě B, C a D ale vzniká v okolí prostupu plocha, u které je nutné vyztužit desku i u horního povrchu, kde deska částečně začíná působit jako konzola. Tato podmínka by měla být splněna pomocí umístění lemovací výztuže s požadovanou plochou a diagonál v okolí prostupu (Obr. 3.14). Ve variantě D vzniká potřeba vyztužit desku u horního povrchu v blízkosti uložení trámu na nosné podpory, kde vznikají kroutící momenty v důsledku zabránění zvedání desky. Maximální hodnota, která vzniká

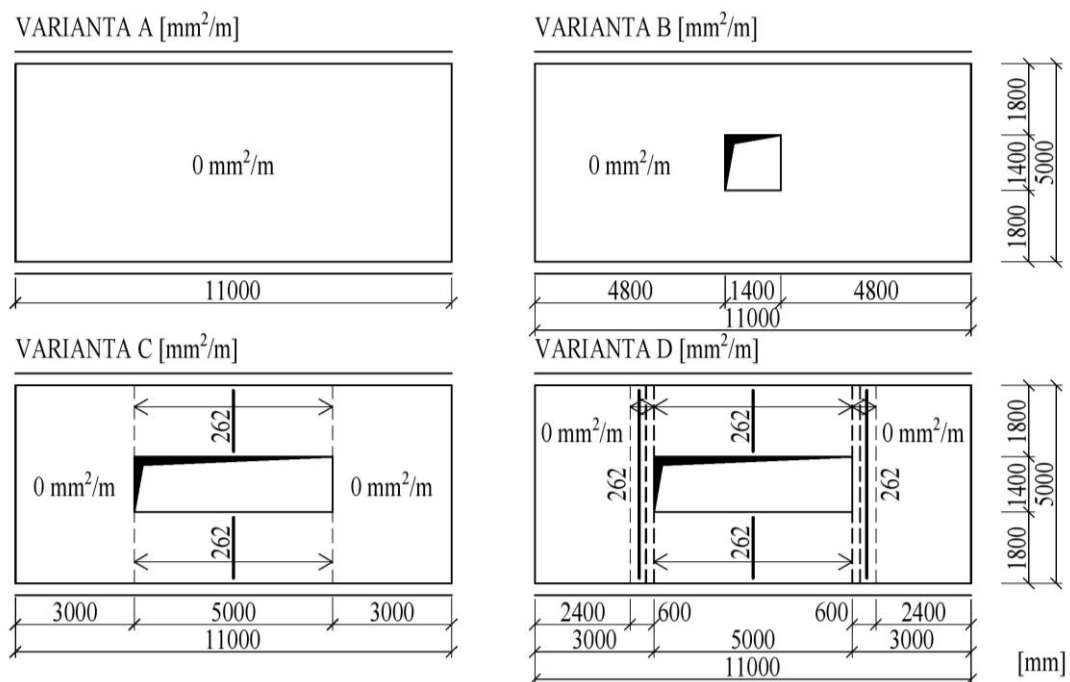
v místě uložení trámu je způsobena výpočtem, který neuvažuje skutečnou šířku podpory, není tedy nutno při vyztužení tuto hodnotu uvažovat.

Tab. 3.4 – Porovnání max. plochy výztuže ve stropní desce u horního povrchu ve směru osy y

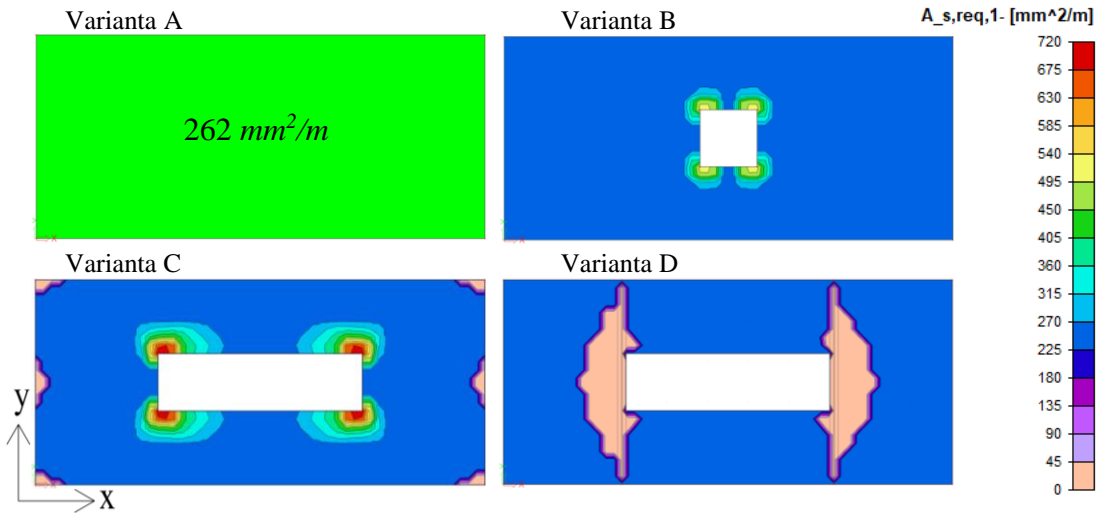
	Max. plocha výztuže	
	[mm ² /m]	[%]
Varianta A	0	-
Varianta B	0	-
Varianta C	262	100,0
Varianta D	262	100,0

Pozn.: Ve variantě D není započítána výztuž trámu, jedná se pouze o ohybovou výztuž ve stropní desce.

Na Obr. 3.9. je ve variantě C a D nutno umístit lemovací výztuž o ploše 262 mm²/m. Způsob lemování u ostatních desek je obdobný, ale výztuž nemusí splnit podmínku plochy. Lemování desek by kromě místa v okolí prostupu bylo provedeno i v místě ukončení desky ve všech uvedených variantách.



Obr. 3.9 – Provedení výztuže u horního okraje desky ve směru osy y

Potřebná plocha výztuže u spodního povrchu ve směru osy x:

Obr. 3.10 – Potřebná plocha výztuže u spodního povrchu ve směru osy x

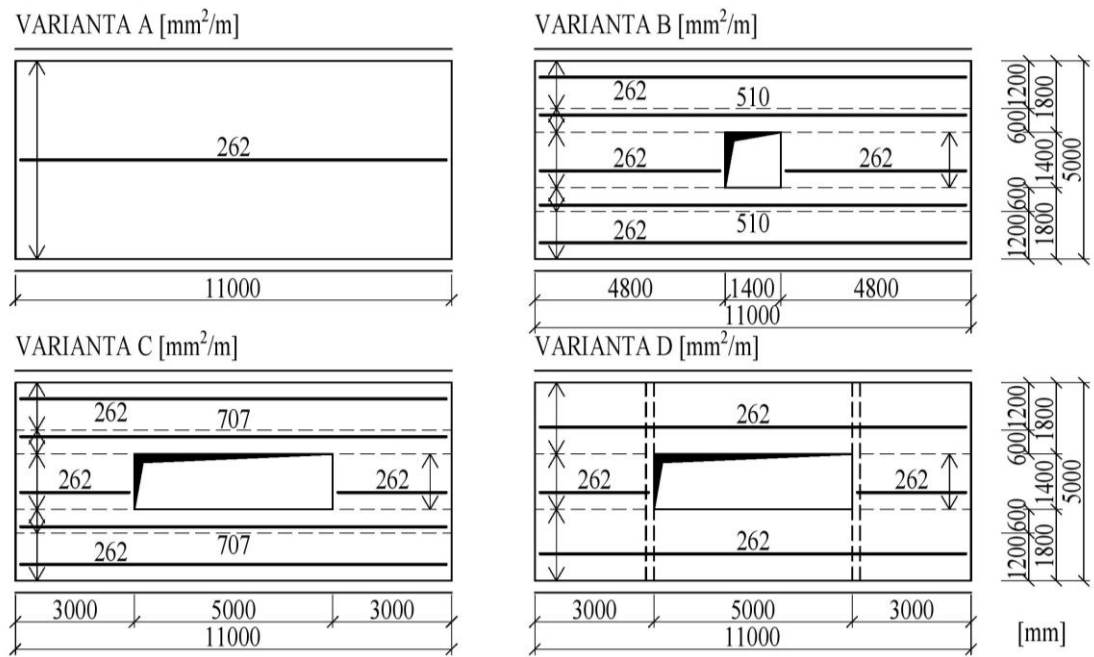
U spodního okraje desky se ve směru x umísťuje konstrukční výztuž. Hodnoty uvedené ve variantě A jsou konstantní po celé ploše desky. U varianty B již dochází v okolí otvoru k roznášení zatížení ve směru osy x, proto je nutné zhustit výztuž i v tomto směru. Více patrné je to na variantě C kde délka otvoru zapříčiní větší potřebu výztuže z důvodu přenášení zatížení přilehlou deskou. Deska ve variantě D v okolí trámu nevyžaduje výztuž u spodního povrchu, v této oblasti vznikají horní momenty v důsledku podepření desky trámem.

Tab. 3.5 – Porovnání max. plochy výztuže ve stropní desce u spodního povrchu ve směru osy x

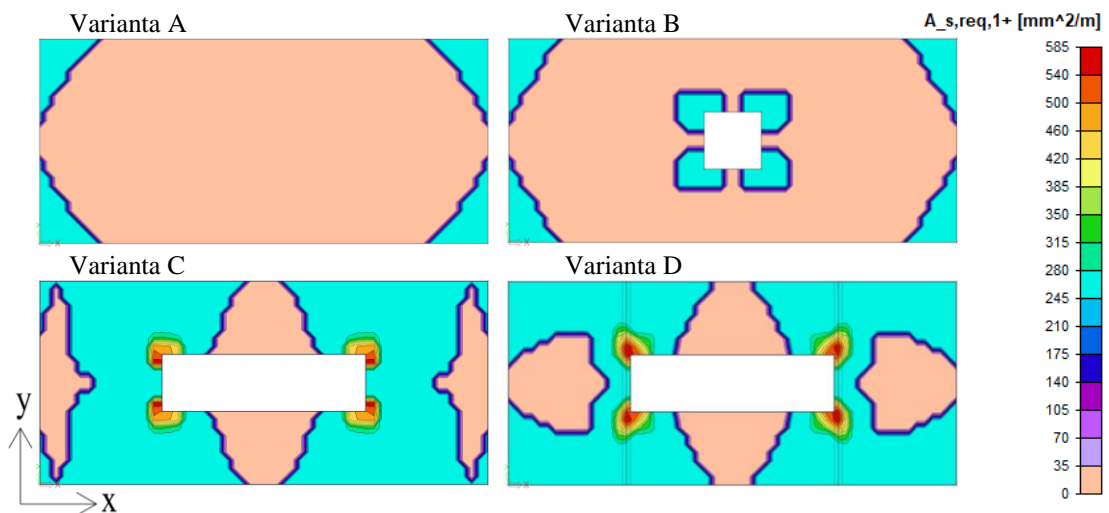
	Max. plocha výztuže	
	$[\text{mm}^2/\text{m}]$	$[\%]$
Varianta A	262	100,0
Varianta B	510	194,7
Varianta C	707	269,8
Varianta D	262	100,0

Pozn.: Ve variantě D není započítána výztuž trámu, jedná se pouze o ohybovou výztuž ve stropní desce.

V tabulce (Tab.3.5) je uvedena potřeba výztuže v okolí desky, kde ve variantě B vzroste potřeba téměř dvakrát a varianta C téměř třikrát oproti variantě A. Na Obr. 3.11 je vyobrazeno schéma vyztužení desky, kde by se v okolí otvoru ve směru x zhustila výztuž jako i výztuž při spodním povrchu ve směru y.

Obr. 3.11 – Provedení výztuže na spodním okraji desky ve směru osy x

Potřebná plocha výztuže u horního povrchu ve směru osy x :

Obr. 3.12 – Potřebná plocha výztuže u horního povrchu ve směru osy x

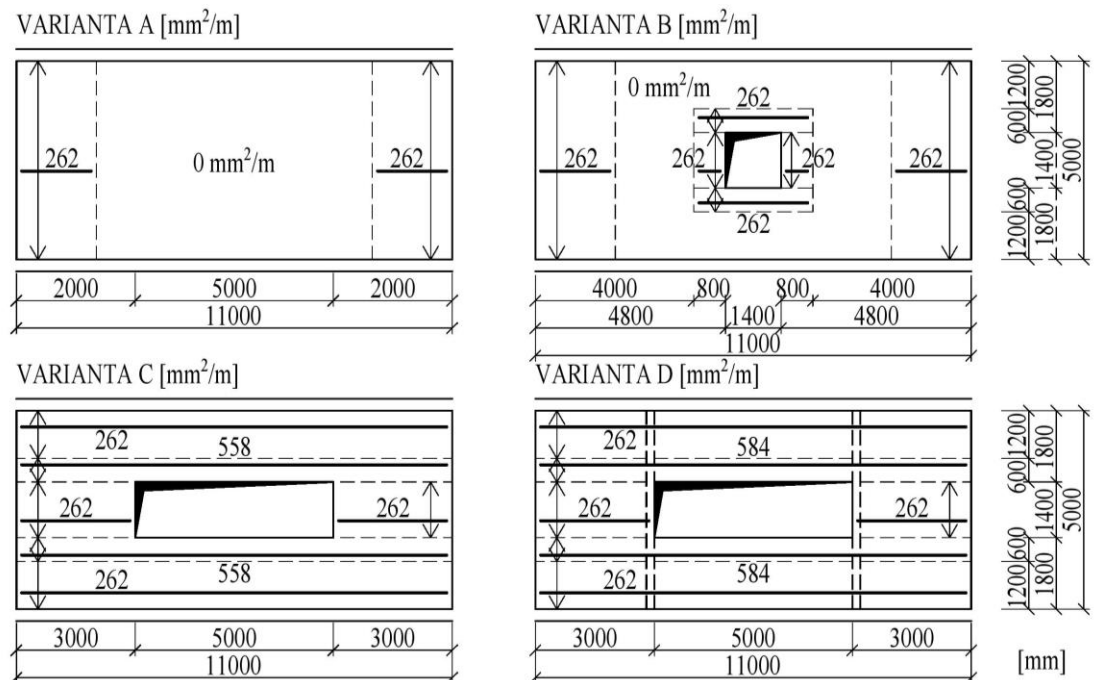
Jak už bylo zmíněno, u prostého nosníku se v horního povrchu umísťuje pouze rozdělovací výztuž. Umístění otvoru však výrazně ovlivňuje chování desky. Zatímco ve variantě A byla potřebná výztuž u horního okraje pouze v rozích stropní desky, u variant s otvory je nutné umístění výztuže u horního povrchu u stále větší plochy desky. V blízkém okolí prostupu ve variantě B by měla být potřebná plocha výztuže zajištěna lemovací výztuží s dostatečným zakotvením (Obr. 3.14). Ve variantě B a D je potřeba rohy prostupu vyztužit v exponovaných pruzích, kde dochází k přenášení zatížení z okolní desky (Obr. 3.12).

Tab. 3.6 – Porovnání max. plochy výztuže ve stropní desce u horního povrchu ve směru osy x

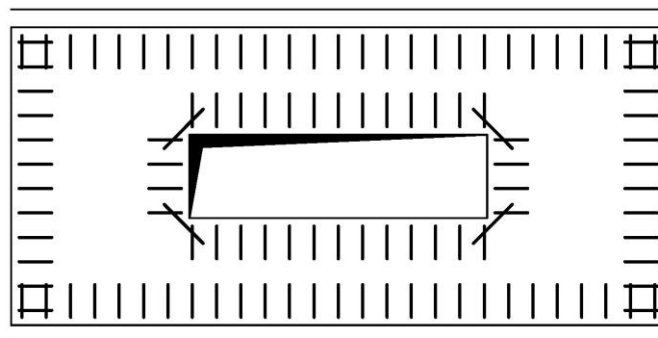
	Max. plocha výztuže	
	[mm ² /m]	[%]
Varianta A	262	100,0
Varianta B	262	100,0
Varianta C	558	213,0
Varianta D	584	222,9

Pozn.: Ve variantě D není započítána výztuž trámu, jedná se pouze o ohybovou výztuž ve stropní desce.

Dle Tab. 3.6 je u horního povrchu desky varianty A a B potřeba zajistit lemování okraje desky a prostupu, v ploše výztuže 262 mm²/m. U desky varianty C a B je nutno výztuž umístit v zatíženějších pruzích v okolí prostupu. Vyztužení desek je patrné z Obr. 3.13.



Obr. 3.13 – Provedení výztuže u horního okraje desky ve směru osy x



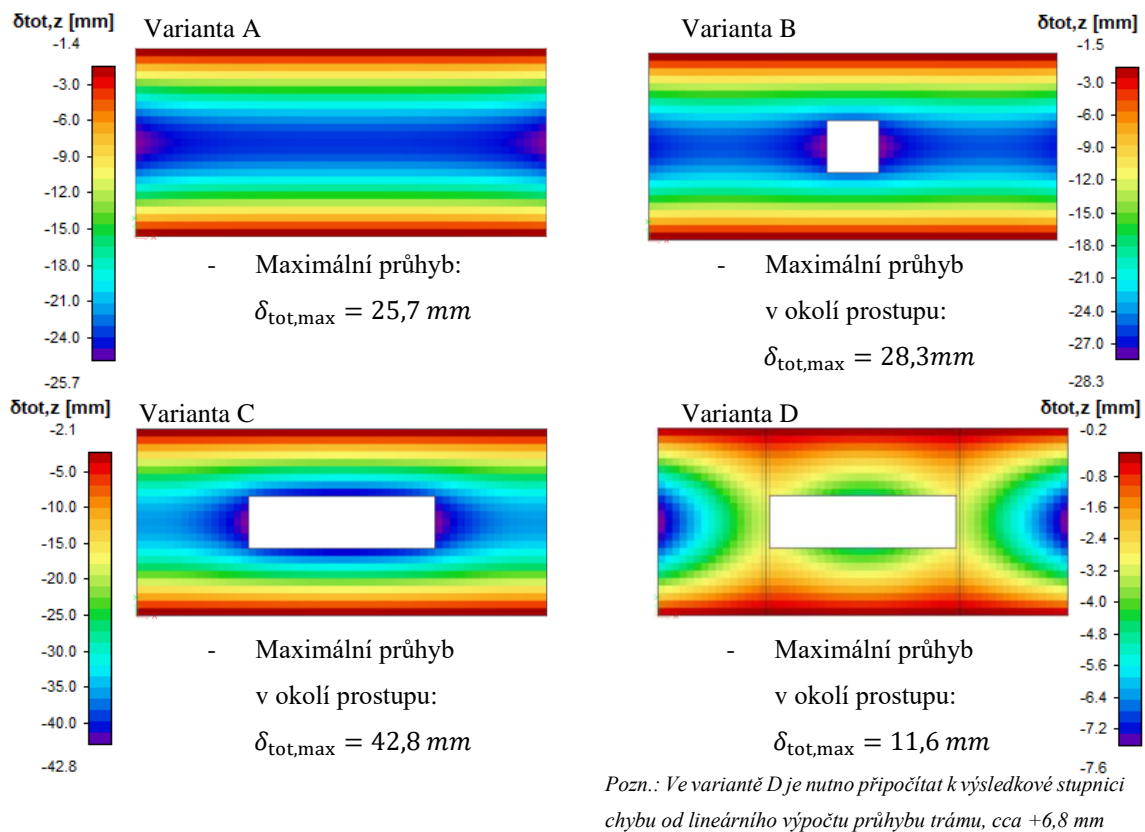
Obr. 3.14 – Příklad umístění lemovací výztuže

3.2.3 PRŮHYBY STROPNÍCH DESEK

V programu SCIA Engineer byl počítán „normově závislý“ průhyb, tj. průhyb zohledňující vliv trhlin i vliv smršťování, ale už ne vliv dotvarování. Reálný průhyb desek by tedy nabyl větších hodnot, než které jsou dále uvedeny, a u kterých nebyl vliv smršťování zohledněn. Desky byly vyztuženy pouze nosnou výztuží při spodním povrchu ve směru osy y.

Pro porovnání průhybů stropních desek je do konstrukcí navržena výztuž o stejné ploše a její návrh je převzat z varianty A, která působí jako prostý nosník. Varianty desek byly tedy vyztuženy pouze u spodního povrchu. Minimální potřebná výztuž u spodního povrchu u desky z varianty A:

- $A_{s,req,2-} = 679 \text{ mm}^2/\text{m}$;
- $A_{s,req,1-} = 262 \text{ mm}^2/\text{m}$.



Obr. 3.15 – Normově závislý průhyb stropních desek

U varianty B je patrné, že menší vstup nemá zásadní vliv na průhyby konstrukce, průhyb se oproti variantě A zvětšil o 2,6 mm (10,1 %). Veliký vliv na průhyby konstrukce má zvětšení délky prostupu u varianty C, kde se průhyb oproti variantě A zvětšil přibližně o 66 % a oproti variantě B o 51 %. Ve variantě D nevznikají žádné zásadní průhyby, které by bylo potřeba řešit dodatečným vyztužením.

Limitní hodnota průhybu pro zadanou konstrukci je:

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Pro splnění podmínek MSÚ (průhyb) by bylo zapotřebí navrhnout následující výztuž:

Varianta A

$$A_{s,2-} = 1257 \text{ mm}^2/\text{m}; (\text{Ø}12 \text{ mm}, \grave{\text{a}} 90 \text{ mm}).$$

Varianta B

$$A_{s,2-} = 1414 \text{ mm}^2/\text{m}; (\text{Ø}12 \text{ mm}, \grave{\text{a}} 80 \text{ mm}).$$

Varianta C

$$A_{s,2-} = 3770 \text{ mm}^2/\text{m}; (\text{Ø}12 \text{ mm}, \grave{\text{a}} 30 \text{ mm}).$$

Pokud bychom zhustili výztuž jenom v exponovaných pruzích 600 mm kolem prostupu, konstrukce by nevyhověla na limitní průhyby ani s vyztužením Ø20 mm, à 30 mm. V tomto případě už by vyztužení nevyhovovalo konstrukčním zásadám a desku by nebylo možné vyztužit pouze v těchto pruzích.

Varianta D

$$A_{s,2-} = 314 \text{ mm}^2/\text{m}; (\text{Ø}12 \text{ mm}, \grave{\text{a}} 360 \text{ mm}) - \text{z hlediska MSP.}$$

Takové vyztužení by postačilo na splnění podmínky pro limitní průhyb, ale nevyhovovalo by pro MSÚ. V tomto případě je nutné vyztužit desku minimálně na:

$$A_{s,2-} = 646 \text{ mm}^2/\text{m}; (\text{Ø}12 \text{ mm}, \grave{\text{a}} 175 \text{ mm}) - \text{z hlediska MSÚ.}$$

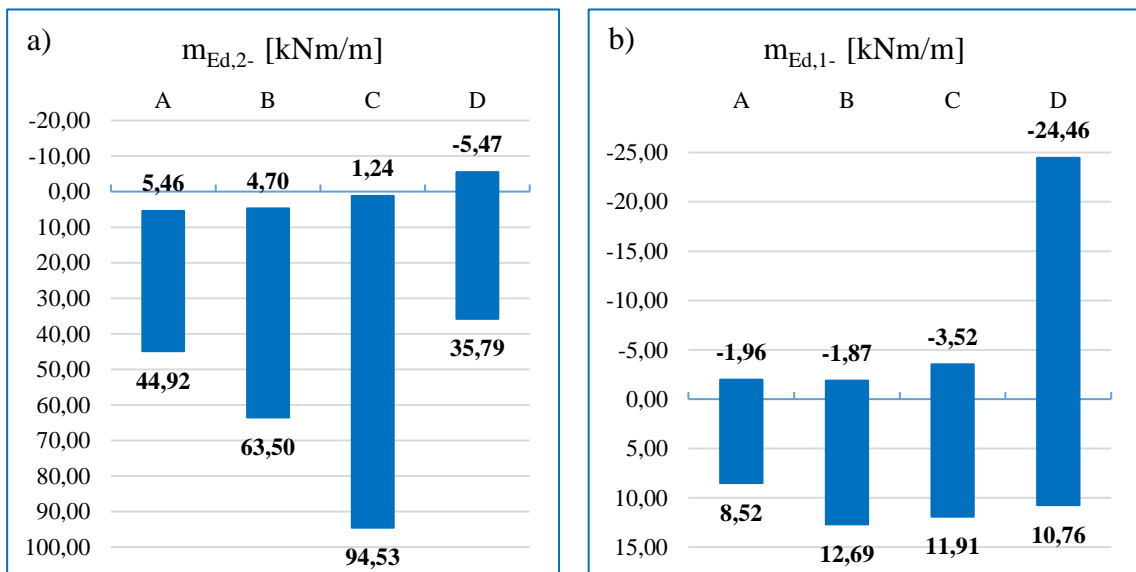
3.3 POROVNÁNÍ VARIANT

Porovnání variant z hlediska návrhových ohybových momentů:

V tabulce (Tab. 3.7) jsou zobrazeny maximální návrhové ohybové momenty vzhledem k ose y a x. Tyto hodnoty jsou u variant A, B, C a D pak porovnávány a rozdíl ohybových momentů je vyobrazen v grafu (Obr. 3.16).

Tab. 3.7 – Návrhové ohybové momenty

	Návrhové ohybové momenty [kNm/m]			
	$m_{Ed,2-}$		$m_{Ed,1-}$	
	Max.	Min.	Max.	Min.
Varianta A	44,92	5,46	8,52	-1,96
Varianta B	63,50	4,70	12,69	-1,87
Varianta C	94,53	1,24	11,91	-3,52
Varianta D	35,79	-5,47	10,76	-24,46



Obr. 3.16 – Návrhové ohybové momenty: a) při spodním povrchu ve směru osy y;

b) při spodním povrchu ve směru osy x

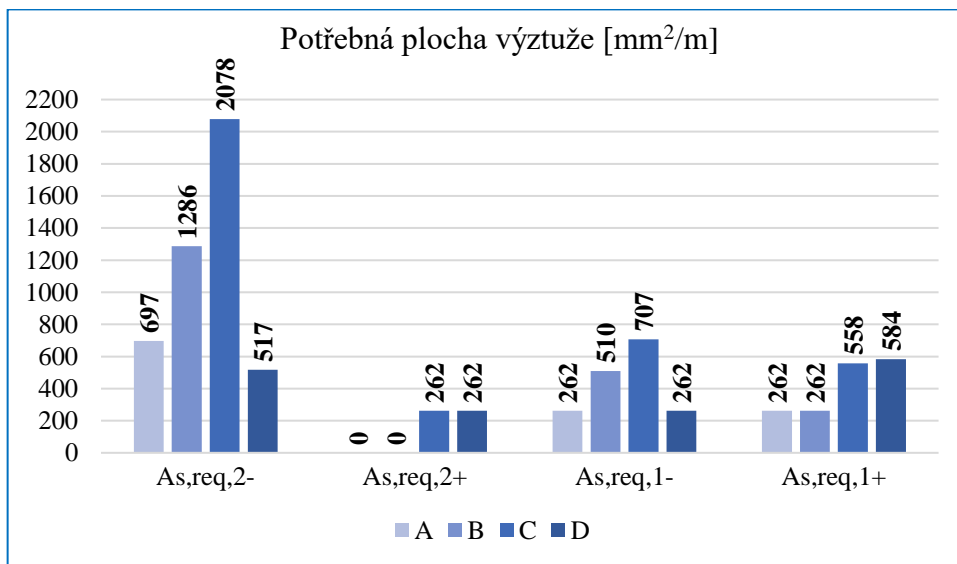
Z grafu je patrný vliv prostupů na velikost ohybových momentů v desce. Ve směru osy y, tedy $m_{Ed,2-}$, je největší nárůst momentů u varianty C s velkým prostupem, oproti variantě A o více než 100 %. Ve variantě D jsou momenty naopak sníženy díky vlivu podpěrných trámů. Ve směru osy x, $m_{Ed,1-}$, není v ohybových momentech velký rozdíl, až na variantu D. U varianty D je nárůst momentů nad podporou vlivem přidávaných trámů a snižují se tak momenty v poli. Z návrhových ohybových momentů také vyplývá potřebná plocha výztuže.

Porovnání variant z hlediska potřebné plochy výztuže:

V tabulce (Tab. 3.8) jsou zobrazeny minimální potřebné plochy ve směru y a x u dolního i horního povrchu. V grafu na Obr. 3.17 jsou pak plochy porovnány.

Tab. 3.8 – Potřebné plochy výztuže

	Potřebná plocha výztuže [mm ² /m]			
	$A_{s,req,2-}$	$A_{s,req,2+}$	$A_{s,req,1-}$	$A_{s,req,1+}$
Varianta A	679	0	262	262
Varianta B	1286	0	510	262
Varianta C	2078	262	707	558
Varianta D	633	262	262	584



Obr. 3.17 – Potřebné plochy výztuže

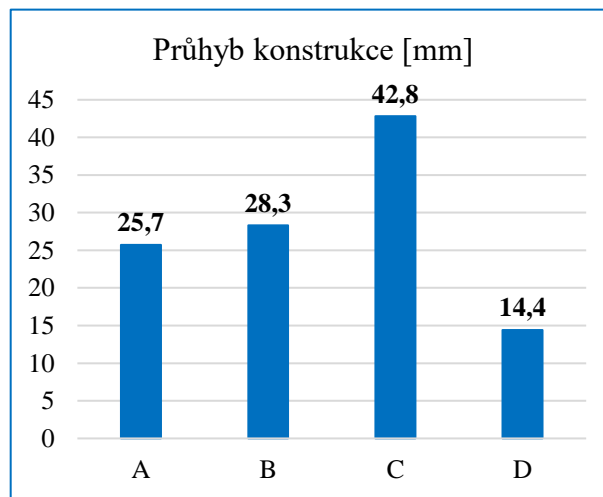
Jak už bylo popsáno u posouzení ohybových momentů, tak i potřebná plocha výztuže roste s rozměrem prostupu. Varianta A se s variantou D téměř shoduje plochou výztuže při spodním povrchu, ale u horního povrchu je nutnost vyztužit variantu D s trámy, kde vznikají záporné momenty. Musíme vzít ale v úvahu, že zde jsou uvedeny pouze maximální hodnoty, které nevyjadřují, jakou plochu desky je nutno vyztužit touto výztuží. Celková úspora výztuže by tak byla u varianty D větší než u varianty A.

Porovnání variant z hlediska maximálního průhybu při stejné ploše vyztužení:

Pro porovnání variant z hlediska průhybů byly všechny varianty desky vyztuženy minimální potřebnou výztuží pro variantu A.

Tab. 3.9 – Maximální kladné průhyby konstrukce

	Průhyb konstrukce	
	$\delta_{\text{tot},z}$	
	[mm]	
Varianta A	25,7	
Varianta B	28,3	
Varianta C	42,8	
Varianta D	14,4	



Obr. 3.18 – Průhyby konstrukce

V tomto porovnání je patrné, že menší prostupy ve stropních konstrukcích nemají zásadní vliv na celkový průhyb desky. Ve variantě C s větším prostupem je tento vliv už více patrný a průhyby konstrukce narostly o 66 % oproti variantě A. Tento problém řeší varianta D, kde přidáním podpor snížíme průhyby desky o více než polovinu oproti variantě C s malým prostupem.

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OBJEKTU

V zadaném objektu je řešena stropní železobetonová konstrukce se dvěma kruhovými otvory umístěná nad 1.NP (viz *Obr. 4.3*). Jako podklad ke zpracování slouží studie objektu (*Obr. 4.1 až 4.4*). V budově jsou předběžně navrženy rozměry všech nosných prvků. Stropní konstrukce s otvory je řešena variantně. V objektu nejsou detailně řešeny kompletační ani základové konstrukce, práce se zaměřuje pouze na řešení stropní desky a přilehlých nosných konstrukcí.

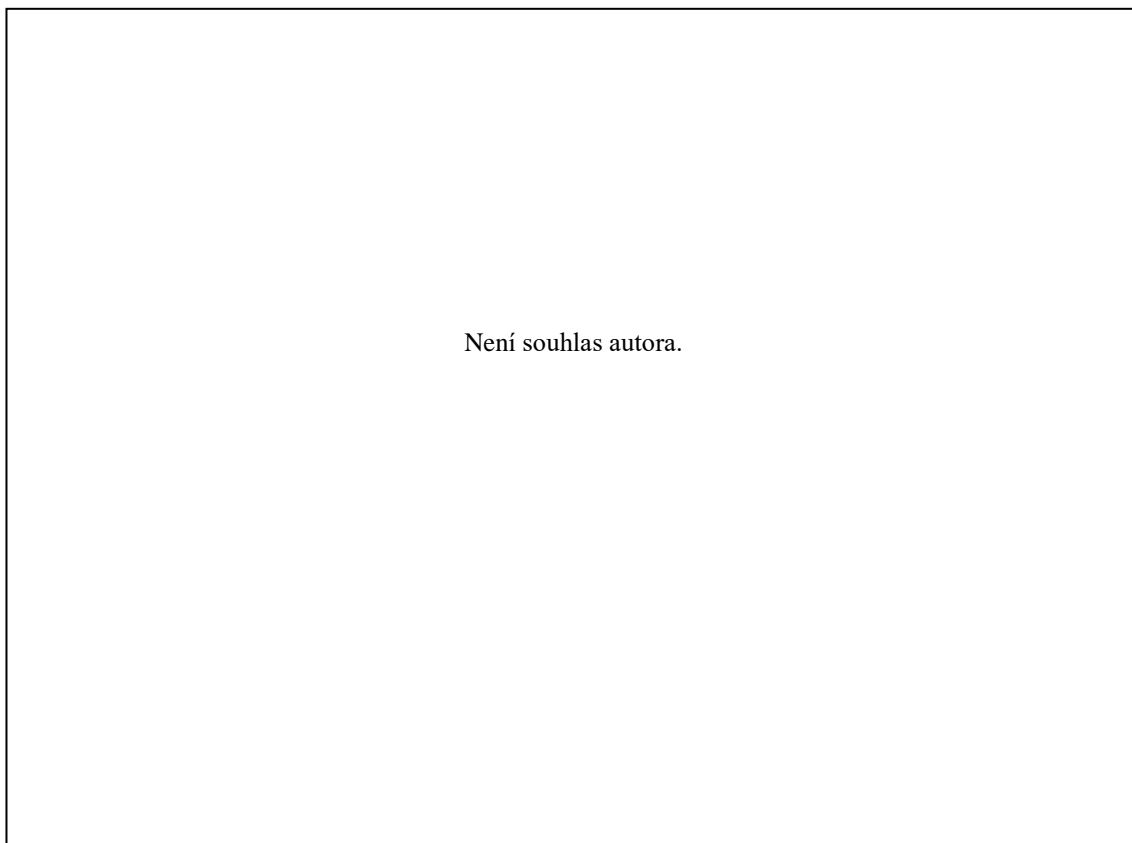
Pro výpočet vnitřních sil na některých navržených prvcích byl použit program SCIA Engineer 17.01 podle ČSN EN 1990 [1], ČSN EN 1991 [2], ČSN EN 1192 [3] a ČSN EN 206 [4].

4.1 POPIS OBJEKTU

Předmětem projektu je novostavba domu, který má sloužit jako výstavní prostor spolu s restaurací a pivovarem. Budova je plánována pro okres Kytín, Praha – západ. Půdorysný tvar budovy zaujímá přibližně písmeno L s celkovými rozměry nosné konstrukce cca 30,50 x 21,70 m a specificky tvarovanými obvodovými stěnami. Střecha objektu má sedlový tvar a vrchol se nachází +9,770 m nad upravených terénem.

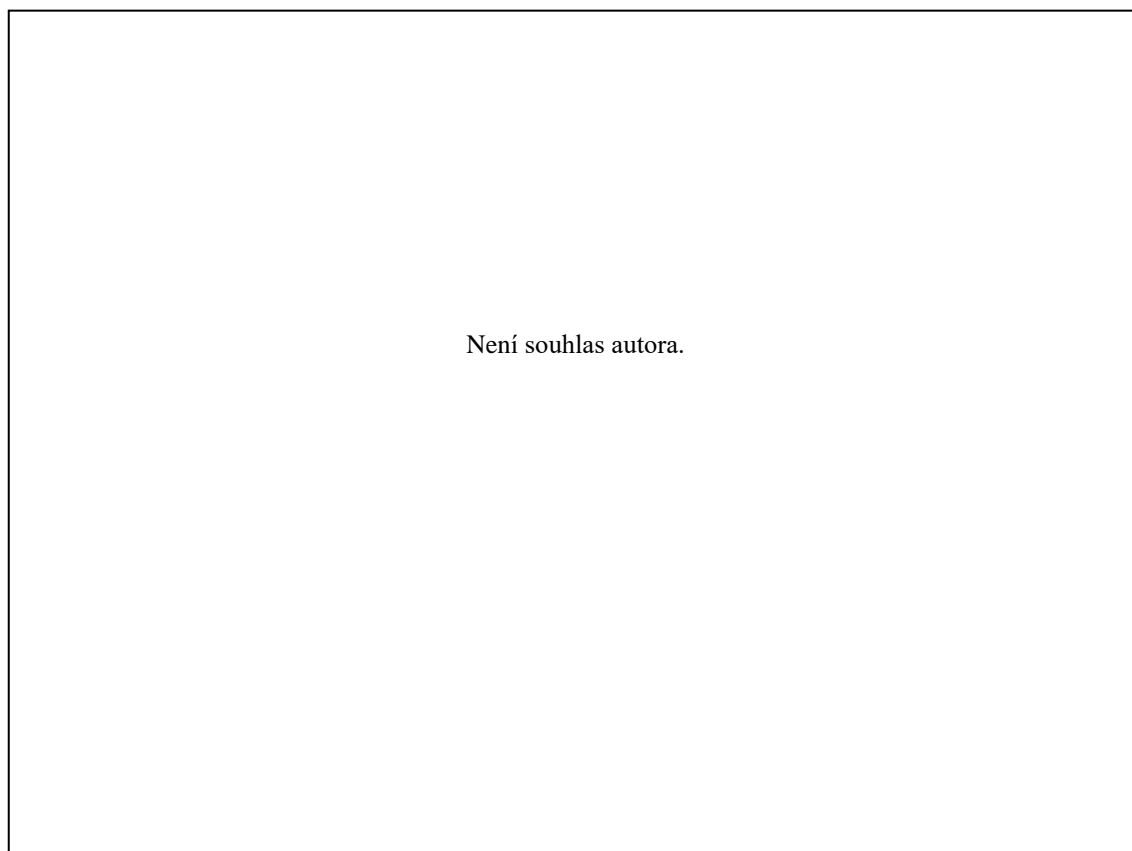
Budova má tři podlaží, jedno podzemní a dvě nadzemní. V suterénu, který se nachází pouze pod prostory restaurace, se nachází WC, zázemí pro zaměstnance, sklad a pivní varna. V 1.NP se nachází provozovna restaurace, kuchyně, WC pro invalidy a výstavní prostory. Ve 2.NP se nachází výstavní prostory a prostor terasy nad restaurací. Konstrukční výška podzemního podlaží je 2,75 m, 1.NP 3,72 m a 2.NP 2,94 m.

Nosný systém budovy je řešen jako monolitický železobetonový. Vodorovné nosné konstrukce tvoří železobetonové desky a příčle. Svislé nosné konstrukce tvoří železobetonové stěny v suterénu a železobetonové sloupy v 1.NP a 2.NP. Nosné konstrukce (příčle a sloupy) tvoří příčné železobetonové rámy. Celá budova je řešena jako jeden dilatační celek. Vertikální komunikaci zajišťuje deskové železobetonové schodiště, uložené na stropní desku a příčnou železobetonovou schodišťovou stěnu. Konstrukce schodiště nebyla v práci podrobněji řešena.



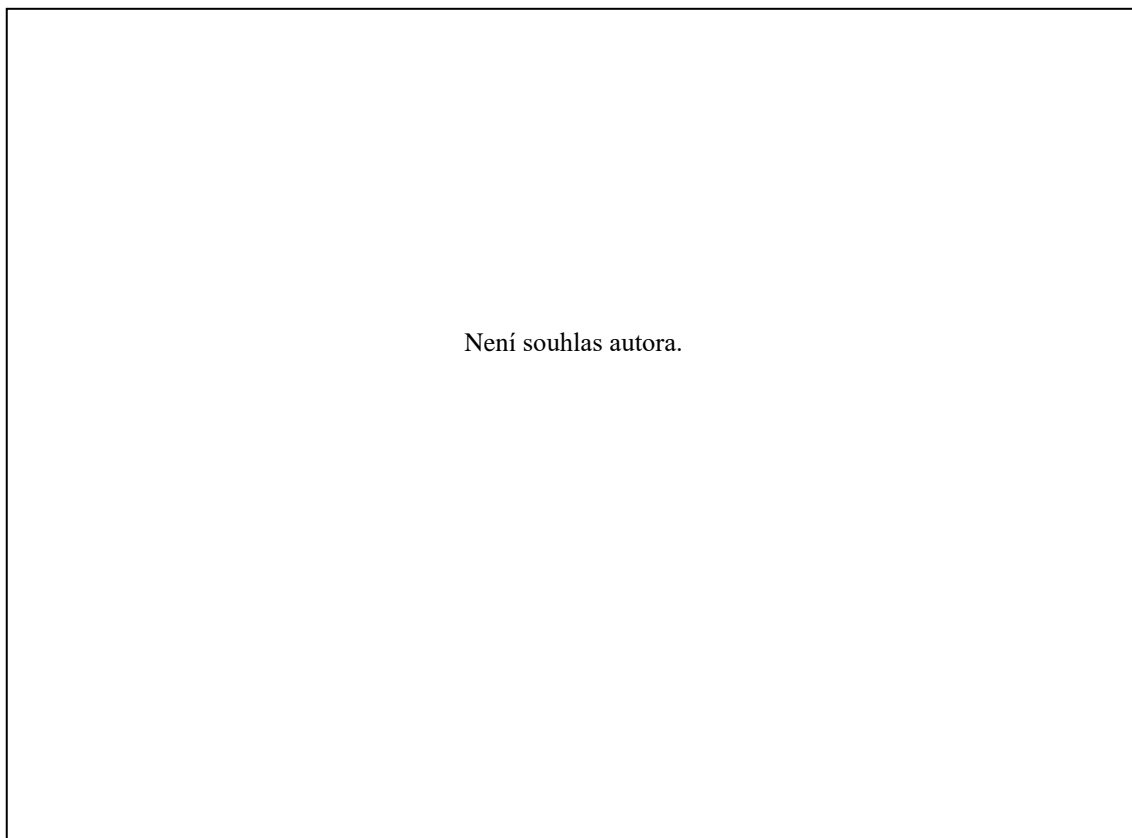
Není souhlas autora.

Obr. 4.1 – Vstupní půdorysné schéma objektu – suterén

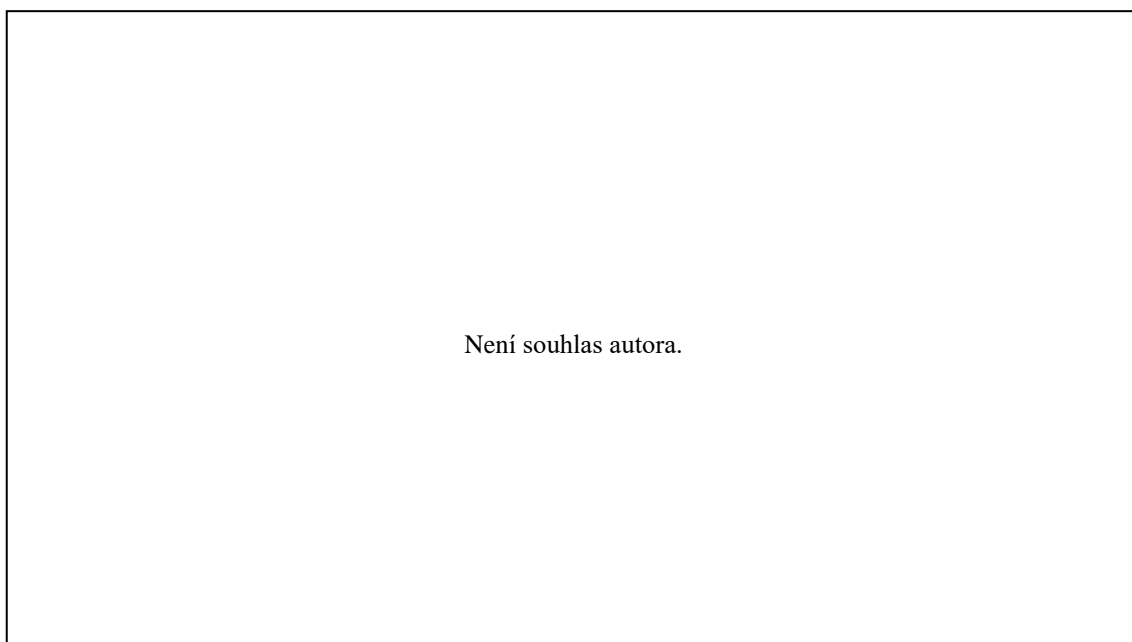


Není souhlas autora.

Obr. 4.2 – Vstupní půdorysné schéma objektu – INP



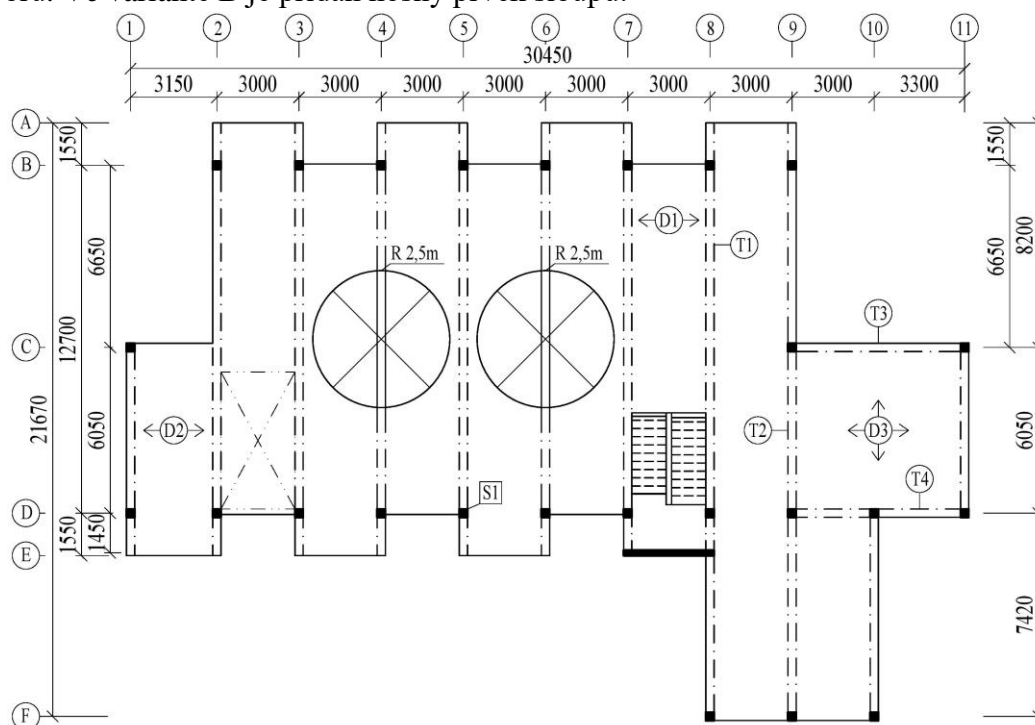
Obr. 4.3 – Vstupní půdorysné schéma objektu – 2NP



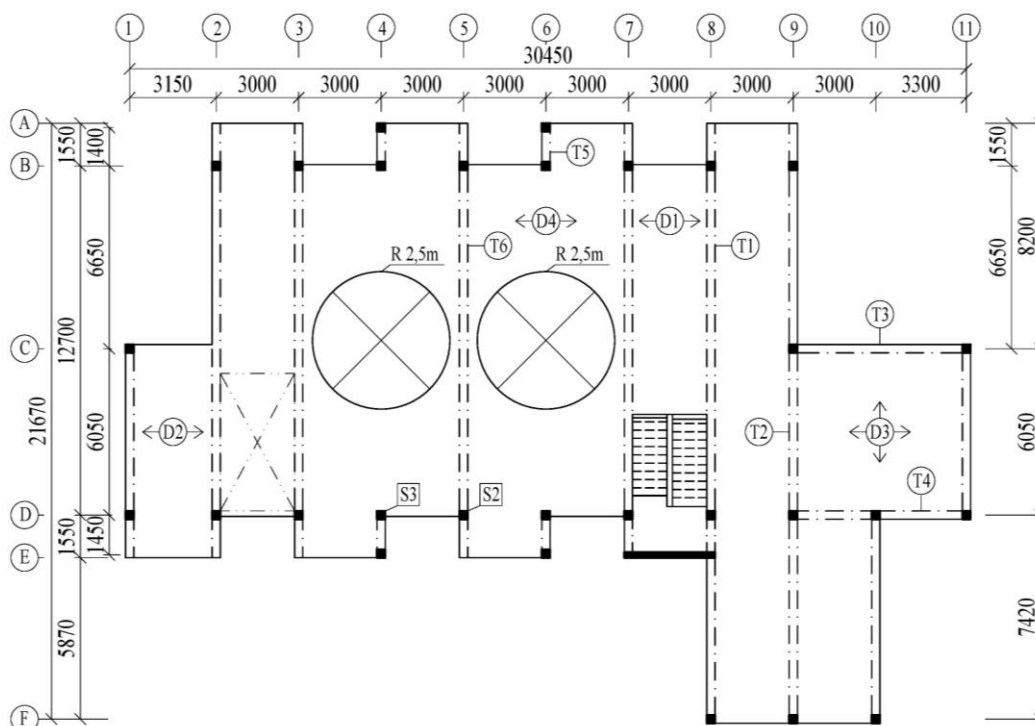
Obr. 4.4 – Schématický řez objektu A-A

4.2 KONSTRUKČNÍ VARIANTY

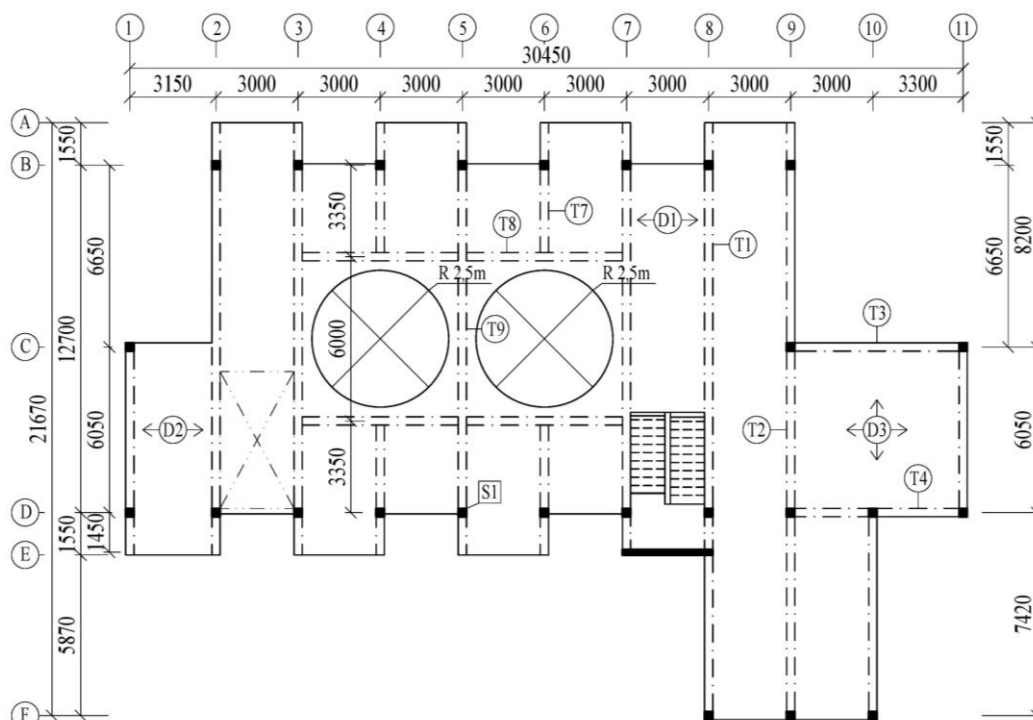
Nosný systém objektu je navržen ve třech konstrukčních variantách (viz Obr. 4.5 až 4.7). Svislé nosné konstrukce tvoří železobetonové sloupy čtvercového průřezu, jejichž rozmístění je shodné pro všechny konstrukční varianty (drobná úprava u varianty B). V objektu je variantně řešena stropní desková konstrukce INP a konstrukce trámů v místě otvorů. Ve variantě B je přidán nosný prvek sloupu.



Obr. 4.5 – Schéma konstrukce – varianta A



Obr. 4.6 – Schéma konstrukce – varianta B



Obr. 4.7 – Schéma konstrukce – varianta C

Ve **variantě A** je vytvořen pravidelný systém příčných železobetonových rámu v osové vzdálenosti 3,0 m. Příčle jsou průběžné přes celou šířku objektu a jsou tedy viditelné i v místě otvorů (Obr. 4.5). Ve variantě je zachován jednotný rozpon konstrukce stropní desky i její tloušťka.

Ve **variantě B** jsou rámy v ose 4 a 6 přerušeny, aby trémový prvek nebyl v místě otvoru viditelný (Obr. 4.6). Rozpon desky v tomto místě se zvětšuje na dvojnásobek oproti rozponu ve variantě A, a zvětšuje se tím i její tloušťka. Z důvodu možnosti uložení okrajové části desky je v překonzolované části přidán nosný prvek sloupu.

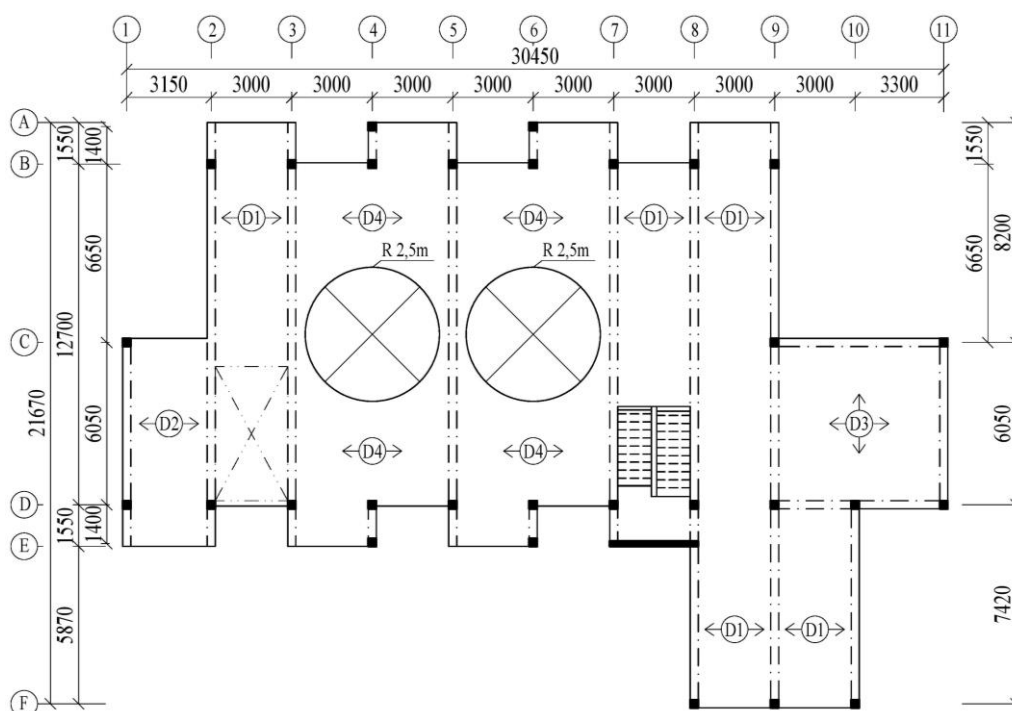
Ve **variantě C** jsou za účelem zachování stejných rozponů a stejné tloušťky desky ponechány trámy v osách prostupů, ale v místě otvorů jsou z důvodu estetiky přerušeny a uloženy na trémové výměny (Obr. 4.7).

Materiálové řešení:

Na nosné konstrukce je použit beton C30/37 – XC1 (CZ) – CI 0,2 – D_{\max} 16 – S3 a žebírková výztuž B500B (viz Příloha 1 – Statický výpočet).

Stropní konstrukce:

V převážné části objektu je navržena plná železobetonová monolitická deska jednosměrně pnutá (část D1, D2) na rozpětí polí 3,0, resp. 3,15 m, o jednotné tloušťce 180 mm. V místě 1.NP je nad prostorem restaurace navržena deska plná křížem armovaná (část D3) na rozpětí 6,3 x 6,05 m o tloušťce 220 mm. Ve variantě B se nachází jednosměrně pnutá deska (část D4) na rozpon 6,0 m o tloušťce 220 mm. V rámci statického výpočtu byla nejprve navržena a ověřena geometrie (tloušťka) desky a následně navržena ohybová výztuž. Smyková výztuž není u této stropní konstrukce potřeba. Schéma umístění částí desek je popsáno na Obr. 4.8 (varianta B).



Obr. 4.8 – Schéma umístění desek

Rámová konstrukce:

V 1.NP a 2.NP tvoří nosný systém příčné železobetonové monolitické rámy s průřezem sloupů 300 x 300 mm. Osová vzdálenost ráků je v převážné části objektu 3,0 m. Rozměry sloupů byly navrženy s ohledem na působící normálovou sílu a ohybový moment a předběžně posouzeny. Rámové příčle jsou navrženy v rozměrech o průřezu 1200 x 300 mm na maximální rozpětí 12,7 m, respektive 600 x 300 mm na maximální

rozpětí 7,42 m a 400 x 300 mm na maximální rozpětí 3,35 m. Příčné železobetonové rámy jsou v místě křížem armované desky (část D3) doplněny podélnými železobetonovými průvlaky. V místech tvarování budovy jsou příčle rámů oboustranně vykonzolovány o 1,55 m za úroveň sloupů. Rámové příčle jsou předběžně navrženy a posouzeny z hlediska ohybové štíhlosti, únosnosti v ohybu a ve smyku a dále je navržena a posouzena ohybová a smyková výztuž.

Konstrukce schodiště:

V objektu se nachází deskové železobetonové schodiště pnuté mezi stropní desku a železobetonovou stěnu. Rameno schodiště tvoří jednou zalomená jednosměrně pnutá železobetonová deska. Schodišťové rameno bylo navrženo o tloušťce 180 mm a byla ověřena možnost geometrického napojení na stropní deskovou konstrukci.

4.3 POROVNÁNÍ VARIANT

Nosné prvky byly předběžně navrženy a posouzeny a bylo zjištěno, že mají reálné rozměry a lze je využít.

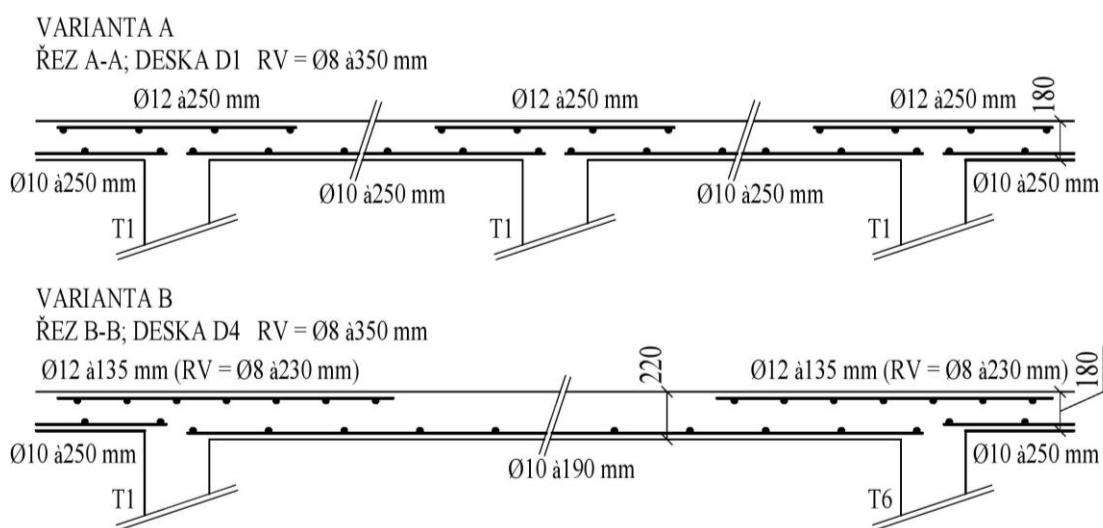
Deskové konstrukce:

Veškeré navržené desky lze využít. Výztuž desek byla navržena o jednotném průměru, v poli 10 mm a v místě podpory 12 mm, pro vhodné porovnání navržené výztuže. Porovnání výztuže a ohybových momentů v místě prostupu je uveden v následující tabulce *Tab. 4.1*.

Tab. 4.1 – Porovnání výztuže a ohybových momentů desek v místě prostupu

Deska		Výztuž v poli		Výztuž nad podporou	
		D1	D4	D1	D4
Varianta		A, C	B	A, C	B
M_{Ed}	[kNm/m]	11,610	32,170	16,110	62,500
M_{Ed}	[%]	100,00	277,09	100,00	387,96
návrh \emptyset	[mm]	10 à250 mm	10 à190 mm	12 à250 mm	12 à135 mm
$A_{s,prov}$	[mm ² /m]	314	413	452	838
$A_{s,prov}$	[%]	100,00	131,53	100,00	185,40

U porovnání ohybových momentů vidíme nárůst v poli desky D4 cca 3x oproti variantě D1, nad podporou dokonce téměř 4x. U porovnání výztuže tento rozdíl není tak výrazný, protože výztuž u desky D1 musela být navržena na splnění podmínek konstrukčních zásad. Veškeré další návrhy a schémata viz *Příloha 1 – Statický výpočet*.



Obr. 4.9 – Schéma umístění výztuže desek D1 a D4

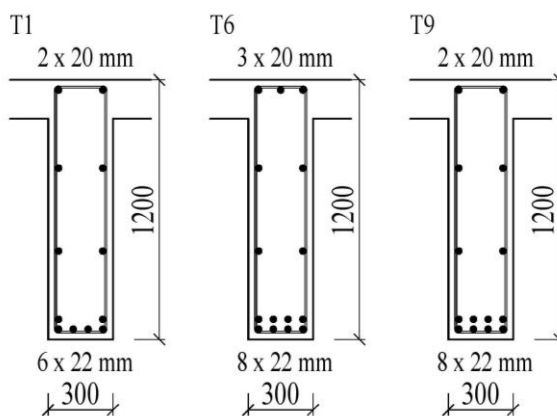
Příčle rámové konstrukce:

Veškeré navržené příčle lze vyztužit. Výztuž příčlí byla při spodním povrchu navržena o průměru 22 mm pro trámy T1, T6 a T9 a o průměru 20 mm pro výztuž u horního povrchu a pro zbývající trámy. Výztuž trámů T1, T6 a T9 musela být provedena ve dvou řadách a její umístění můžeme vidět na *Obr. 4.10*. Porovnání výztuže u trámů v místě prostupu je přehledně uvedeno v *Tab. 4.2* a schématu umístění výztuže viz *Obr. 4.10*.

Tab. 4.2 – Porovnání výztuže a ohybových momentů příčle v místě prostupu

		Výztuž u spodního povrchu			Výztuž u horního povrchu		
Trám		T1	T6	T9	T1	T6	T9
Varianta		A	B	C	A	B	C
M_{Ed}	[kNm]	995,55	1423,91	1283,3	239,38	372,48	305,57
M_{Ed}	[%]	100,00	143,03	128,90	100,00	155,60	127,65
návrh \varnothing	[mm]	6 x 22 mm	8 x 22 mm	8 x 22 mm	2 x 20 mm	3 x 20 mm	2 x 20 mm
$A_{s,prov}$	[mm ²]	2281	3041	3041	628	942	628
$A_{s,prov}$	[%]	100,00	133,32	133,32	100,00	150,00	100,00

Ohybové momenty u spodního povrchu příčle T6 vzrostly cca 4x oproti příčli T1, což vyplývá hlavně ze zdvojnásobení zatěžovací šířky příčle. U příčle T9 je ohybový moment větší cca 3x oproti příčli T1 z důvodu zatížení příčle od trámových výměn. U ohybových momentů u horního povrchu je rozdíl méně výrazný. Výztuž u spodního povrchu byla navržena ve dvou řadách. Spodní výztuž příčle T6 a T9 je totožná a rozdíl oproti variantě T1 činí dva pruty výztuže 22 mm. Horní výztuž u příčle T6 se liší o jeden prut 22 mm (*Obr. 4.10*). Veškeré další návrhy a schémata jsou uvedeny v *Příloze 1 – Statický výpočet*.



Obr. 4.10 – Schéma umístění výztuže příčle T1, T6 a T9

5 ZÁVĚR

Práce shrnuje základní aspekty navrhování železobetonových stropních desek s prostupy. Popisuje a objasňuje jednotlivé konstrukční i technologické varianty a upozorňuje na možné důsledky konkrétních zásahů do konstrukce.

V rámci studie v kapitole 3 bylo prokázáno, že prostupy výrazně ovlivňují chování stropních desek. U prostupů menších rozměrů stačí patřičně upravit způsob vyztužení desky (zesílení výztuže v okolí prostupu). Při realizaci větších prostupů již toto opatření není dostačující a je zapotřebí zcela přehodnotit statické působení desky a upravit konstrukční systém. Nejčastějším způsobem je doplnění stropní desky podpurnými žebry.

V kapitole 4 bylo řešeno uspořádání železobetonové stropní konstrukce s otvory ve výstavních prostorách. Byly navrženy tři reálné varianty. Varianta A, tj. průběžná rámová příčel přes otvor, je jednoznačně nejjednodušší z hlediska provádění. Má zachované jednotné rozpony i tloušťku stropní desky a stejné množství výztuže ve všech rámových příčlích. Nemusí však být přijatelná z hlediska estetiky v místě otvoru. Varianta B řeší viditelnost příčle v místě otvoru, ale nárůst rozpětí stropní desky v okolí otvorů vede k nutnosti zesílení stropní desky a vyšší spotřebě výztuže. Rozdílné rozpony stropní desky řeší varianta C s použitím trámových výměn. Pole stropních desek jsou pnuta na stejnou vzdálenost jako ve variantě A, a je tedy zachována jejich tloušťka. Na železobetonový rám v místě mezi prostupy působí podobné zatížení jako na příčel ve variantě B, ale příčel je potřeba dovyztužit v místě uložení trámových výměn, což se opět promítá do spotřeby výztuže. Z hlediska realizace je možné použít všechny navržené varianty. Výběr by tak závisel na hospodárnosti návrhu, přání investora, resp. jeho pohledu na celkovou estetičnost nosných konstrukcí vzhledem k umístění otvoru.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí, ČSN EN 1990
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1–1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSN EN 1991-1-1
- [3] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1–1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČSN EN 1992-1-1
- [4] ČSN EN 206-1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČSN EN 206-1
- [5] Hájek P. a kolektiv: Konstrukce pozemních staveb 10 – Nosné konstrukce I, vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [6] Konvalinka P.: Analýza konstrukcí, 6. přednáška [elektronická přednáška], Fakulta stavební ČVUT v Praze
- [7] Pásek J.: Archiv firmy Heluz, ABS-portal.cz [online]. [2010-07-12]. Dostupný z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/stropy-pricky/stropni-keramicke-panely>
- [8] Prefa Brno a.s.: Uživatelská příručka Spiroll, Prefa Brno [online]. [2017-04-05]. Dostupné z: http://www.prefa.cz/wp-content/uploads/2016/06/PREFA_Prirucka_SPIROLL_2017_WEB-1-1.pdf
- [9] Procházka J., Šmejkal J.: Betonové stropní a schodišťové konstrukce, vydavatelství ČVUT, Praha 2017
- [10] Vimr V., Černý T.: Dodatečné zásahy do nosných konstrukcí panelových budov, Beton 3/2013, vydává BETON TSK, s.r.o., str. 37–39
- [11] Witzany J., Pašek J., Čejka T., Zigler R.: Konstrukce pozemních staveb 70 Prefabrikované konstrukční systémy a části staveb, vydavatelství ČVUT, Praha 2004