

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**VLIV GEOMETRIE KONSTRUKCE NA STATICKÉ
PŮSOBENÍ LOKÁLNĚ PODEPŘENÝCH DESEK**

Bakalářská práce

Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3608R008) Konstrukce pozemních staveb

Autor práce: **Tomáš Hynek**

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

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: Hynek Jméno: Tomáš Osobní číslo: 439140

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: Vliv geometrie konstrukce na statické působení lokálně podepřených desek

Název bakalářské práce anglicky: Influence of Geometry of Structure on Static Behaviour of Flat Slabs

Pokyny pro vypracování:

Základní aspekty navrhování lokálně podepřených konstrukcí.

Výpočetní modely a metody.

Konstrukční řešení vybrané části zadaného objektu s lokálně podepřenými stropy.


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 bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, která byla vložena do IS KOS.

V Praze dne 21. května 2018

.....

Tomáš Hynek

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Típkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a trpělivost při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která je mi po celou dobu mého studia oporou.

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce je analýza lokálně podepřených desek s ohledem na rozdílnou geometrii nosných konstrukcí.

V první části práce je zpracován základní přehled problematiky lokálně podepřených desek a jejich statického působení. Dále jsou popsány výpočetní metody, které jsou používány při jejich řešení.

V druhé části práce je zpracována studie variant lokálně podepřených desek. Jednotlivé varianty jsou porovnávány z hlediska vlivu rozdílných nosných prvků na průběhy ohybových momentů, potřebných ploch výztuže a protlačení.

Ve třetí části práce je zpracován návrh lokálně podepřené desky reálného objektu. Na stropní desku jsou aplikovány tři výpočetní metody. Výsledné hodnoty jsou vzájemně porovnány a je zhodnocena výstižnost jejich použití.

Klíčová slova

Železobetonové konstrukce, stropní konstrukce, lokálně podepřené desky, protlačení, metoda součtových momentů, metoda náhradních rámců, metoda konečných prvků.

Abstract

This bachelor thesis focuses on the analysis of flat slabs with diverse types of loadbearing structure.

The first part of the thesis deals with the basic overview of flat slabs and their structural behaviour. Moreover, there are described design methods, which are used in the thesis.

The second part of the thesis deals with the study of different variants of flat slabs. The individual options are compared in terms of different loadbearing structures influence on the bending moments, required reinforcement and punching shear.

In the third part of the thesis, the flat slab of the real construction is designed. Three design methods are applied to floor structure. The results are compared to each other and the relevance of their use is evaluated.

Keywords

Steel reinforced concrete structures, floor structures, flat slabs, punching shear, total design moment method, equivalent frame method, finite element method.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Lokálně podepřené desky	9
2.1	Varianty lokálně podepřených desek	10
2.2	Statické působení lokálně podepřených desek	11
2.2.1	Ohyb.....	12
2.2.2	Smyk – Protlačení	13
2.2.3	Vliv prostupů na lokálně podepřené desky	16
2.3	Výpočetní metody a možnosti jejich použití.....	17
2.3.1	Metoda součtových momentů	18
2.3.2	Metoda náhradních rámců a náhradních nosníků	20
2.3.3	Metoda konečných prvků (MKP)	21
2.4	Ztužení	22
3	Studie působení lokálně podepřených desek	23
3.1	Parametry konstrukce.....	23
3.2	Vliv geometrie konstrukce na statické působení desky	26
3.2.1	Porovnání ohybových momentů	26
3.2.2	Porovnání ploch výztuže	30
3.2.3	Porovnání průhybů	34
3.3	Vliv protlačení na návrh konstrukce	37
4	Řešení vybrané části objektu	45
4.1	Popis objektu.....	45
4.2	Konstrukční systém.....	46
4.2.1	Svislé nosné konstrukce	46
4.2.2	Vodorovné nosné konstrukce.....	46
4.2.3	Ztužení objektu ve vodorovném směru.....	47
4.3	Výpočet lokálně podepřené desky	47
4.4	Vyhodnocení	49
5	Závěr	52
	Použitá literatura	54
	Příloha 1: Statický výpočet	

1 Úvod

Stropní konstrukce v podobě lokálně podepřených desek jsou v dnešní době velmi často využívány a lze je uplatnit u většiny druhů pozemních staveb. Nejčastěji se vyskytují u bytové, administrativní a občanské výstavby. Jejich časté využití plyne z velkého množství výhod, které tento konstrukční systém přináší architektům, projektantům i technologům. Sloupový systém vytváří širokou škálu možností uspořádání vnitřních prostorů v objektu a umožňuje téměř libovolné využití vnitřní dispozice. Další výhodou je skutečnost, že lokálně podepřené stropy mají ve velkém množství případů rovný podhled, který vytváří prostor pro snadné vedení rozvodů TZB (voda, plyn, vzduchotechnika, elektro, kanalizace) v podstropní oblasti. Rovný podhled má pozitivní dopad na konstrukci i z hlediska technologie, kdy ubývá složitých detailů při provádění bednění. Další výhodou tohoto systému je možnost relativně snadno změnit vnitřní dispozice objektu v průběhu životnosti stavby.

Cílem práce je ukázat, jaký vliv má rozdílná geometrie konstrukce na statické působení lokálně podepřených desek. Bakalářskou práci lze rozdělit do třech základních částí. V první části této bakalářské práce je shrnuta základní problematika lokálně podepřených desek, jejich statické působení a odlišnosti od ostatních typů stropních konstrukcí.

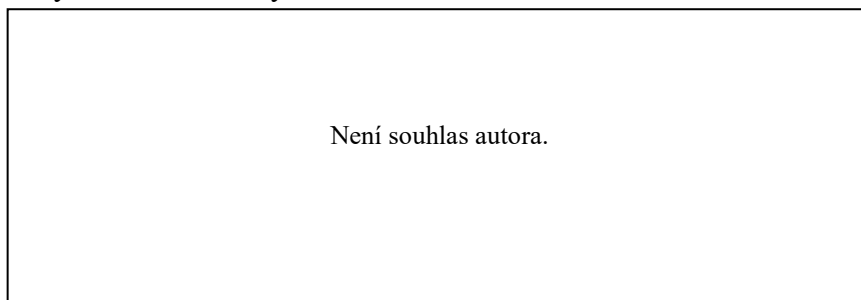
V druhé části je zpracována studie, ve které je řešena typická lokálně podepřená deska ve třech různých variantách. Jednotlivé varianty se mezi sebou vzájemně liší vodorovnými i svislými nosnými konstrukcemi. Pro tyto varianty jsou vyšetřovány hodnoty ohybových momentů, potřebné plochy výztuže a průhyby. V rámci studie lokálně podepřených desek jsou tyto sledované parametry porovnány a vyhodnoceny.

V poslední části je zpracován návrh reálného objektu s lokálně podepřenou stropní deskou. Pro tento objekt jsou předběžně navrženy rozměry základních vodorovných a svislých nosných prvků. Hlavním cílem této části je analýza výseku stropní konstrukce v 1.NP, která je řešena třemi výpočetními metodami. V řešené části stropní desky se nachází prostup v těsné blízkosti jednoho z podporujících sloupů. Výsledné hodnoty jsou následně porovnány a pro jednotlivé metody je zhodnocena jejich výstižnost a použitelnost.

2 Lokálně podepřené desky

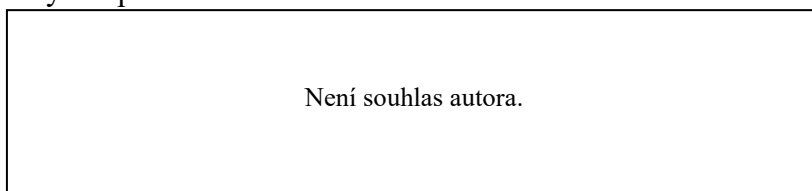
Lokálně podepřené desky představují konstrukci, která je charakterizována bodovým podepřením sloupy (popř. krátkými stěnami) a roznášením působícího zatížení ve více směrech. Dominantní zatížení obvykle působí kolmo na střednicovou rovinu desky. Tyto konstrukce jsou namáhány převážně ohybem a smykem (protlačení). Jejich výhodou je obvykle rovný podhled, který umožňuje jednoduché vedení instalací v prostoru pod stropní deskou. V případě rovného podhledu lze rovněž tyto stropy lehce bednit bez složitějšího provádění bednění v místě průvlaků.

Běžné rozpětí lokálně podepřených železobetonových nepředpjatých stropů je 5-7 m, ale lze dosáhnout hodnot až 9 m. Minimální tloušťka desky z důvodu možnosti umístění smykové výztuže proti protlačení je 200 mm. V případě, že tato výztuž není nutná, lze provádět desky i menší tloušťky.



Obr. 2.1 Lokálně podepřená deska [9]

Lokálně podepřené desky mohou být prováděny jako plné nebo vylehčené. Vylehčení lze použít pro dosažení většího rozpětí konstrukce (do 12 m). Realizují se pomocí speciálních plastových tvarovek, které se osazují při provádění bednění stropní desky (Obr. 2.2). Tímto opatřením lze snížit namáhání od vlastní tíhy stropu při zachování únosnosti. V blízkosti podpor se obvykle vylehčení nerealizuje z důvodu zajištění dostatečné únosnosti v protlačení. Spodní část desky může být celistvá, takže se na první pohled jeví jako deska plná. Druhou možností je vylehčující prvky přiznat, čímž vzniká kazetový nebo žebrový strop.

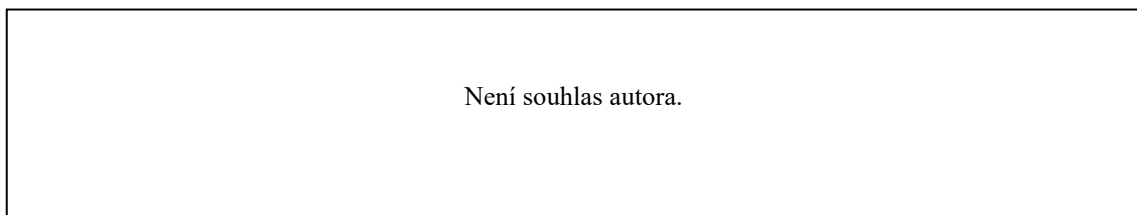


Obr. 2.2 Příklad vylehčení lokálně podepřené desky [9]

2.1 Varianty lokálně podepřených desek

Podle typu konstrukce můžeme lokálně podepřené stropy přibližně rozdělit na tyto základní typy:

- Desky s rovným podhledem
- Desky s viditelnými hlavicemi
- Desky s plochými průvlaky



a)

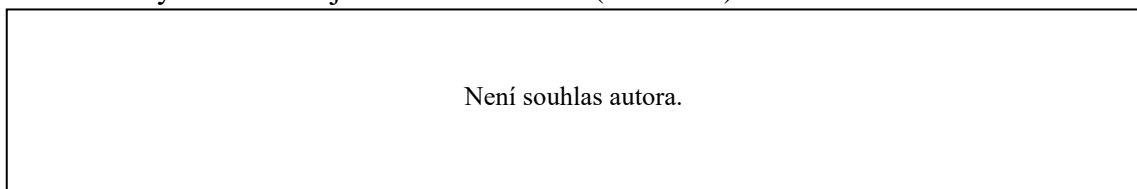
b)

c)

Obr. 2.3 Varianty lokálně podepřených desek: a) s rovným podhledem; b) s viditelnými hlavicemi; c) s plochými průvlaky [9]

Desky s rovným podhledem jsou podepřeny sloupy bez viditelných hlavic či zesilujících liniových prvků (Obr. 2.3a). Pro tento typ lokálně podepřených desek je často rozhodující únosnost v protlačení. V některých případech jsou tyto typy desek označovány rovněž jako bezhřibové či bezprůvlakové [7].

Desky s viditelnými hlavicemi (Obr. 2.3b) můžeme označovat rovněž jako desky hřibové. Pro tento typ konstrukce jsou typické viditelné železobetonové hlavice kuželovitého (kónického), případně jehlanovitého tvaru, v místě napojení desky na sloup (Obr. 2.4a). Hlavice zvyšují únosnost desky v ohybu, neboť zkracují rozpětí mezi jednotlivými podporami a rovněž snižují smykové napětí v blízkosti podpory. Hlavice mohou být realizované jako vyztužené běžnou betonářskou ocelí, nebo předpjaté. Alternativou k viditelným hlavicím je doplnit zhlaví sloupu o zesilující desku (Obr. 2.4b). Obě varianty lze také vzájemně zkombinovat (Obr. 2.4c).



a)

b)

c)

Obr. 2.4 Zhlaví sloupu lokálně podepřených desek s viditelnými hlavicemi: a) viditelná hlavice; b) zesilující deska; c) kombinace hlavice a zesilující desky [11]

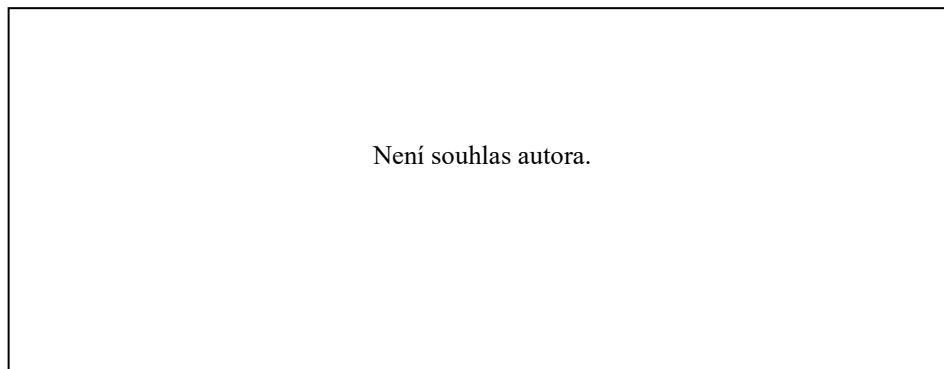
Desky s plochými průvlaky jsou mezi jednotlivými podporami zesíleny tzv. plochými průvlaky (Obr. 2.3c), které jsou širší než podpory a jejich výška je přibližně rovna dvojnásobku tloušťky přilehlé stropní desky. Vzhledem ke skutečnosti, že ohybovou tuhost ovlivňuje především výška prvku, nevytváří tyto průvlaky nepoddajnou podporu, ale mají vliv na přerozdělení vnitřních sil a celkové ztužení stropní desky. Tento typ lokálně podepřených desek se svým statickým působením přibližuje trámovému stropu.

2.2 Statické působení lokálně podepřených desek

Z hlediska statického působení jsou lokálně podepřené desky charakteristické svým způsobem roznášení zatížení. Pro zjednodušení popisu chování použijeme ortogonální systém podpor.

Zásadní rozdíl v porovnání s deskami po obvodě nepoddajně podepřenými je z hlediska průhybu. Ten v případě lokálně podepřených desek není mezi podporujícími prvky nulový, jako je tomu u desek po obvodě nepoddajně podepřených (Obr. 2.5). Důsledkem je rozdíl ve výpočtu, kdy u desek po obvodě nepoddajně podepřených celkové zatížení rozdělujeme do dvou směrů, zatímco u lokálně podepřených desek uvažujeme plnou hodnotu zatížení v obou směrech [10].

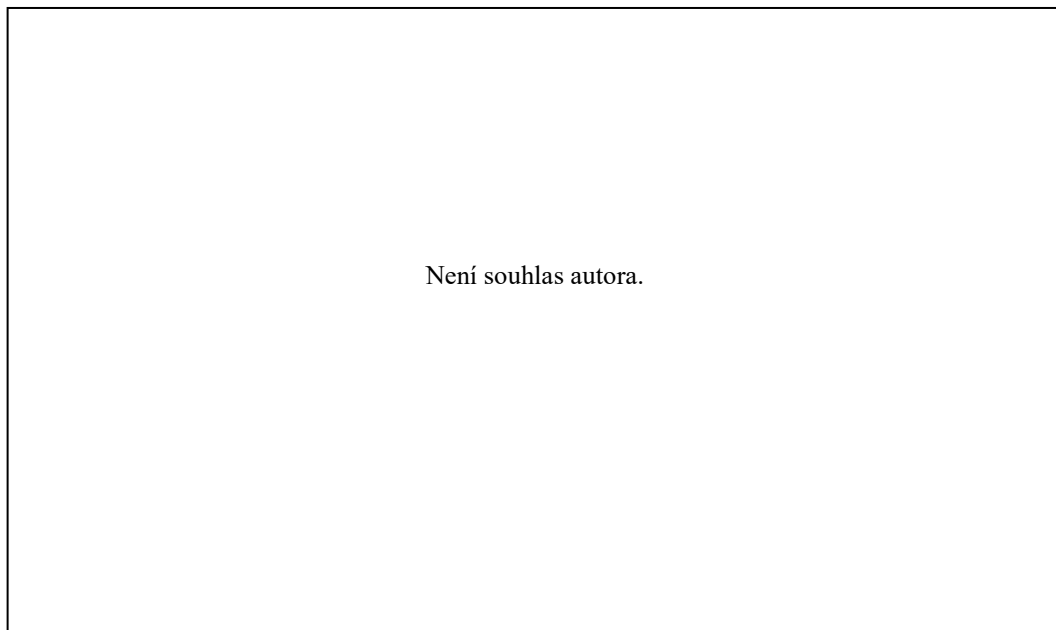
Při řešení lokálně podepřených desek lze použít **teorii lineární pružnosti** (případně s možnou redistribucí vnitřních sil), **plastickou** a **nelineární** analýzu.



Obr. 2.5 Porovnání statického působení [9]

2.2.1 Ohyb

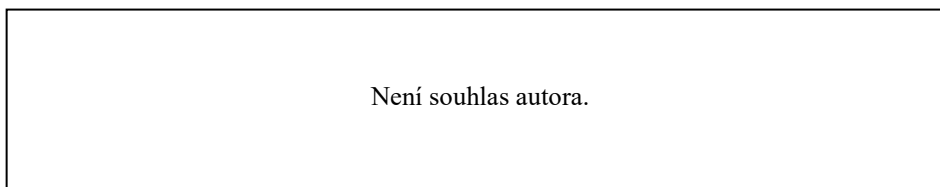
Z hlediska namáhání ohybovým momentem se využívá zjednodušené představy statického působení, kdy lokálně podepřená deska, stejně jako křížem vyztužená deska s podporujícími průvlaky, přenáší hlavní část namáhání mezi svými podporami. Zatímco u desky s průvlaky přenáší zatížení z přilehlé desky do sloupu právě průvlak, u lokálně podepřené desky si tuto oblast nahrazujeme pruhem o určité šířce, který označujeme **sloupový pruh**. Vedlejší části označujeme **střední pruhy**. Při standartním zatížení lze pozorovat, že moment dosahuje nejvyšších hodnot v blízkosti podpor ve sloupovém pruhu (Obr. 2.6). Zároveň je v tomto místě velký rozdíl v porovnání s momentem ve středním pruhu. Uprostřed rozpětí se již momenty ve sloupovém a středním pruhu příliš neliší. Z těchto skutečností vychází zjednodušené výpočetní metody, které při řešení lokálně podepřených desek lze uplatnit. V důsledku popsaného působení je ve sloupových pruzích obvykle soustředěno větší množství výztuže oproti pruhům středním.



Obr. 2.6 Průběh ohybových momentů lokálně podepřené desky [9]

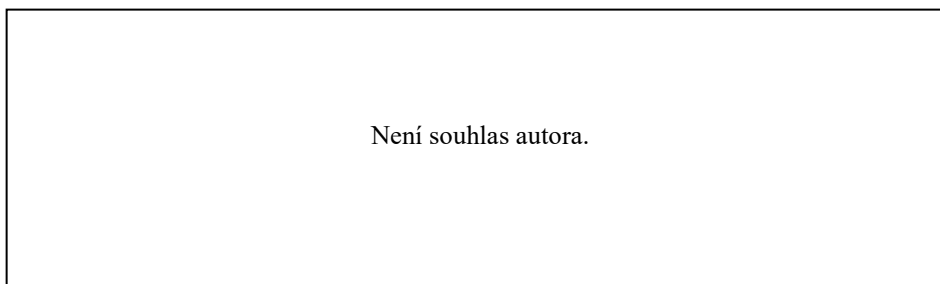
2.2.2 Smyk – Protlačení

Pro lokálně podepřené desky hraje důležitou roli namáhání posouvající silou. Důsledkem toho může dojít ke smykovému porušení, které označujeme **protlačení**. Protlačení může nastat v blízkosti sloupových podpor, na koncích podporujících stěn, případně pod lokálním břemenem.



Obr. 2.7 Protlačení u lokálně podepřené stropní desky [11]

Při návrhu desky na protlačení v rámci MSÚ využíváme tzv. kontrolovaných obvodů, ve kterých provádíme ověření únosnosti. Dva základní kontrolované obvody označujeme u_0 a u_1 , které se od sebe vzájemně liší velikostí, umístěním a charakterem porušení. Zatímco kontrolovaný obvod u_0 se uvažuje jako hranice podporujícího průřezu, obvod u_1 při výpočtu idealizujeme, podle tvaru podpory, ve vzdálenosti $k \cdot d$ od hrany sloupu, popř. stěny (Obr. 2.8).



Obr. 2.8 Tvar kontrolovaných obvodů u_0 a u_1 [9]

Z hlediska porušení se u obvodu u_0 jedná o porušení drcením tlačného betonu, zatímco u obvodu u_1 jde o porušení v důsledku nedostatečné únosnosti ve smyku. Smykové napětí v kontrolovaném obvodu závisí na tvaru a velikosti průřezu podporujícího prvku, tloušťce stropní desky, poloze podporujícího prvku a přítomnosti prostupů ve stropní konstrukci v blízkosti podpor.

Při posuzování kontrolovaných obvodů se smykovou výztuží na protlačení se určuje ještě tzv. u_{out} , za kterým již není tato výztuž nutná.

Pro výpočet a posouzení jednotlivých kontrolovaných obvodů podle normy [3] používáme tyto vztahy:

- Kontrolovaný obvod u_0 :

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max} , \quad (2.1)$$

kde $v_{Ed,0}$ je účinek návrhového zatížení v kontrolovaném obvodu u_0 ;
 $v_{Rd,max}$ únosnost v protlačení v obvodu u_0 (únosnost talkové diagonály);

- Kontrolovaný obvod u_1 :

$$v_{Ed,1} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} , \quad (2.2)$$

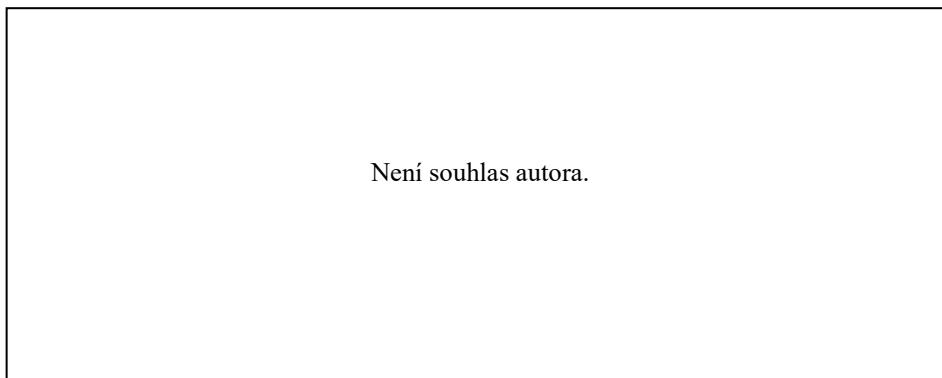
$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c} , \quad (2.3)$$

kde $v_{Ed,1}$ je účinek návrhového zatížení v kontrolovaném obvodu u_1 ;
 $v_{Rd,c}$ únosnost v protlačení bez výztuže na protlačení pro obvod u_1 ;
 k_{max} součinitel maximální únosnosti, který zohledňuje typ smykové výztuže

- Smykové napětí na kontrolovaném průřezu:

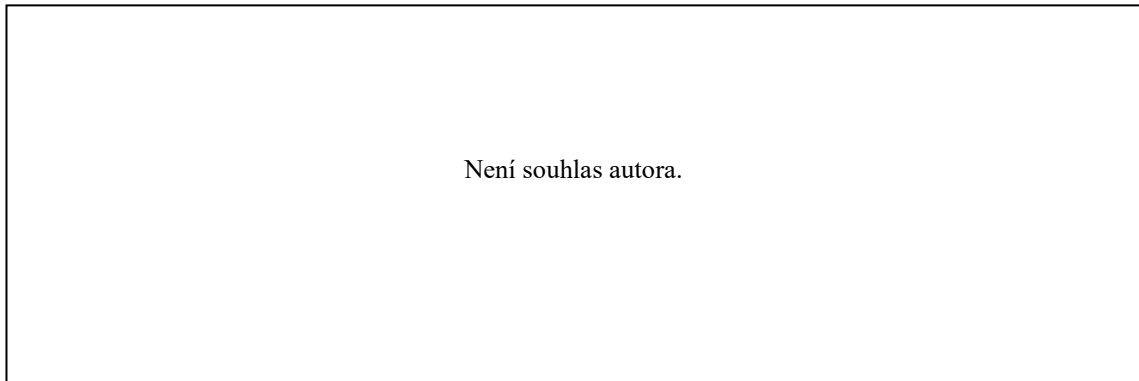
$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} , \quad (2.4)$$

kde β je součinitel, který vyjadřuje vliv excentricity působící síly vůči těžišti styčné plochy (Obr. 2.9);
 V_{Ed} posouvající síla od působícího zatížení;
 u_i délka řešeného kontrolovaného obvodu;
 d průměrná účinná výška průřezu, kdy $d = (d_x + d_y)/2$;
 $d_x; d_y$ účinná výška průřezu v kontrolovaném průřezu ve směru x a y (směr pnutí nosné výztuže)



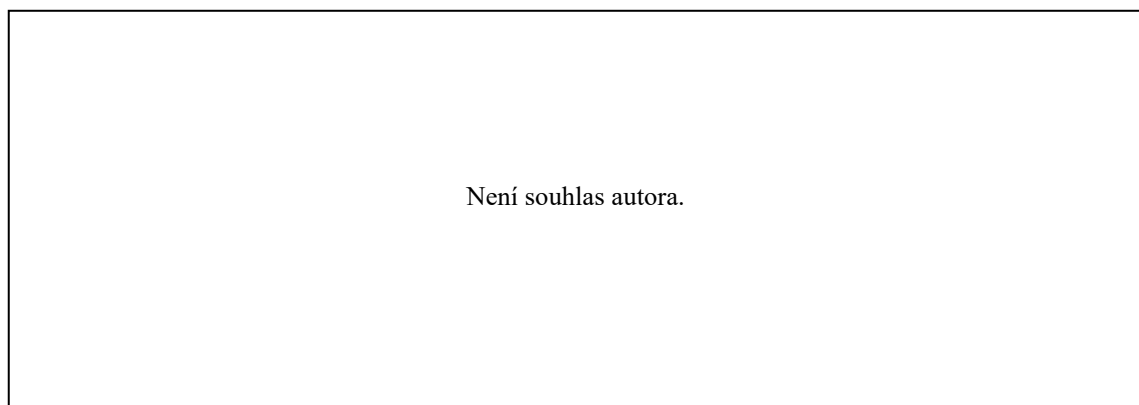
Obr. 2.9 Hodnoty součinitele β [9]

Pro pravidelné konstrukce lze součinitel β určit z daných hodnot v závislosti na poloze podporujícího prvku (Obr. 2.9). U konstrukcí, které mají rozpětí sousedních polí větší než 25 % kratšího rozpětí, se stanoví přesnější hodnota součinitele β podle normy [3]. Poloha sloupu vzhledem k okraji desky rovněž ovlivňuje délku obou kontrolovaných obvodů (Obr. 2.10) [6].



Obr. 2.10 Vliv polohy sloupu na délku kontrolovaného obvodu u_1 [9]

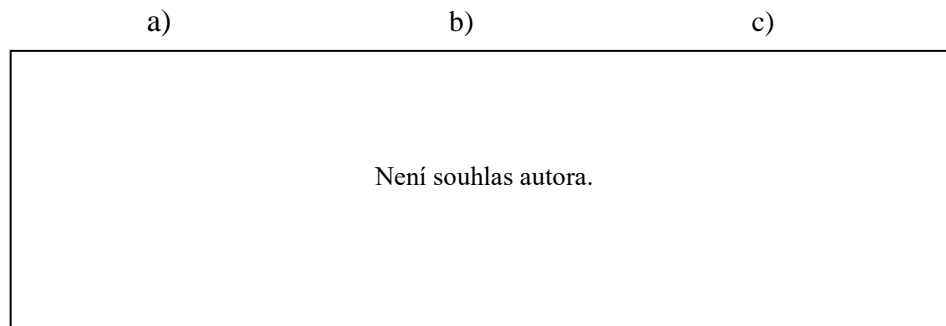
Pro snížení smykového napětí a zvýšení únosnosti v protlačení lze do stropní desky v oblasti sloupu vložit skryté ocelové hlavice (Obr. 2.11), které posouvají vzdálenost kontrolovaných obvodů směrem od zhlaví sloupu a tím zvyšují jeho délku. Používají se různé druhy ocelových hlavic (např. manžetové, roštové a žebrové). Zatímco hlavice manžetové jsou ze svařených ocelových manžet a svým působením nepřenášejí vnitřní síly v místě napojení desky na sloup, hlavice roštové a žebrové se skládají obvykle z válcovaných profilů a přenášejí posouvající síly i ohybové momenty. Z hlediska vyztužování lze manžetové hlavice doplnit ohyby, tj. smykovou výztuží proti protlačení. U žebrových a roštových hlavic se tato výztuž neaplikuje a konkrétní hlavice se navrhnou dle ČSN EN 1993-1-1.



Obr. 2.11 Příklady skrytých hlavic [9]

Dalšími možnostmi, jak zvýšit únosnost desky v protlačení je použít beton vyšší pevnostní třídy, nebo zvětšení tloušťky desky, čímž se sníží smykové napětí v místě styku desky s podporujícím prvkem. Obdobný princip se uplatňuje u hřibových stropů, u kterých tuto funkci plní viditelné hlavice.

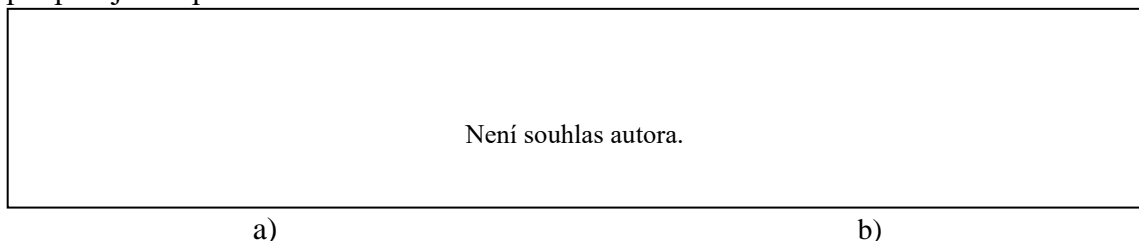
V případě, že deska nevyhoví bez výztuže na protlačení, je potřeba výztuž navrhnout. Používá se klasická třmínková výztuž svařená do žebříčků, smykové trny nebo ohyby (Obr. 2.12). Ohyby se obvykle uspořádají kolmo na sebe ve směru rozpětí konstrukce. U třmínkové výztuže lze použít systém soustředných kruhů (kruhové podpory) nebo ortogonální síť (pravoúhlé podpory). Pro smykové trny se používá radiální uspořádání, ale lze rovněž využít uspořádání ortogonální (ve směru rozpětí). [11]



Obr. 2.12 Příklady výztuže proti protlačení: a) třmínková výztuž; b) smykové trny; c) ohyby [11]

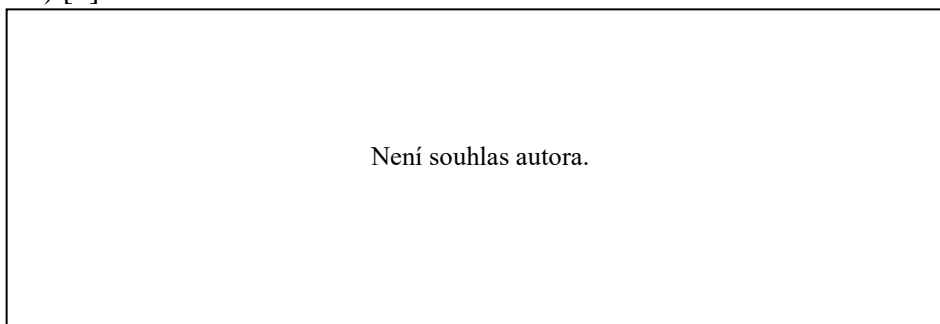
2.2.3 Vliv prostupů na lokálně podepřené desky

Při návrhu lokálně podepřených desek je nutné zahrnout vliv prostupů na rozložení vnitřních sil v desce. Prostupy jsou obvykle součástí stropních konstrukcí kvůli vedení instalací a vertikálních komunikací (schodiště, výtahy). Při jejich rozmístění v lokálně podepřené desce je staticky vhodnější, když se nachází ve středních pruzích deskových polí. V případě nutnosti umístění více prostupů do sloupového pruhu, je doporučeno tyto prostupy sjednotit k jedné straně pruhu (Obr. 2.13), aby mohlo být v jeho zbylé části provedeno průběžné vyztužení ohybovou výztuží, která bude přenášet namáhání do podporujících prvků.



Obr. 2.13 Rozmístění prostupů ve sloupovém pruhu: a) vhodné; b) nevhodné [9]

Prostupy ve stropní desce hrají rovněž důležitou roli při posouzení protlačení. V případě, že je nejbližší bod otvoru vzdálen méně než šestnásobek průměrné účinné výšky průřezu d od krajní hrany podporujícího prvku, je nutné ve výpočtu snížit délku kontrolovaných obvodů (Obr. 2.14). V důsledku toho narůstá smykové napětí vyčíslené dle rovnice (vztah 2.4) [5].



Obr. 2.14 Vliv prostupu na kontrolované obvody u_0 a u_1 [9]

2.3 Výpočetní metody a možnosti jejich použití

Při návrhu lokálně podepřených desek lze použít obecné metody pro řešení deskových konstrukcí (např. MKP, desková rovnice, metoda sítí) nebo lze použít některou ze zjednodušených metod. Zjednodušené metody využívají pro výpočet náhradní nosník, případně ráh. Tyto dvě zjednodušené metody výpočtu vnitřních sil na lokálně podepřených deskách se nazývají **metoda součtových momentů** a **metoda náhradních ráhů**. Abychom mohli tyto zjednodušené metody použít, je potřeba, aby vyšetřovaná konstrukce splňovala určité podmínky. V opačném případě jsou výsledku výpočtu nepřesné. U ortogonálního systému podepření udává norma [4] pro použití zjednodušených metod tyto podmínky:

- Vzájemný poměr delší a kratší strany deskového pole nesmí být větší než 2:1.
- V případě, že se v konstrukci nachází ztužující trámy po celém obvodě, musí platit podmínka:

$$0,2 < \frac{\alpha_1 \cdot l_2^2}{\alpha_2 \cdot l_1^2} < 5, \quad (2.5)$$

kde α_1 (α_2) jsou součinitele vyjadřující spolupůsobení desky a ztužujících trámů ve směru 1 (2) (výpočet α dle ČSN 73 1201 [4] – viz článek 8.2.16);

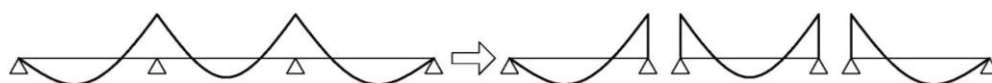
l_1 (l_2) rozpětí polí ve směru 1 (2)

- Zatížení konstrukce je pouze statické, ne dynamické a únavové.
- Konstrukce musí být zajištěna proti účinkům vodorovného zatížení (vítr), např.: ztužující jádro, stěny. Sloupy jsou následně namáhány pouze účinkem svislého zatížení.

2.3.1 Metoda součtových momentů

Metoda součtových momentů je nejjednodušší metodou pro stanovení průběhu ohybových momentů na lokálně podepřené desce. Abychom však mohli tuto metodu použít, musí konstrukce splňovat, kromě výše uvedených, ještě tyto doplňující podmínky:

- Desková konstrukce je v celém svém rozsahu železobetonová, případně s ocelovými nebo předpjatými hlavicemi.
- V obou hlavních směrech má desková konstrukce alespoň 3 desková pole.
- Rozpětí následných deskových polí v hlavním směru se neliší o více než 1/3 rozpětí kratšího pole.
- Sloupy nejsou odchýleny od osového systému o více než 10 % vzdálenosti os kolmých na směr vychýlení.
- Konstrukce je zatížena pouze svislým rovnoměrným zatížením rovnoměrně rozděleným po celém deskovém poli, přičemž charakteristická hodnota nahodilého zatížení není větší než dvojnásobek charakteristického stálého zatížení.



Obr. 2.15 Metoda součtových momentů – rozdělení na jednotlivé nosníky

Pro výpočet metodou součtových momentů je vyjmut pás desky z jedné řady sloupů, který je následně rozdělen na jednotlivé nosníky s definovaným podepřením, na kterých se vyšetřují vnitřní síly (Obr. 2.15). Na každém z nosníků se samostatně stanoví tzv. **celkový součtový moment pole** M_{tot} (Obr. 2.16), který představuje „součet“ podporového a mezipodporového momentu ve vyšetřovaném směru, vztažený na celou šířku vyjmutého pásu desky o dané zatěžovací šířce. (vztah 2.6).

Není souhlas autora.

Obr. 2.16 Celkový součtový moment pole [9]

$$M_{\text{tot}} = \frac{1}{8} \cdot \left(\sum G_d + \sum Q_d \right) \cdot b \cdot L_{i,n}^2, \quad (2.6)$$

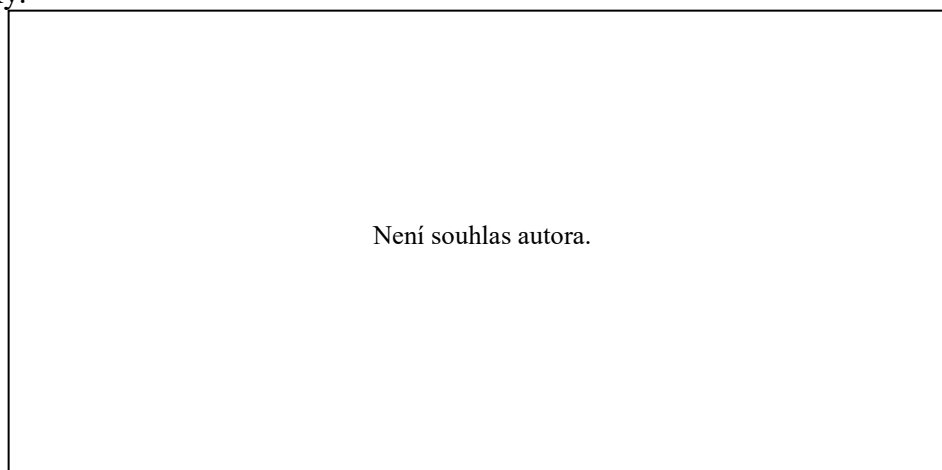
- kde $\sum G_d$ je součet návrhových hodnot všech plošných rovnoměrných stálých zatížení desky;
- $\sum Q_d$ součet návrhových hodnot všech plošných rovnoměrných proměnných zatížení;
- b šířka vyšetřovaného pruhu desky, která je vymezena střednicemi pásů deskových polí po obou stranách;
- $L_{i,n}^2$ světlé rozpětí vyšetřovaného pole.

V závislosti na podepření konstrukce a poloze vyšetřovaného průřezu se určí hodnota součinitele γ , který vynásobením M_{tot} udává velikost záporného (v podpoře) či kladného (v poli) momentu. Hodnota součinitele je stanovena normou [4]. Získané hodnoty momentů v řešených průřezích jsou dále přerozděleny do sloupových a středních pruhů pomocí vynásobení součinitelem ω . Jeho hodnota je rovněž stanovena normou [4]. Návrh ohybové výztuže se provádí ze získaných hodnot ohybových momentů v řešených pruzích. Silové účinky zatížení stanovené metodou součtových momentů, nelze dále upravovat (např. se zřetelem k redistribuci momentů). Konstrukce se vyšetřuje ve dvou vzájemně se kolmo křížujících směrech sloupových řad [12].

Ze vzorce pro M_{tot} (vztah 2.6) je patrné, že metodu lze uplatnit jen při aplikaci rovnoměrného spojitého zatížení na celé stropní konstrukci. Metoda neumožňuje řešit střídavé užité zatížení, protože svým výpočtem nevystihuje efekt odlehčení sousedních polí. Z tohoto důvodu je vhodná především pro řešení typických skeletových konstrukcí pravoúhlého charakteru, ve kterých se nevyskytují větší prostupy, výraznější rozdíly v zatížení či osamělá břemena, které by výrazněji ovlivňovaly rozložení momentů na desce.

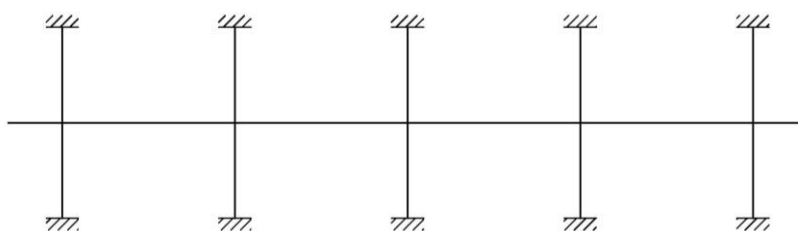
2.3.2 Metoda náhradních rámuů a náhradních nosníků

Metoda náhradních rámuů spočívá ve vyjmutí rámového výseku z konstrukce (Obr. 2.17), který na rozdíl od metody součtových momentů zohledňuje vliv podporujících prvků a sousedních polí na průběhu ohybových momentů. Celou konstrukci lze vyšetřovat jako systém náhradních rámuů, které vedou ve směru sloupových řad a ve dvou vzájemně na sebe kolmých směrech (Obr. 2.17). V případě, že styčnick mezi deskou a podporující konstrukcí není schopen přenášet ohybové momenty, vyšetřují se náhradní spojité nosníky.



Obr. 2.17 Příklad náhradních rámuů [9]

Pokud konstrukce není ve vodorovném směru ztužena, řeší se jako rámový celek přes všechna podlaží. V opačném případě lze konstrukci rozdělit na samostatné rámové výseky jednotlivých podlaží, na kterých se vyšetřují účinky od působícího svislého zatížení. Řešený náhradní rám se skládá z **deskové příčle** a **podporujících prvků** (sloupy), které jsou na vzdálenějších koncích doplněny okrajovými podmínkami (Obr. 2.18) [9].



Obr. 2.18 Příklad rámového výseku patra

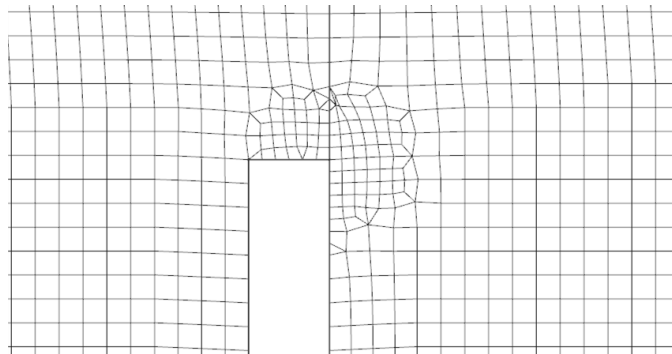
V průběhu výpočtu je nutné zohlednit vliv proměnného momentu setrvačnosti u deskové příčle i podporujících sloupů v případě, že sloupy mají zesilující hlavice. Pro vystižení rozdílu mezi působením deskové a běžné rámové příčle se zavádí při řešení tzv. náhradní sloup, který se skládá ze skutečných sloupů a připojených prvků namáhaných kroucením.

Pro výpočet vnitřních sil na náhradním rámu se využívají metody stavební mechaniky pro řešení staticky neurčitých konstrukcí (včetně MKP). V závislosti na okrajových podmínkách se výsledné momenty, stejně jako u metody součtových momentů, rozdělí v příčném směru pomocí součinitele ω do sloupového a středního pruhu. V blízkosti okraje desky je toto rozdělení ovlivněno případným obvodovým ztužujícím trámem, nebo překonzolováním desky za krajní řadu podporujících prvků.

2.3.3 Metoda konečných prvků (MKP)

V dnešní době je nepoužívanější metodou pro řešení chování stavebních konstrukcí metoda konečných prvků (MKP). Je výhodná především díky svým možnostem z hlediska rozmanitosti modelování, rychlosti a přesnosti výpočtu.

Při užití této metody lze v prostředí výpočetního programu (např. SCIA Engineer) vytvořit model nosné konstrukce, zatížit dle jednotlivých zatěžovacích stavů a následně provést výpočet vnitřních sil, napětí, deformací aj. Základním principem metody je rozdělení konstrukce na konečný počet prvků, které mají ve společných uzlech shodné hodnoty posunů a pootočení. Vzhledem k této skutečnosti je zásadním faktorem hustota zvolené sítě, která ovlivňuje přesnost, ale i rychlost výpočtu. Při vyšetřování deskových konstrukcí lze pro standartní části desek použít přibližně tloušťku desky jako velikost jednoho prvku. V místech, kde očekáváme výraznější hodnoty deformace či napětí se volí větší hustota sítě. Nejčastěji se provádí zhuštění sítě v blízkosti prostupů, u skokových změn geometrie konstrukce, v některých případech i na překonzolované části desky (Obr. 2.19). Vygenerované prvky sítě jsou běžně obdélníkového či trojúhelníkového tvaru. Pro řešení konstrukce lze obvykle použít různé možnosti výpočtu – například lineární, nelineární, stabilitní, dynamický aj. Během vytváření modelu konstrukce je důležité respektovat pokyny výrobce softwaru týkající se způsobu modelování jednotlivých konstrukčních částí [10].



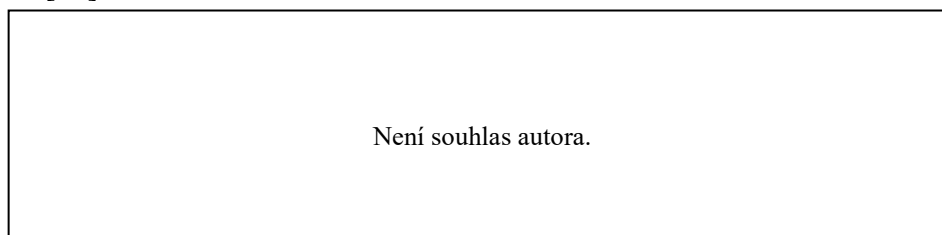
Obr. 2.19 Příklad zhuštění sítě MKP v blízkosti prostupu

Při návrhu lokálně podepřených desek metodou konečných prvků lze získat průběh vnitřních sil (např. ohybových momentů) na stropní desce v podobě isolinií. Pro získání návrhových ohybových momentů je potřeba využít dalších nástrojů výpočetního softwaru. Z hlediska návrhu výztuže je potřeba vykreslit konkrétní průběhy ohybových momentů na zadaných řezech a zprůměrovat (redistribuovat) jejich hodnoty po šířce řešeného pruhu (sloupového či středního). V opačném případě vychází nadměrné plochy výztuže (především v oblasti podpor), které vedou k neekonomickému návrhu konstrukce. V porovnání s výše popsány zjednodušenými výpočetními metodami lze pomocí MKP získat přesnější průběhy vyšetřovaných veličin (např. vnitřních sil) na konstrukci, především v místech s prostupy a nepravidelnostmi v konstrukci.

Další neméně důležitou částí je kontrola a interpretace výsledků. Je vhodné vybrané části konstrukce ověřit zjednodušeným ručním výpočtem, který nám poskytne alespoň rámcovou představu o hodnotách výsledných veličin. Rovněž se doporučuje provádět přibližnou kontrolu reakcí v místech, kde je můžeme přibližně vyčíslit. Takto se lze vyhnout zásadním chybám, které mohou vzniknout při tvorbě modelu nebo interpretaci výsledků.

2.4 Ztužení

U lokálně podepřených desek je celkové ztužení konstrukce velmi důležitou součástí návrhu. Je nutné, aby konstrukce odolávala vodorovnému zatížení. Nejčastěji se jedná o zatížení od větru. Konstrukční systém lokálně podepřených desek je z tohoto důvodu doplněn o ztužující stěny, ztužující jádra, případně obě varianty společně (Obr. 2.20). Vzhledem ke skutečnosti, že tyto prvky mají výrazně větší ohybovou tuhost než sloupy, uvažujeme ve výpočtu, že přebírají veškeré vodorovné síly, které na konstrukci působí. Základním předpokladem pro přenos vodorovných sil do svislých ztužujících konstrukcí je tuhá stropní deska. V monolitických konstrukcích je tohoto předpokladu běžně dosaženo [11].



Obr. 2.20 Příklady rozmístění ztužujících stěn [11]

3 Studie působení lokálně podepřených desek

V rámci bakalářské práce je zpracována studie, která pomocí výpočetního programu SCIA Engineer (verze 17.01.1030) a doplňujících výpočtů analyzuje statické působení lokálně podepřených desek. Cílem studie je ukázat rozdíly v chování konstrukce v závislosti na úpravách geometrie vodorovných i svislých nosných prvků. Zvolené konstrukční varianty vychází z typů lokálně podepřených desek popsanych v kapitole 2.1.

3.1 Parametry konstrukce

Pro účely studie byla vytvořena konstrukce 3 x 3 pole s rozpětím 7 x 5 m. Všechna krajní pole jsou překonzolována o 1,5 m v obou směrech (Obr. 3.1). Stropní deska je navržena tloušťky 250 mm. Podporujícími prvky jsou sloupy o rozměrech 300 x 300 mm. Všechny nosné konstrukce jsou uvažovány z betonu C 25/30 a vyztuženy betonářskou výztuží B500B.

Pro účely studie jsou aplikovány tři základní složky zatížení (Tab. 3.1) a zároveň je užité zatížení uvažováno konstantní hodnotou po celé ploše stropní desky. Během výpočtu je vyšetřován patrový výsek konstrukce z důvodu snadného sledování změn statického působení (např. typické podlaží).

Tab. 3.1 Hodnoty zatížení

Typ	Název	Charakteristická hodnota [kN/m ²]
Stálé	Vlastní tíha $g_{0,k}$	Výpočet ve SCIA Engineer
	Ostatní stálé $(g-g_0)_{patro,k}$	3,500
Proměnné	Užitné – kategorie B q_k	3,000

Při výpočtech jsou uvažovány dvě kombinace zatížení. Pro stanovení vnitřních sil je použita kombinace pro MSÚ (STR/GEO) (soubor B) dle [1] (vztah 3.1).

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

kde $G_{k,j}$ je stálé zatížení

$Q_{k,1}$ hlavní proměnné zatížení

$Q_{k,i}$ vedlejší proměnné zatížení (v tomto případě není uvažováno)

γ_G dílčí součinitel stálého zatížení $\gamma_G = 1,35$

γ_Q dílčí součinitel proměnného zatížení; $\gamma_Q = 1,50$

P zatížení od předpětí (v tomto případě není uvažováno)

Hodnoty průhybu konstrukce jsou stanoveny při kvazistálé kombinaci zatížení pro MSP rovněž dle [1] ČSN EN 1990 (vztah 3.2).

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

kde $G_{k,j}$ je stálé zatížení

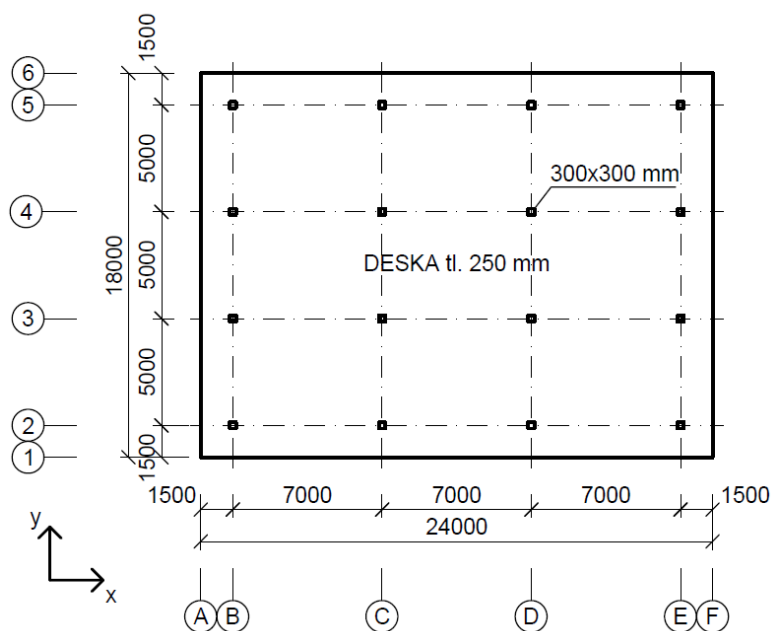
$Q_{k,i}$ vedlejší proměnné zatížení

P zatížení od předpětí (v tomto případě není uvažováno)

V rámci studie jsou porovnány tyto tři konstrukční varianty:

Varianta A:

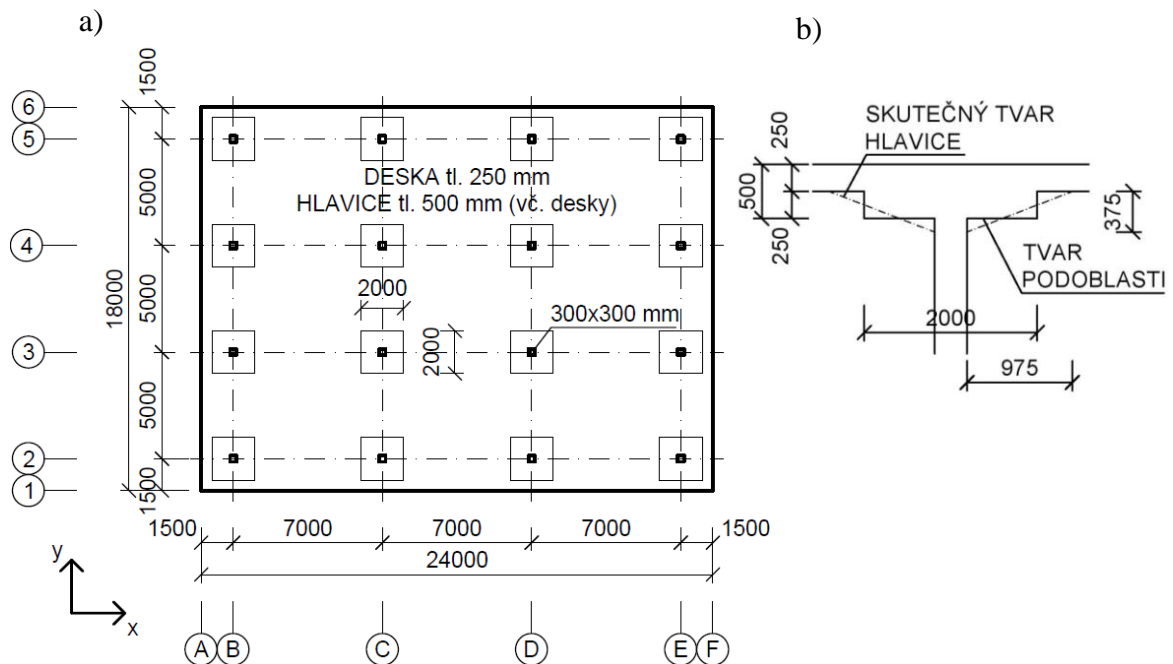
Ve variantě A se jedná o lokálně podepřenou desku s rovným podhledem o výše uvedených rozměrech a zatížení (Obr. 3.1). Konstrukce není doplněna žádnými dalšími ztužujícími ani podporujícími prvky.



Obr. 3.1 Konstrukční schéma – varianta A

Varianta B:

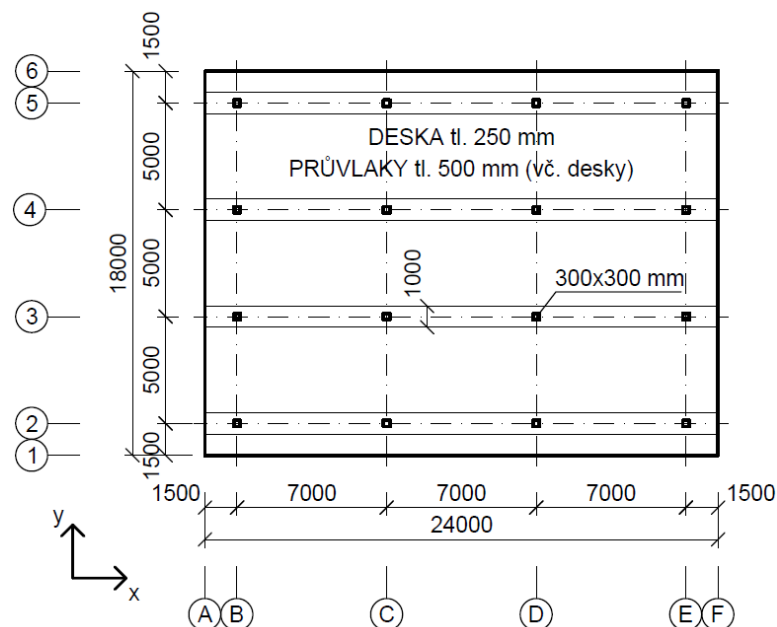
Varianta B (Obr. 3.2) je doplněna hlavicemi ve tvaru komolého jehlanu, které jsou pro účely zjednodušení výpočtu modelovány pomocí deskových podoblastí tloušťky 250 mm o velikosti 2 x 2 m (Obr. 3.2a). Tento model rovněž lze uvažovat jako variantu lokálně podepřené konstrukce se zesilujícími deskami v oblasti podpor. Model podoblasti desky vychází z přibližné idealizace tvaru hlavice, kdy její obrys prochází polovinami stran vytvořené podoblasti (Obr. 3.2b).



Obr. 3.2 Konstrukční schéma – varianta B: a) půdorysné schéma; b) tvar hlavice a její idealizace pro účely modelování

Varianta C:

U varianty C (Obr. 3.3) jsou ve směru většího rozpětí vedeny ploché průvlaky o rozměrech 1000 x 500 mm, které fungují jako ztužující a zesilující žebra. Tyto průvlaky zesilují konstrukci, částečně mění způsob roznášení zatížení v desce a snižují průhyby.



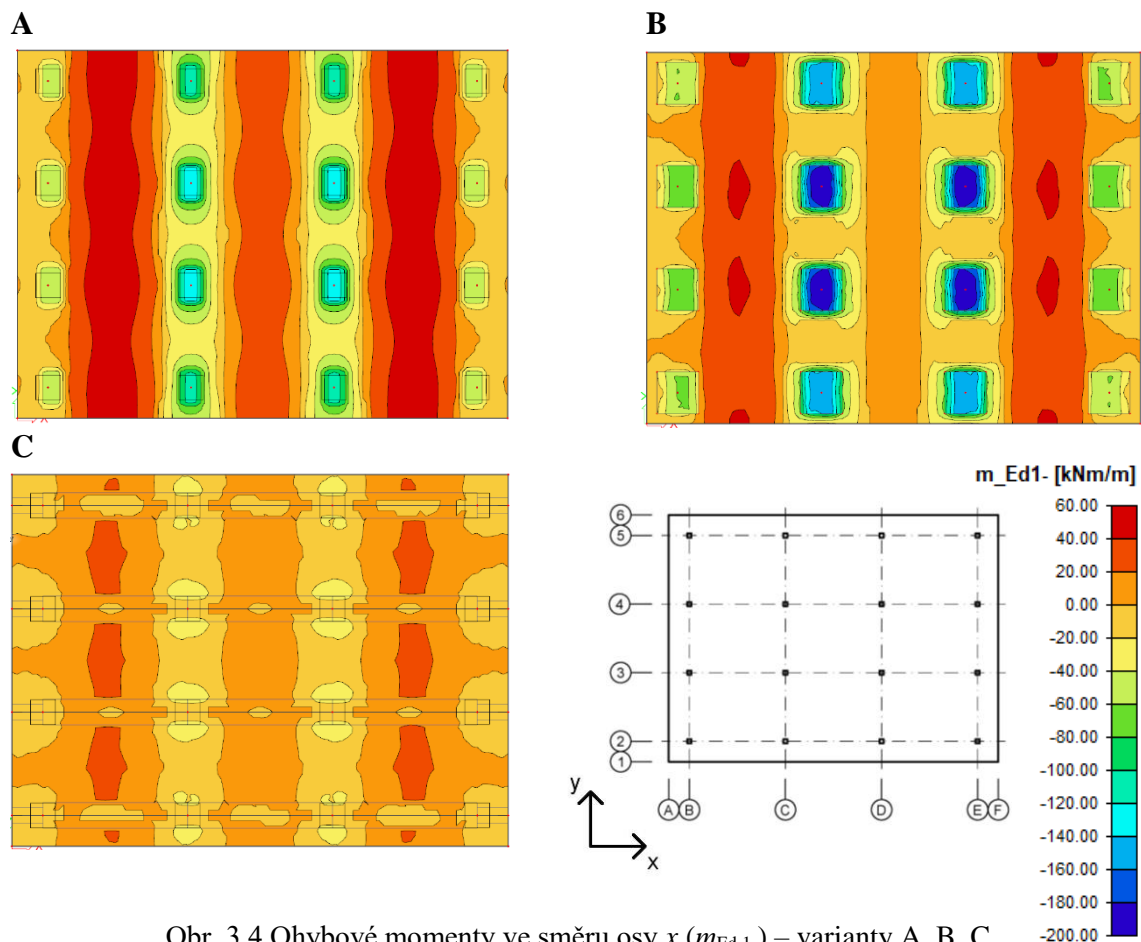
Obr. 3.3 Konstrukční schéma – varianta C

3.2 Vliv geometrie konstrukce na statické působení desky

Výše uvedené konstrukční varianty jsou porovnány z hlediska rozložení a velikosti ohybových momentů, potřebné plochy výztuže pro návrh na MSÚ a velikosti průhybů při MSP. Jednotlivé varianty jsou vyšetřovány ve středním a krajních polích. Konstrukce je idealizována jako 2D deska se zohledněním tuhosti připojení svislých nosných konstrukcí a je řešena pomocí metody konečných prvků jako 2D úloha v programu SCIA Engineer.

3.2.1 Porovnání ohybových momentů

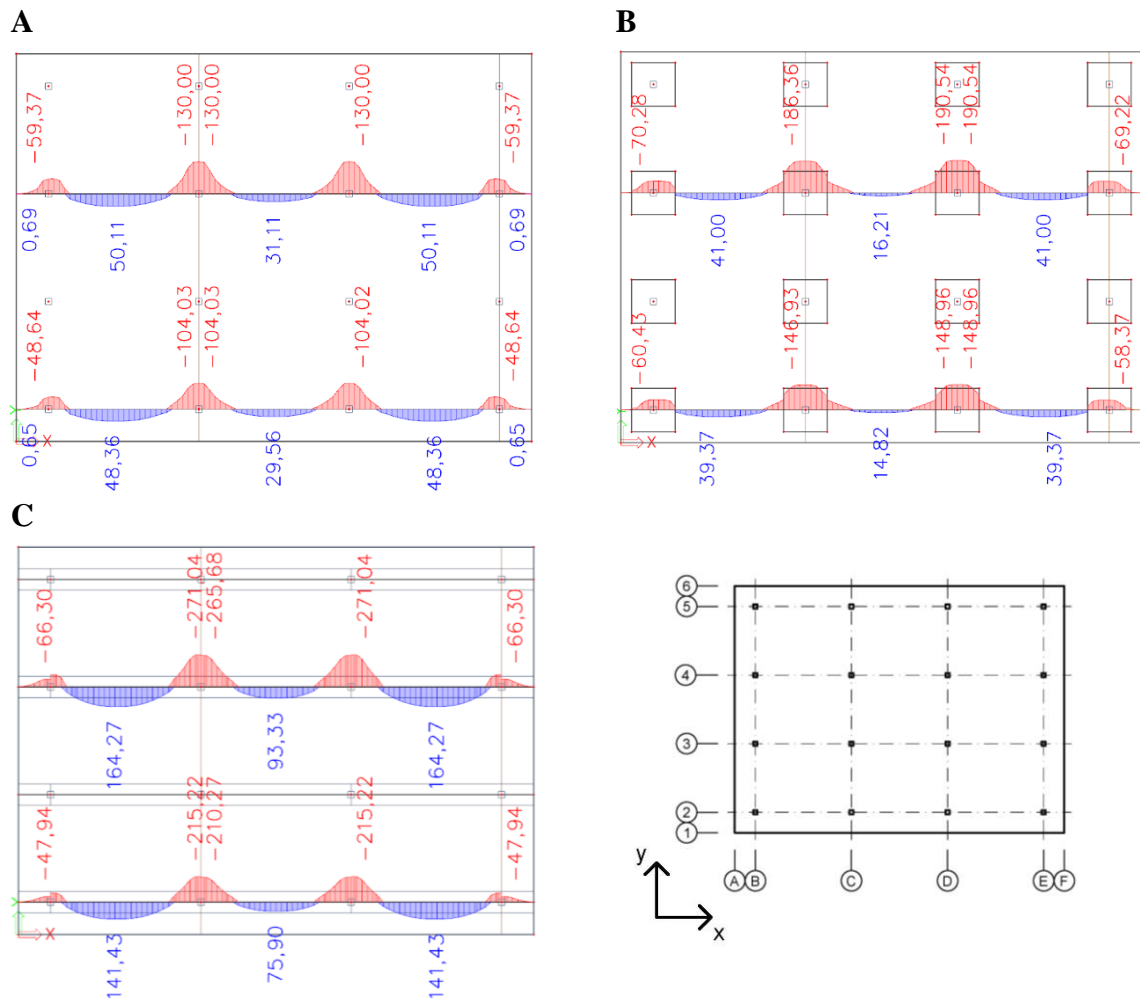
Pro jednotlivé případy je vykresleno rozložení ohybových momentů na desce ve směru os x (Obr. 3.4) a y (Obr. 3.6). V případě varianty C jsou ve směru osy x vykresleny hodnoty ohybových momentů na plochých průvlacích. (Obr. 3.5)



Obr. 3.4 Ohybové momenty ve směru osy x ($m_{Ed,1}$) – varianty A, B, C

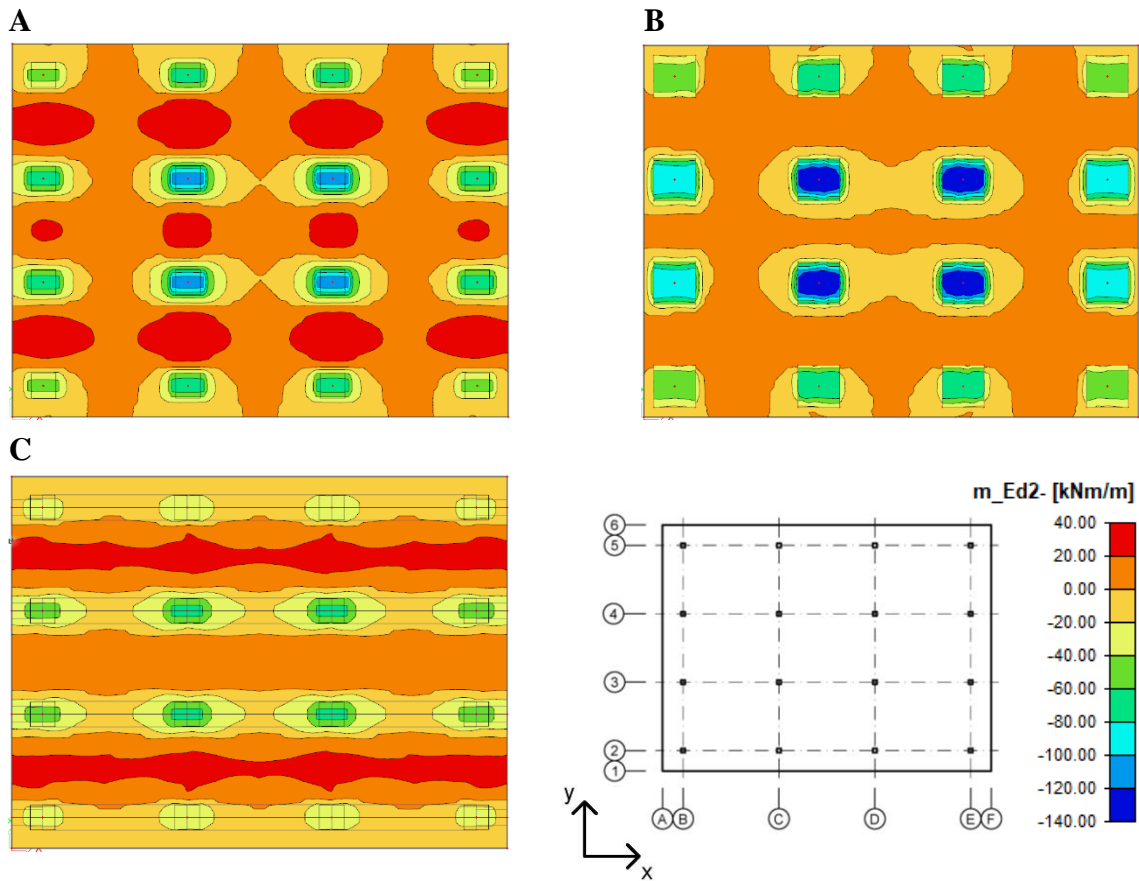
Varianta A se vyznačuje největšími hodnotami ohybových momentů v poli, zatímco varianta C dosahuje hodnot nejnižších. Tato skutečnost je zapříčiněna tím, že deska s plochými průvlaky se vzdaluje svým působením od lokálně podepřených desek a spíše se začíná podobat trámovému stropu, ve kterém se zatížení přenáší ze stropní desky do přilehlých průvlaků s větší tuhostí. V důsledku toho jsou výrazně větší hodnoty M na samotném průvlaku (Obr. 3.5), než na jakékoliv jiné části této desky.

Na variantě A lze velmi dobře pozorovat chování lokálně podepřených desek v návaznosti na popis rozložení momentů do sloupových a středních pruhů (Obr. 3.4). V ostatních případech toto působení není tak patrné, protože se vnitřní síly výrazněji koncentrují do hlavic či plochých průvlaků. Na plochých průvlacích je patrné trémové působení, kdy hodnoty momentů jsou výrazně větší než u variant A a B – v polích 3x, v podporách 2x (viz Obr. 3.5).

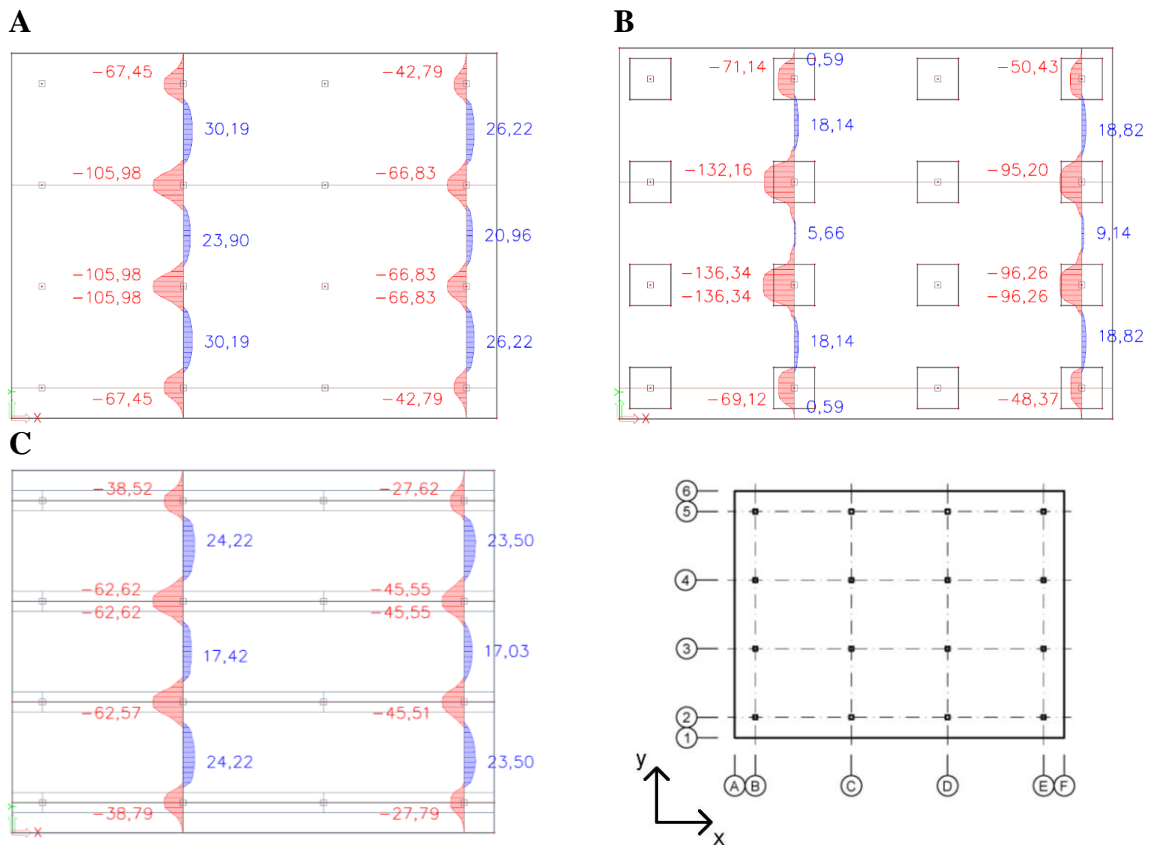


Obr. 3.5 Ohybové momenty [kNm/m] ve směru osy x – vnitřní a krajní řezy

U desky s hlavicemi (varianta B) je patrný nárůst hodnot v oblasti podpor (přibližně o 40 %), který zde nastává v důsledku větších ohybových tuhostí hlavic než přilehlé desky. Tímto zvýšením se zároveň snižuje velikost momentů v poli. To se nejvíce projevuje v prostředním poli u varianty B, kde hodnota klesne téměř o 50 % oproti variantě A bez hlavic. Dále můžeme pozorovat, že u všech variant horní momenty dosahují nejvyšších hodnot u vnitřních podpor (sloupy C-D 3-4).



Obr. 3.6 – Ohybové momenty ve směru osy y ($m_{Ed,2}$) – varianty A, B, C



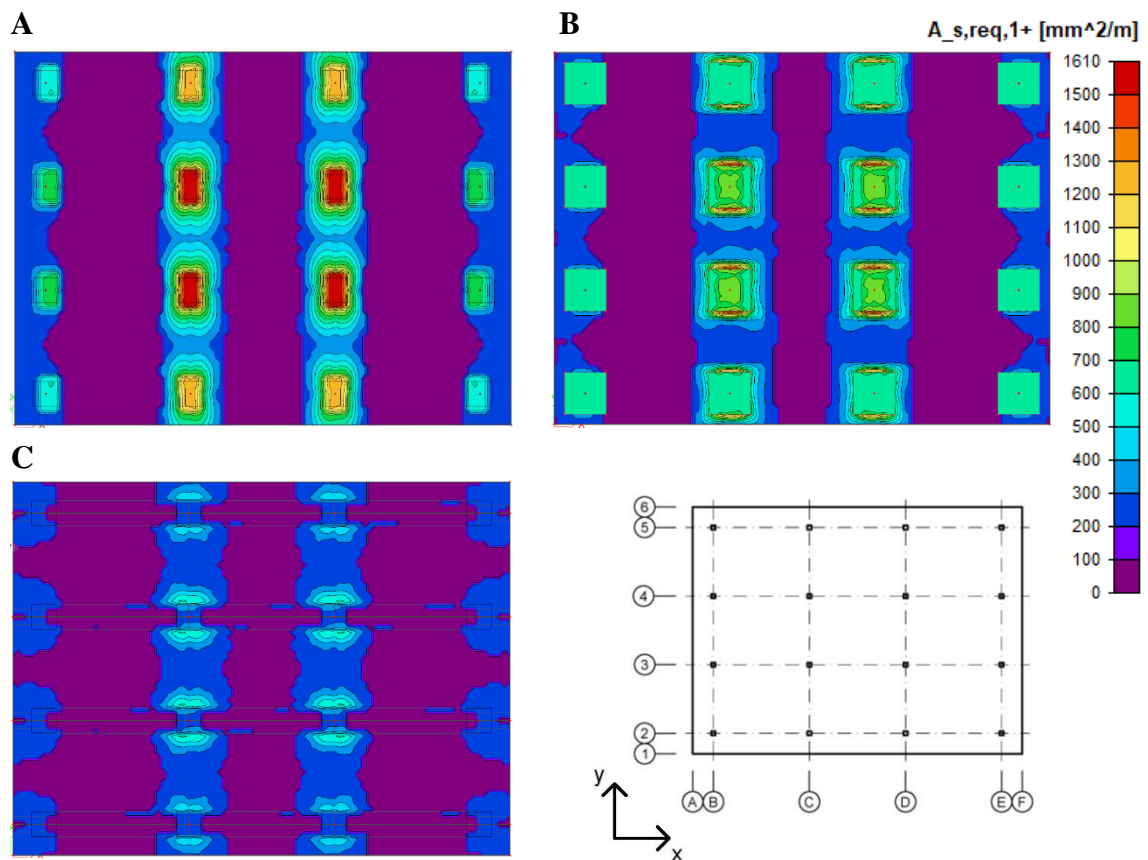
Obr. 3.7 Ohybové momenty [kNm/m'] ve směru y – vnitřní a krajní řezy

V případě vyšetřování momentů ve směru kratšího rozpětí (Obr. 3.6 a 3.7) se některé poznatky shodují, například skutečnost, že hodnoty největších horních momentů jsou opět ve středních podporách, a rovněž v poli je dosaženo větších hodnot v krajních pásech (pásky 2-3, 4-5). Z menšího rozpětí rovněž vyplývají celkově nižší hodnoty ohybových momentů oproti směru x (u variant A a B přibližně o 30 %). V případě sloupových hlavic (varianta B) lze pozorovat, že velikost momentů v polích se výrazně snížila oproti variantě A a pohybuje se pouze v rozmezí od 0 do 20 kNm/m' (polovina oproti směru x).

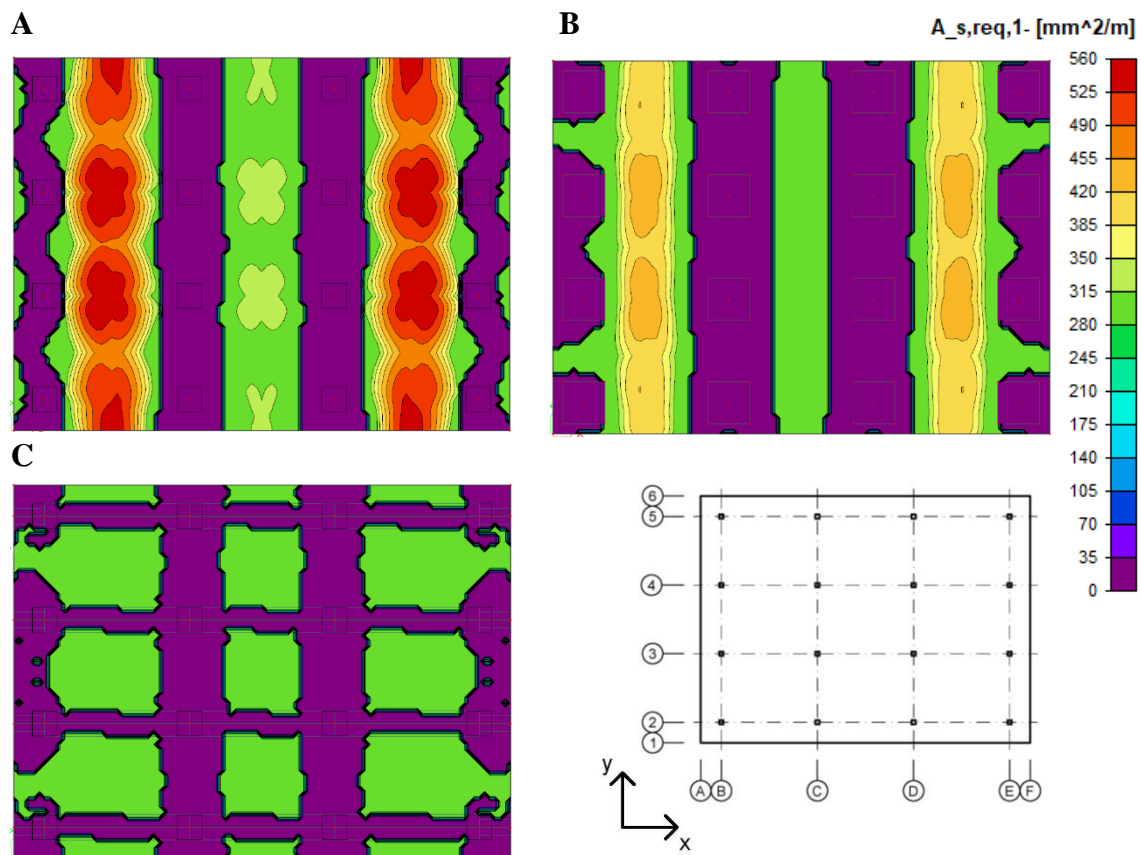
U plochých průvlaků ve variantě C jsou ohybové momenty ve směru y pouze na přibližně 20 % hodnot ve směru x (Obr. 3.5 a 3.7). Tato skutečnost opět potvrzuje spíše trémové působení stropní desky. Trémové působení varianty C rovněž způsobuje, že v případě průběhu ohybových momentů ve směru y se hodnoty vnitřního a krajního řezu příliš neliší. Podporové momenty se liší přibližně o 25 %. Hodnoty v poli jsou téměř totožné.

3.2.2 Porovnání ploch výztuže

Pro výpočet plochy výztuže je využit nástroj potřebné plochy výztuže v modulu Beton ve SCIA Engineer, který stanovuje staticky nutnou plochu výztuže pro MSÚ na základě hodnot ohybových momentů. V oblasti napojení sloupů na stropní desku jsou umístěny tzv. průměrovací body, které průměrují výsledné hodnoty z přilehlých konečných prvků, aby nevznikali nereálné hodnoty vnitřních sil v těchto místech a v důsledku toho i příliš velké potřebné plochy výztuže. V rámci studie byly pro jednotlivé varianty získány tyto hodnoty potřebné plochy výztuže:



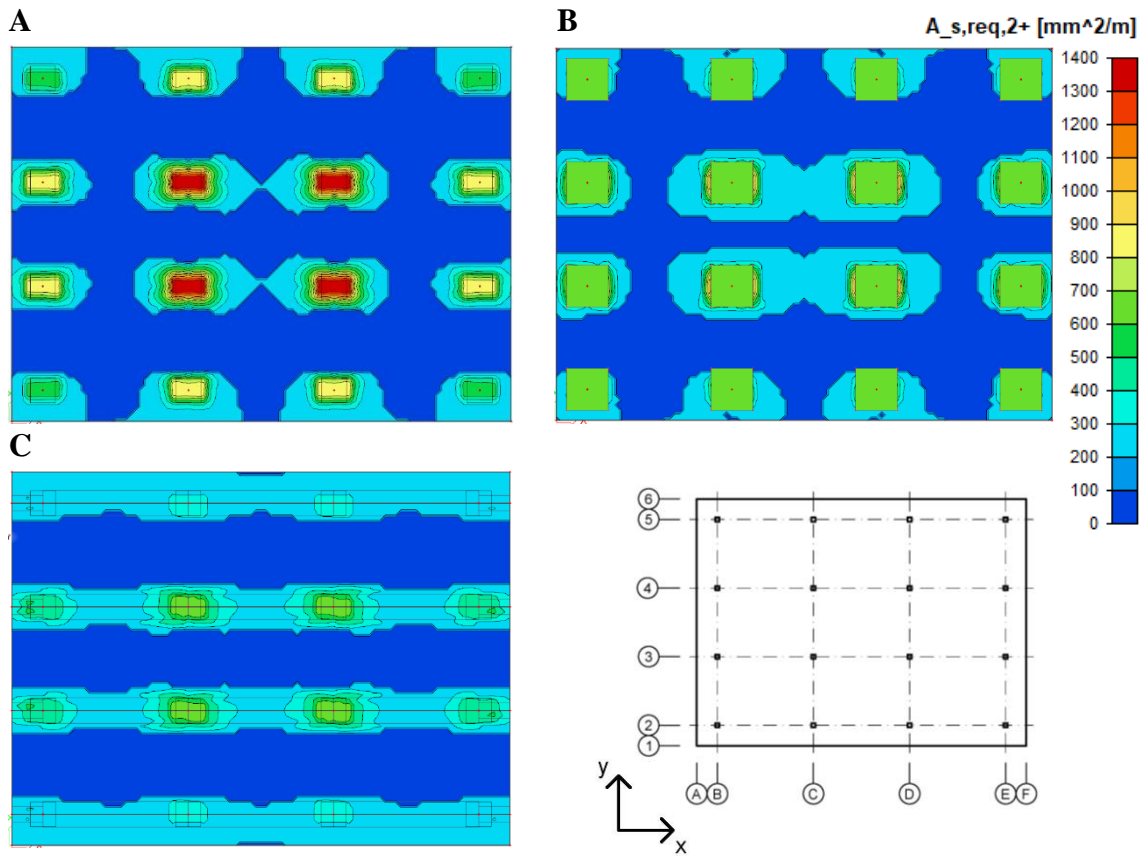
Obr. 3.8 Plochy výztuže ve směru osy x při horním povrchu ($A_{s,req,1+}$) – varianty A, B, C



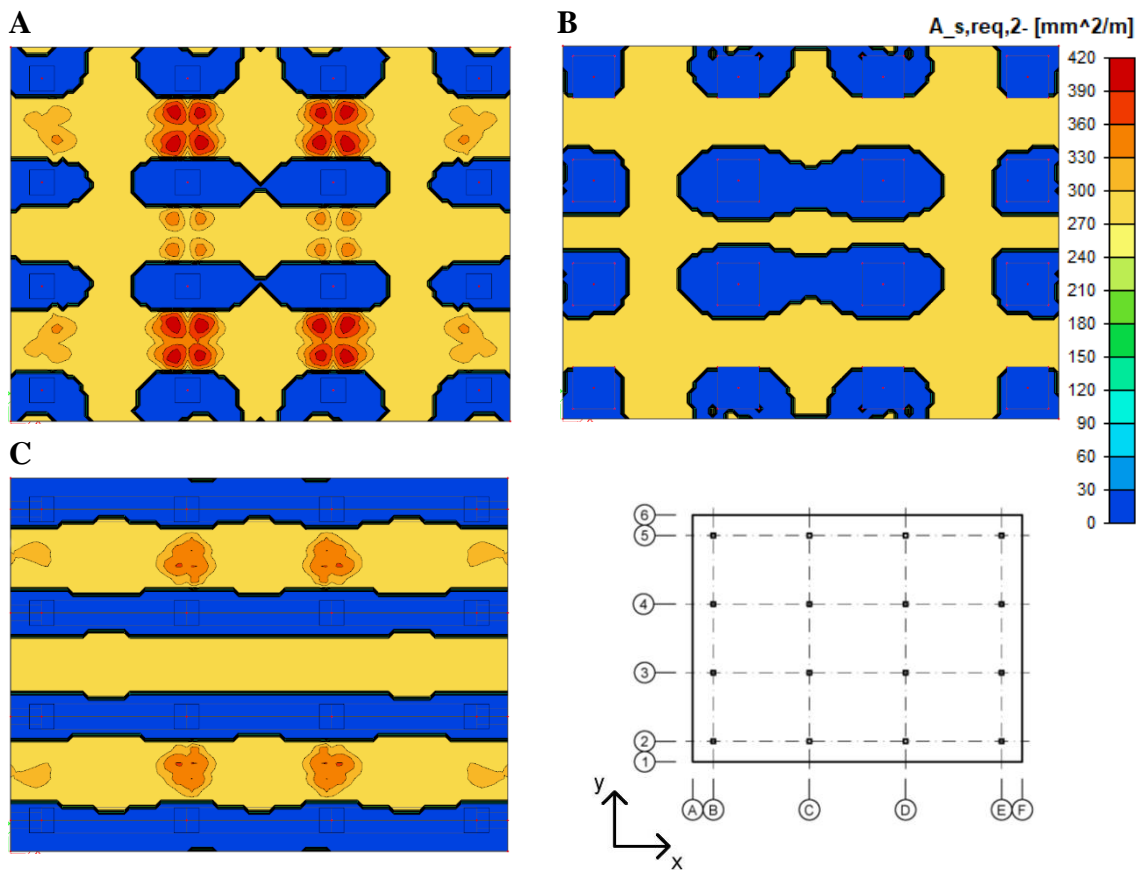
Obr. 3.9 Plochy výztuže ve směru osy x při dolním povrchu ($A_{s,req,1}$) – varianty A, B, C

Potřebné plochy výztuže svým tvarem a hodnotami ve většině míst odpovídají přímo úměrně velikosti ohybových momentů. Pouze u varianty B lze pozorovat, že v místě hlavic sloupů se naopak potřebná plocha výztuže snížila v důsledku větší účinné výšky průřezu (Obr. 3.8). V případě plochých průvlaků je v oblasti podpor vyžadováno menší množství horní výztuže, protože většina potřebné výztuže se vykresluje právě do průvlaků. Je ovšem nutné patřičně provést vyztužení i v přilehlé oblasti podpory, která již vyžaduje větší množství.

Z výstupů je patrné, že největší množství výztuže při horním i dolním povrchu vyžaduje varianta A, což je způsobené tím, že nemá žádné doplňující konstrukční prvky jako tomu je ve zbylých dvou variantách.



Obr. 3.10 Plochy výztuže ve směru osy y při horním povrchu ($A_{s,req,2+}$) – varianty A, B, C



Obr. 3.11 Plochy výztuže ve směru osy y při dolním povrchu ($A_{s,req,2-}$) – varianty A, B, C

Výsledné hodnoty ve směru kratšího rozpětí se stejně jako u ohybových momentů částečně shodují. U varianty B je vidět, že prostřední hlavice již nevyžadují větší množství výztuže, jako tomu bylo ve směru delšího rozpětí. Dále lze pozorovat, že stejně jako u výztuže ve směru x dosahuje největších potřebných ploch varianta A.

Z hlediska potřebné plochy výztuže plochého průvlaku (varianta C) jsou výstupy výpočetního softwaru nepřesné. Z tohoto důvodu jsou plochy výztuže $A_{s,req}$ pro vnitřní a krajní ploché průvlaky stanoveny ručním výpočtem (Tab. 3.2) dle následujícího vztahu:

$$A_{s,req} = \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right), \quad (3.3)$$

kde b je šířka plochého průvlaku;

d účinná výška průřezu, $d = h_d - c - \emptyset_t - \emptyset/2$;

h_d výška průvlaku,

c krytí výztuže (odhad)

\emptyset_t předpokládaný profil třmíneků

\emptyset předpokládaný profil výztuže

M_{Ed} návrhová hodnota ohybového momentu (Obr. 3.5);

f_{cd} návrhová pevnost betonu, $f_{cd} = 16,667$ MPa;

f_{yd} návrhová pevnost oceli, $f_{yd} = 435$ MPa.

Tab. 3.2 Ploché průvlaky – $A_{s,req}$

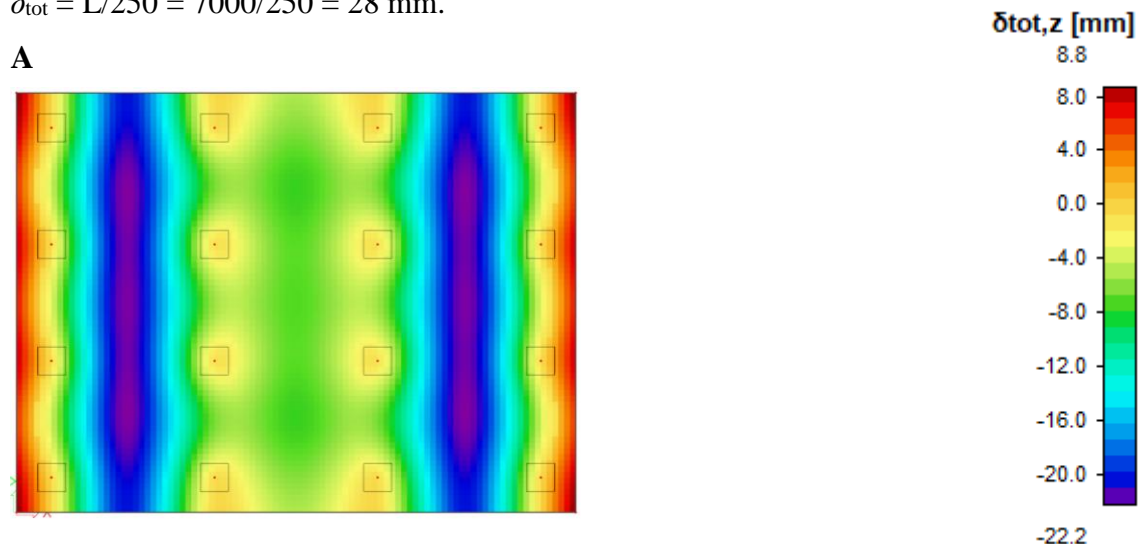
Průvlak		M_{Ed}	h_d	b	c_{nom}	\emptyset	\emptyset_t	d	$A_{s,req}$
		[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ² /m]
VNITŘNÍ	pole	164,27	500	2960	25	16	8	459	828,63
	podpora	271,04	500	1000	25	16	8	459	1404,89
KRAJNÍ	pole	141,43	500	2960	25	16	8	459	712,75
	podpora	215,22	500	1000	25	16	8	459	1107,49

Hodnoty potřebných ploch vychází z průběhu ohybových momentů, tudíž lze u nich pozorovat obdobné rozdíly jako u průběhů m_{Ed} (ve směru x a y) jednotlivých variant.

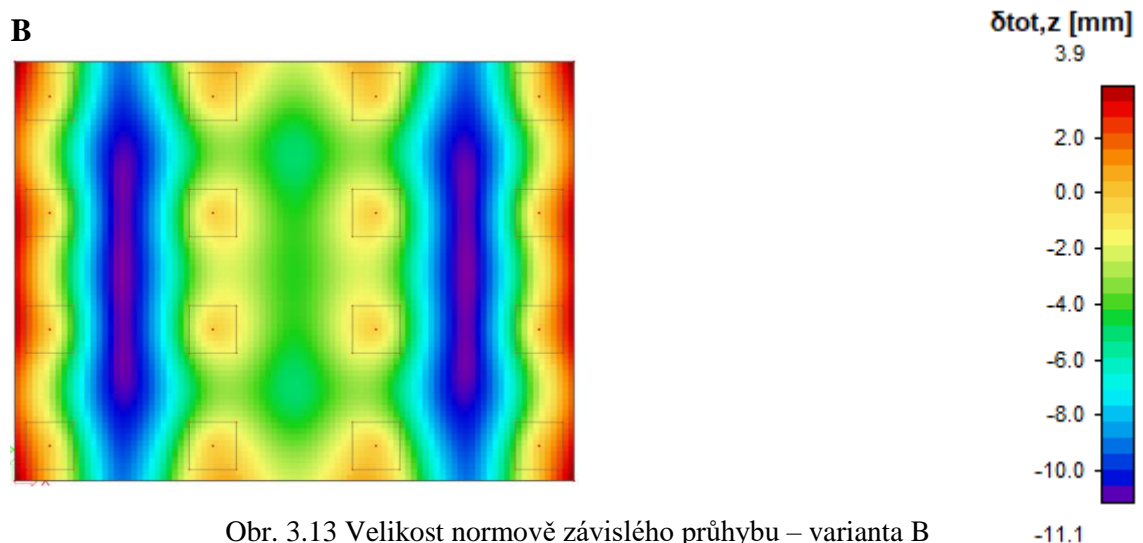
3.2.3 Porovnání průhybů

V rámci studie je rovněž vypracováno přibližné porovnání průhybů jednotlivých konstrukční variant. Pro získání hodnoty průhybů je využit nástroj *normově závislý průhyb* ve SCIA Engineer, který využívá hodnoty vypočtené staticky nutné výztuže a umožňuje spočítat průhyb bez zadání přesného vyztužení. Reálně navržené množství výztuže by bylo vyšší, než jsou hodnoty použité softwarem. Tento nástroj zohledňuje vliv dotvarování a trhlin v betonu. Nezohledňuje však průhyb vzniklý od smršťování betonu. Konečný průhyb konstrukce by tedy nabyl větších hodnot.

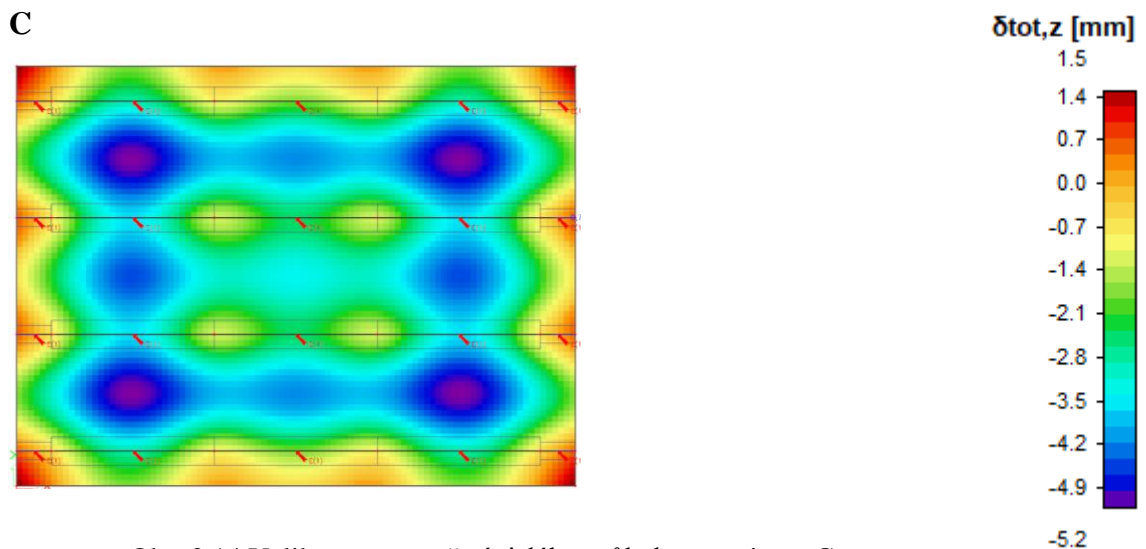
Cílem není navrhnout výztuž, aby vyhověla limitu pro danou konstrukci, ale porovnat jednotlivé varianty mezi sebou. Při výpočtu průhybu je použita kvazistálá kombinace zatížení dle [1]. V případě posouzení konstrukce je limitní hodnota $\delta_{tot} = L/250 = 7000/250 = 28 \text{ mm}$.



Obr. 3.12 Velikost normově závislého průhybu – varianta A



Obr. 3.13 Velikost normově závislého průhybu – varianta B

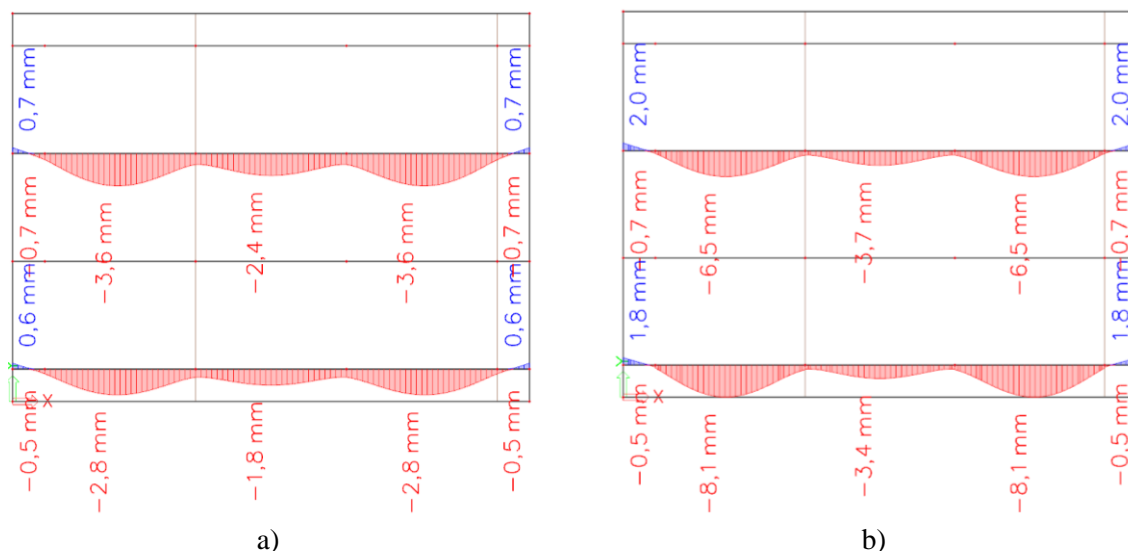


Obr. 3.14 Velikost normově závislého průhybu – varianta C

Z výsledných hodnot je patrné, že největších průhybů dosahuje varianta A (max. 22,2 mm), což vyplývá ze skutečnosti, že nemá žádné doplňující podporující prvky jako ostatní dvě varianty. Dále můžeme pozorovat u všech variant, že dochází i k průhybu v kladném směru osy z (směr nahoru) a to v překonzolovaných částech konstrukce ve směru x , především v rozích, což je důsledek krátkého vyložení konzoly vzhledem k rozpětí přilehlého pole.

U variant A i B jsou největší hodnoty průhybu v krajních polích (B-C a D-E), ovšem u plochých průvlaků je výraznější průhyb i v krajních polích prostřední části konstrukce (C-D), což je způsobené výše popsaným chováním této varianty, která se začíná přibližovat svým působením trémovému stropu.

Dále je nutné vzít v úvahu skutečnost, že použitá verze výpočetního softwaru neumožňuje u plochých průvlaků ve spolupůsobení se stropní deskou uvažovat vznik trhlin a dotvarování v betonu. Průhyb plochých průvlaků je tak vypočítán lineárně. Lze ovšem určit průhyb i se změnou vlastností betonu pro průvlak samostatně bez spolupůsobení se stropní deskou (Obr. 3.15). Na základě získaných hodnot lze přibližně určit hodnotu průhybu celé konstrukce.



Obr. 3.15 Velikost normově závislého průhybu deskového průvlaku ve variantě C:
a) lineární průhyb žebra; b) průhyb samostatného žebra se změnou vlastností

Pokud uvažujeme, že maximální lineární průhyb krajního průvlaku při kvazistálé kombinaci zatížení je 2,8 mm (Obr. 3.15a) a průhyb samostatně řešeného průvlaku je 8,1 mm (Obr. 3.15b). Rozdíl mezi těmito průhyby je tedy $8,1 - 2,8 = 5,3$ mm. Pokud tuto hodnotu připočteme k hodnotě maximálního průhybů v poli u varianty C, získáme hodnotu $\delta_{tot} = 5,3 + 5,2 = \mathbf{10,5}$ mm. Tato hodnota lze přibližně považovat za srovnatelnou se získanými hodnotami maximálních průhybů u variant A a B.

Tab. 3.3 Výsledné hodnoty průhybů

varianta	A	B	C
průhyb [mm]	22,2	11,1	10,5

Ze získaných hodnot dosahuje varianta C nejnižšího průhybu. Průhyb varianty B je téměř totožný. Vzhledem k výše popsaným nedostatům při stanovení průhybu plochých průvlaků nelze jednoznačně říct, zda by varianta C neměla částečně větší průhyb. Největšího průhybu dosahuje varianta A (dvojnásobek oproti B a C), což je zapříčiněno skutečností, že nemá žádné doplňující konstrukce jako varianty B a C.

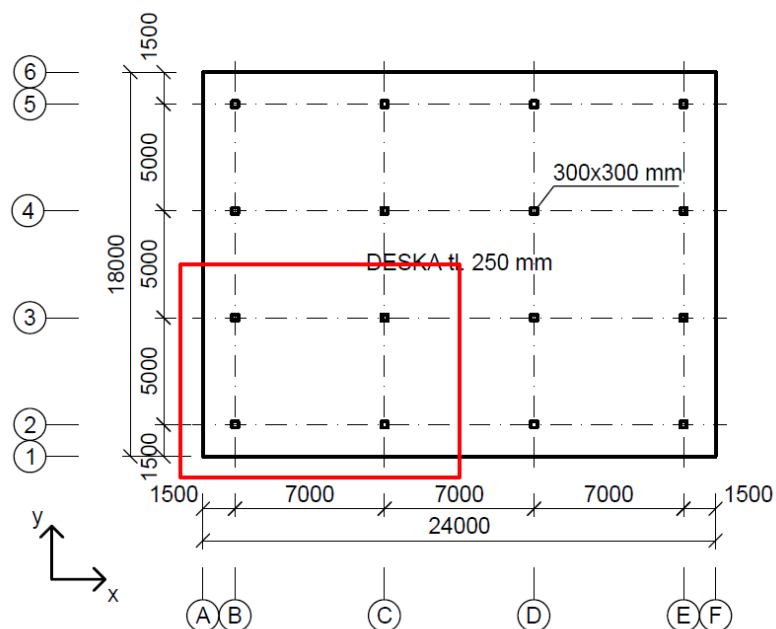
3.3 Vliv protlačení na návrh konstrukce

Pro lokálně podepřené desky je charakteristické porušení vlivem posouvajících sil, tzv. protlačení, kdy dojde k usmýknutí stropní desky v blízkosti podpory. Pro získání hodnot posouvajících sil v rámci studie je použita kombinace zatížení dle EN MSÚ [1] (vztah 3.1).

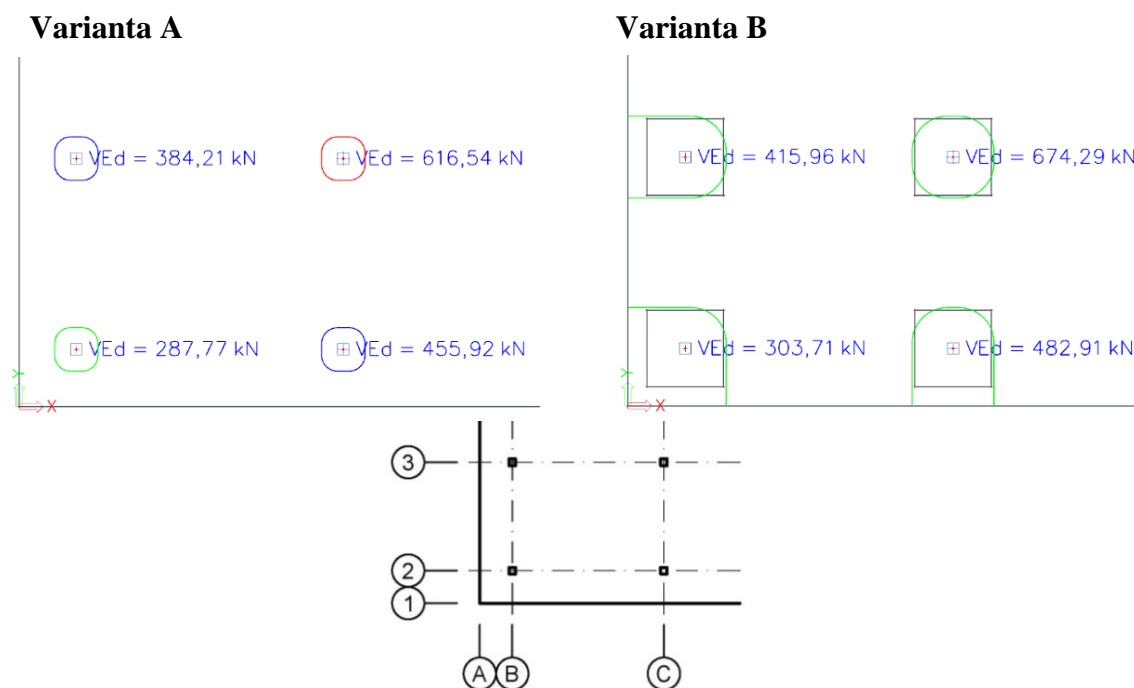
Typické protlačení může nastat pouze u variant A a B. Varianta C odpovídá spíše trémovému stropu, protože reakci do sloupů přenáší ploché průvlaky. Proto jsou první dvě varianty porovnávány z hlediska velikosti působících posouvajících sil a vznikajících smykových napětí ve dvou kontrolovaných obvodech u_0 a u_1 . Varianta C je předběžně posouzena pouze na únosnost tlačené diagonály (na účinky smyku by byla navržena smyková výztuž).

Varianty A a B:

Použitá verze softwaru vykazuje určité nedostatky při dosazení správných veličin do posouzení protlačení stropní desky. Z tohoto důvodu jsou pro účely studie z numerického výpočtu převzaty pouze návrhové hodnoty posouvajících sil (Obr. 3.17) a zbylá část posouzení je provedena ručním výpočtem (Tab. 3.5 a 3.6). Vzhledem k symetrii konstrukce jsou pro tyto varianty ověřovány sloupy B2, B3, C2 a C3 (Obr. 3.16).



Obr. 3.16 Řešené sloupy z hlediska protlačení (červené ohraničení)



Obr. 3.17 Maximální hodnoty posouvajících sil V_{Ed} v osách podpor

Na základě hodnot V_{Ed} , je provedeno zjednodušené posouzení (Tab. 3.5 a 3.6). Předběžné posouzení je provedeno v 0. kontrolovaném obvodu u_0 (tj. v líci podpory) a v 1. kontrolovaném obvodu u_1 (tj. $2d$ za lícem). V těchto obvodech musí být splněny následující podmínky [4]:

- pro napětí v 0.kontrolovaném obvodu:

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}, \quad (3.4)$$

kde v je součinitel vlivu přidavných namáhání,

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right); \quad (3.5)$$

f_{cd} návrhová pevnost betonu v tlaku, $f_{cd} = 16,667 \text{ MPa}$.

- pro napětí v 1.kontrolovaném obvodu (bez výztuže na protlačení):

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100\rho_1 \cdot f_{ck})}, \quad (3.6)$$

kde $C_{Rd,c}$ je empirický koeficient, $C_{Rd,c} = 0,12$;

k součinitel zohledňující tloušťku desky, $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{a}} \leq 2,0$;

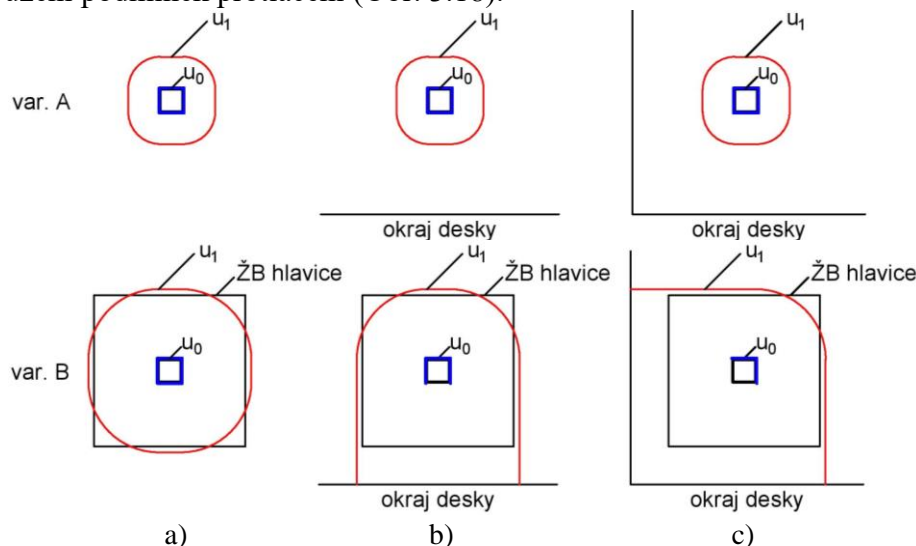
ρ_1 stupeň vyztužení ohybovou výztuží, $\rho_1 = 0,005$ (odhad);

f_{ck} charakteristická pevnost betonu v tlaku, $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

- napětí v i -tém kontrolovaném obvodu (vztah 2.4 – str. 14):

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d} \quad (3.7)$$

Ve variantě B (deska s hlavicemi) výrazně vzroste účinná výška průřezu d . V důsledku toho 1. kontrovaný obvod u krajních a rohových sloupů nesplňuje podmínku minimální vzdálenosti $6d$ líce sloupu od okraje desky. Z tohoto důvodu jsou zkráceny délky u_0 a u_1 při posouzení podmínek protlačení (Obr. 3.18).



Obr. 3.18 Hranice kontrolovaných obvodů: a) vnitřní sloup; b) krajní sloup; c) rohový sloup

Pro zvýšení přesnosti posouzení protlačení jsou hodnoty součinitele β stanoveny výpočtem pro jednotlivé sloupy dle následujících vztahů [9]:

Vnitřní sloup:

$$\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1} \quad (3.8)$$

Krajní sloup:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{red,1}} + k \cdot \frac{u_1}{W_{1,k}} \cdot e_{par} \quad (3.9)$$

Rohový sloup:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{red,1}}, \quad (3.10)$$

kde k je součinitel závislý na poměru rozměrů styčné plochy c_1 a c_2 (c_1 a c_2 jsou rozměry sloupu $\rightarrow c_1 = c_2 = 300$ mm);

M_{Ed} ohybový moment;

V_{Ed} posouvající síla pro posouzení protlačení;

$W_{1,i}$ průřezový modul základního kontrolovaného obvodu;

$u_{red,1}$ redukovaný kontrolovaný obvod u_1 (Obr. 3.19);

e_{par} výstřednost rovnoběžná s okrajem desky vyplývající z momentu k ose kolmé na okraj desky;

$$e_{par} = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \quad (3.11)$$

Pro obdélníkový sloup se průřezový modul W_1 určí ze vztahu [8]:

Vnitřní sloup:

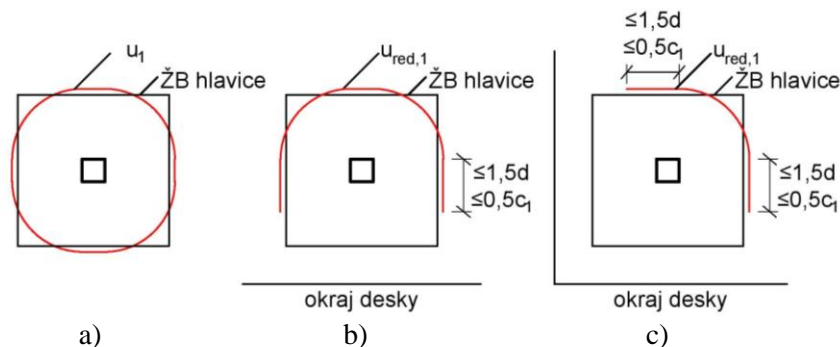
$$W_{1,v} = \frac{c_1^2}{2} + c_1c_2 + 4c_2d + 16d^2 + 2\pi dc_1 \quad (3.12)$$

Krajní sloup:

$$W_{1,k} = \frac{c_2^2}{4} + c_1c_2 + 4c_1d + 8d^2 + \pi dc_2, \quad (3.13)$$

kde c_1, c_2 jsou rozměry sloupu ($c_1 = c_2 = 300$ mm).

Ve variantě A, byly všechny sloupy pro výpočet β uvažovány jako vnitřní, protože žádný ze sloupů nemá tvar kontrovaného obvodu u_1 ovlivněný podmínkou vzdálenosti líce sloupu od okraje desky $\leq 6d$. Pro variantu B již byly sloupy řešeny dle výše uvedených vztahů v závislosti na své poloze. Pro jednotlivé sloupy byly stanoveny redukované kontrované obvody $u_{red,1}$ (Obr. 3.19). Při stanovení $u_{red,1}$ byla uvažována podmínka $1,5d$, jelikož hodnota $0,5c$ odpovídá spíše sloupu, který je umístěn přímo u okraje desky. V důsledku toho by výsledný součinitel β nabýval nepřiměřených hodnot (2,5 – 4).



Obr. 3.19 Hranice redukovaných obvodů: a) vnitřní sloup; b) krajní sloup; c) rohový sloup

Tab. 3.4 Výpočet hodnot součinitele β

V	S	Popis	V_{Ed}	M_{Ed}	d	u_1	$u_{red,1}$	e_{par}	$c_1(c_2)$	W	k	β
-	-	-	[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[-]	[-]
A	B2	rohový	287,77	48,64	213	3876,64	-	-	300	$1,52 \cdot 10^6$	0,6	1,26
	B3	krajní	384,21	66,83	213	3876,64	-	-	300	$1,52 \cdot 10^6$	0,6	1,27
	C2	krajní	455,92	104,03	213	3876,64	-	-	300	$1,52 \cdot 10^6$	0,6	1,35
	C3	vnitřní	616,54	130,00	213	3876,64	-	-	300	$1,52 \cdot 10^6$	0,6	1,32
B	B2	rohový	303,71	60,43	463	4754,56	2843,56	-	-	-	-	1,67
	B3	krajní	415,96	70,28	463	6509,12	4598,12	168,96	300	$2,82 \cdot 10^6$	0,6	1,65
	C2	krajní	482,91	69,12	463	6509,12	4598,12	143,13	300	$2,82 \cdot 10^6$	0,6	1,61
	C3	vnitřní	674,29	186,36	463	7018,23	-	-	300	$4,99 \cdot 10^6$	0,6	1,23

Tab. 3.5 Předběžné posouzení protlačení – vstupní údaje

Varianta	Sloup	Popis	V_{Ed}	h_d	d	k	β	u_0	u_1
-	-	-	[kN]	[mm]	[mm]	-	-	[mm]	[mm]
A	B2	rohový	287,77	250	213	1,969	1,26	1200	3876,64
	B3	krajní	384,21	250	213	1,969	1,27	1200	3876,64
	C2	krajní	455,92	250	213	1,969	1,35	1200	3876,64
	C3	vnitřní	616,54	250	213	1,969	1,32	1200	3876,64
B	B2	rohový	303,71	500	463	1,657	1,67	600	4754,56
	B3	krajní	415,96	500	463	1,657	1,65	900	6509,12
	C2	krajní	482,91	500	463	1,657	1,61	900	6509,12
	C3	vnitřní	674,29	500	463	1,657	1,23	1200	7018,23

Hodnoty posouvajících sil se mezi oběma variantami příliš neliší. Patrný je pouze menší nárůst v důsledku zvýšení vlastní tíhy stropní desky (varianta B). Největší rozdíly lze pozorovat v případě délky kontrolovaných obvodů. U sloupu C3 vzrostla délka u_1 přibližně o 80 %, zatímco u podpory B2 hodnoty u_0 i u_1 , v důsledku změny jejich tvaru, příliš nevzrostly.

Tab. 3.6 Předběžné posouzení protlačení – výsledky

Varianta	Sloup	Popis	$v_{Ed,0}$	$v_{Rd,max}$	Posudek	$v_{Ed,1}$	$v_{Rd,c}$	Posudek
-	-	-	[MPa]	[MPa]	-	[MPa]	[MPa]	-
A	B2	rohový	1,419	3,60	VYHOVUJE	0,439	0,548	VYHOVUJE
	B3	krajní	1,909	3,60	VYHOVUJE	0,591	0,548	NEVYHOVUJE
	C2	krajní	2,408	3,60	VYHOVUJE	0,745	0,548	NEVYHOVUJE
	C3	vnitřní	3,184	3,60	VYHOVUJE	0,986	0,548	NEVYHOVUJE
B	B2	rohový	1,826	3,60	VYHOVUJE	0,230	0,462	VYHOVUJE
	B3	krajní	1,647	3,60	VYHOVUJE	0,228	0,462	VYHOVUJE
	C2	krajní	1,866	3,60	VYHOVUJE	0,258	0,462	VYHOVUJE
	C3	vnitřní	1,493	3,60	VYHOVUJE	0,255	0,462	VYHOVUJE

Hodnota $v_{Rd,c}$ u varianty B klesá v důsledku změny hodnoty součinitele k (vztah 3.5).

Při posouzení je patrné, že všechny sloupy vyhovují v kontrolovaném u_0 s dostatečnou rezervou na únosnost tlačené diagonály (využití na 40-80 %). Naopak u obvodu u_1 můžeme pozorovat, že u varianty A již 3 ze 4 sloupů překročí únosnost desky bez výztuže na protlačení (u vnitřního sloupu až o 1,5násobek) a vyžadují návrh této výztuže. U varianty B všechny sloupy podmínku $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$ splní (využití na 40-52 %) i přes nižší maximální dovolenou hodnotu napětí. Tyto výsledné hodnoty jsou způsobené větší tloušťkou desky h_d v oblasti sloupu (hlavice či zesilující deska), díky které se výrazně

zvýší délka kontrolovaných obvodů u_1 u řešených sloupu ve variantě B. Délka u_1 je stanovena ze vztahu:

$$u_1 = 4 \cdot a + 2 \cdot \pi \cdot 2d, \quad (3.14)$$

kde a je délka hrany čtvercového sloupu, $a = 300$ mm;

d účinná výšky průřezu (Tab. 3.4).

V případě, že navrhujeme výztuž na protlačení, musí být splněna podmínka:

$$v_{Ed,1} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c},$$

kde k_{max} je součinitel maximální únosnosti, který zohledňuje použití výztuže na protlačení

$$k_{max} = 1,45 \text{ pro } h_d = 200 \text{ mm}; 1,7 \text{ pro } h_d = 700 \text{ mm} \Rightarrow k_{max} = 1,475$$

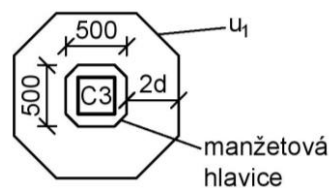
$$k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,475 \cdot 0,548 = 0,809 \text{ MPa}$$

Následně již ve variantě A splňují podmínku 1. kontrolovaného obvodu $v_{Ed,1} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c}$ i sloupy B3 a C2. Aby danou podmínku splnil i vnitřní sloup C3, musel by být doplněn skrytou ocelovou hlavicí, která by zvýšila délku obvodu u_1 . Minimální délka u_1 lze odvodit z rovnosti $v_{Ed,1} = v_{Rd,c}$:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = k_{max} \cdot v_{Rd,c} \Rightarrow u_1 = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{d \cdot k_{max} \cdot v_{Rd,c}} = \frac{1,15 \cdot 616540}{213 \cdot 0,809} =$$

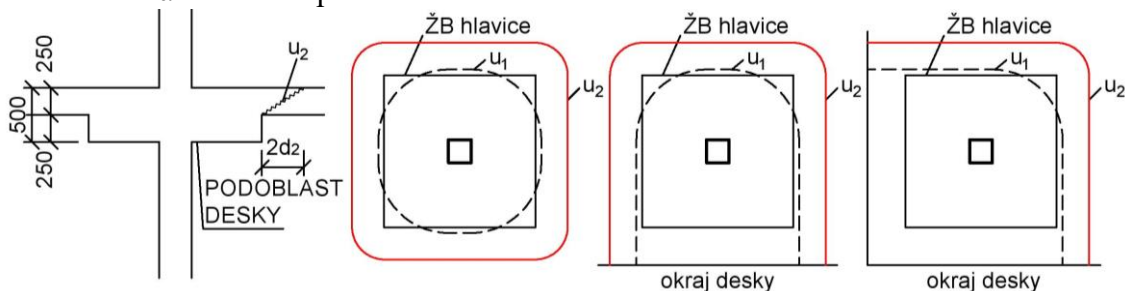
$$= \underline{\underline{4114,631 \text{ mm}}}$$

Pro splnění podmínky $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$ (sloup C3 – varianta A) lze navrhnout manžetovou hlavici (Obr. 3.20) o rozměrech 500 x 500 mm, která zvýší hodnotu u_1 na 4588,965 mm.



Obr. 3.20 Schéma vložené manžetové hlavice

Pro variantu B je důležité vzít v úvahu riziko protlačení za hranicí deskové podoblasti (Obr. 3.21). V důsledku toho je nutné ověřit kontrolovaný obvod u_2 , který je veden ve vzdálenost $2d$ za hranicí podoblasti.



Obr. 3.21 Schéma kontrolovaného obvodu u_2

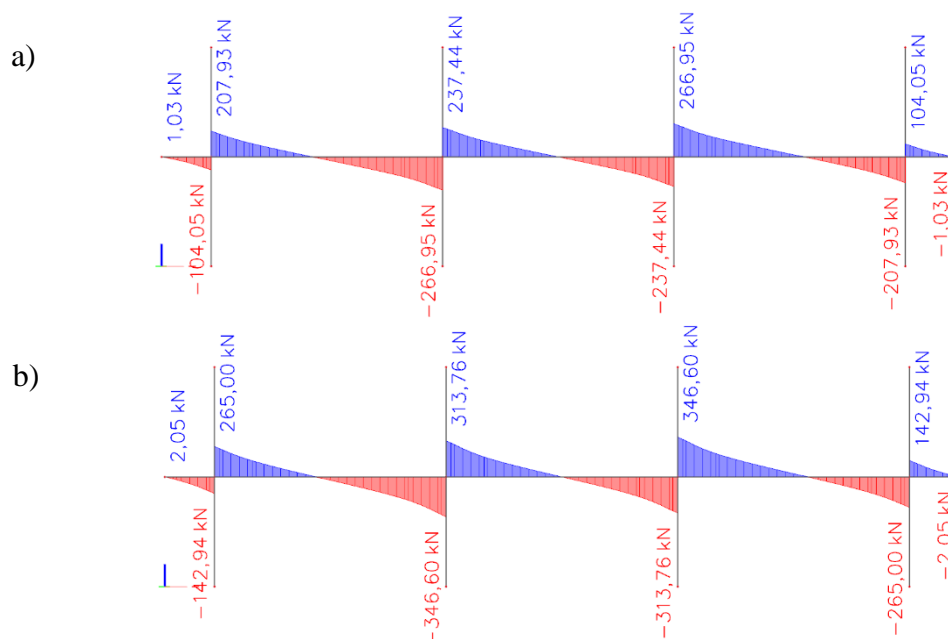
Tab. 3.7 Posouzení kontrolovaného obvodu u_2

V	S	Popis	V_{Ed}	h_d	d_2	β	u_2	$v_{Ed,2}$	$v_{Rd,c,u2}$	Posudek
-	-	-	[kN]	[mm]	[mm]	-	[mm]	[MPa]	[MPa]	-
B	B2	rohový	303,71	250	213	1,67	5669,16	0,420	0,548	VYHOVUJE
	B3	krajní	415,96	250	213	1,65	8338,32	0,386	0,548	VYHOVUJE
	C2	krajní	482,91	250	213	1,61	8338,32	0,438	0,548	VYHOVUJE
	C3	vnitřní	674,29	250	213	1,23	10676,64	0,365	0,548	VYHOVUJE

Varianta B vyhovuje i v oblasti za přechodem zesilující desky (kontrolovaný obvod u_2). Toto posouzení je důležité pro návrh rozměrů zesilující desky či hlavice. V případě nesplnění podmínky $v_{Ed,2} \leq v_{Rd,c,u2}$ by bylo nutné zvětšit její rozměry.

Varianta C:

Jak bylo popsáno výše, ploché průvlaky ve variantě C lze idealizovat jako liniové prvky, které přenášejí reakci z desky do sloupů a z tohoto důvodu jsou předběžně ověřeny pouze na únosnost tlačené diagonály, namísto posouzení na protlačení. Pro výpočet byla uvažována hodnota $z = 0,9d$ a $\cotg \theta$ zvolen 1,5. Velikost posouvající síly ($V_{Ed,max}$) byla převzata z výpočetního softwaru (Obr. 3.22).



Obr. 3.22 Hodnoty V_{Ed} na plochých průvlacích: a) krajní průvlak; b) vnitřní průvlak

Z hodnot posouvajících sil na vnitřních průvlacích lze pozorovat, že součet posouvajících sil u středních podpor (hodnot z levé a pravé strany podpory) je téměř totožný s hodnotou posouvající síly V_{Ed} u vnitřního sloupu C3 ve variantě B (viz Tab. 3.5). Menší rozdíl je způsoben odlišnými hodnotami vlastní tíhy konstrukce.

Výpočet a posouzení únosnosti tlačené diagonály:

Musí být splněna podmínka: $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cotg \theta}{1 + \cotg^2 \theta}, \quad (3.15)$$

kde b_w je šířka plochého průvlaku

z rameno vnitřních sil, $z = 0,9d$

Tab. 3.8 Posouzení tlačené diagonály

V_{Ed}	f_{ck}	f_{cd}	b_w	d	z	$\cotg \theta$	$V_{Rd,max}$
[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[kN]
346,60	25,0	16,667	1000	463	416,7	1,5	1730,91

$$\underline{V_{Ed,max} = 346,60 \text{ kN} < V_{Rd,max} = 1730,908 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

Plochý průvlak vyhovuje na únosnost tlačené diagonály.

Shrnutí:

Při porovnání výsledků je patrné, že zásadním faktorem při protlačení je tloušťka desky, ze které vychází i délka kontrolovaného obvodu u_1 . Z toho vyplývá, že viditelné hlavice nebo zesilující desky mají pozitivní dopad na posouzení protlačení. Pro zvýšení maximální únosnosti by rovněž mohl být použit beton vyšší pevnostní třídy. Při použití betonu větší pevnosti však nedojde k výraznému nárůstu maximální hodnoty smykového napětí, což je patrné ze vztahů 3.4; 3.5 a 3.6. Naopak při zvětšení kontrolovaného obvodu se napětí v daném obvodě sníží znatelněji.

Navýšení tloušťky celé stropní desky také není příliš účinné řešení, pokud to nevyžaduje konstrukce i z hlediska posouzení MSÚ na ohyb. V případě plochých průvlaků je rezerva pro tlačnou diagonálu přibližně 80 %, což je způsobeno především velkou šířkou průvlaku. Z těchto důvodů je vhodné navrhovat desky se zesilujícími deskami či hlavicemi v oblasti podpor. Rovněž je vhodné doplnit konstrukci plochými průvlakami, například po obvodě stropní desky.

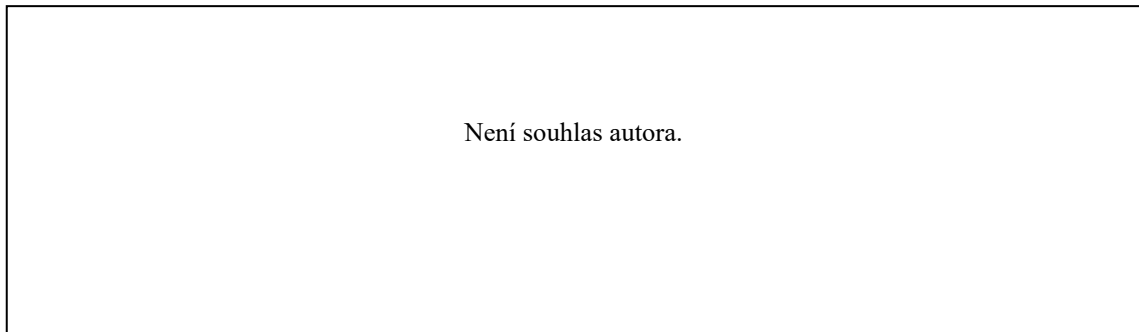
Pro zpřesnění posouzení byly podrobněji stanoveny hodnoty součinitele β , který má vliv na výslednou hodnotu smykového napětí v kontrolovaných obvodech (vztah 3.7). V případě varianty A se u většiny sloupů hodnota součinitele snížila, což má pozitivní dopad na hodnotu smykových napětí v kontrolovaných obvodech. U varianty B došlo k nárůstu hodnot součinitele β .

4 Řešení vybrané části objektu

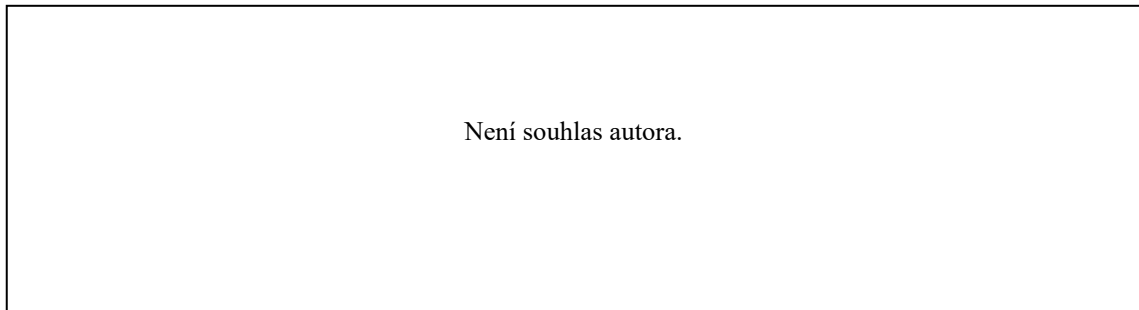
4.1 Popis objektu

Jedná se o administrativní budovu realizovanou v roce 2014, která slouží jako zázemí pro firmu Brusivo. Objekt se nachází ve městě Rokycany v ulici U Bílé haldy. K budově přiléhá z jižní strany výrobní hala firmy a severní strana je celá realizována jako prosklená fasáda. Na východní a západní straně jsou ztužující železobetonové stěny.

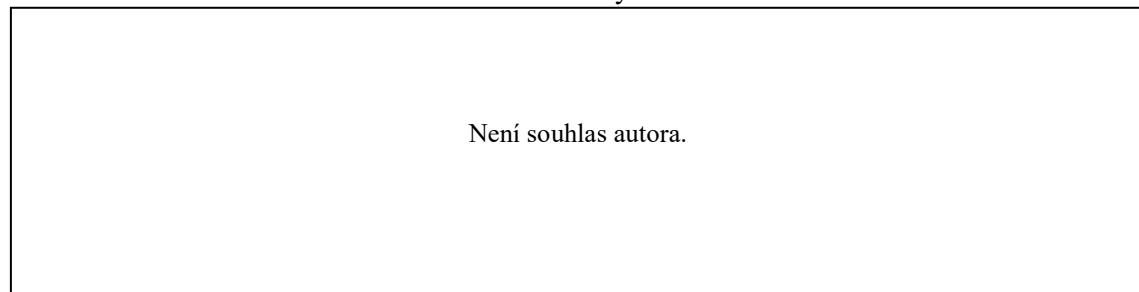
Řešený objekt má půdorys pravidelného obdélníku, o rozměrech cca 40 x 10 m, dvě nadzemní podlaží a plochou střechu. V objektu se nachází kancelářské prostory firmy, zasedací místnosti, sociální zařízení, zázemí pro zaměstnance a terasa.



Obr. 4.1 Půdorys 1.NP



Obr. 4.2 Půdorys 2.NP

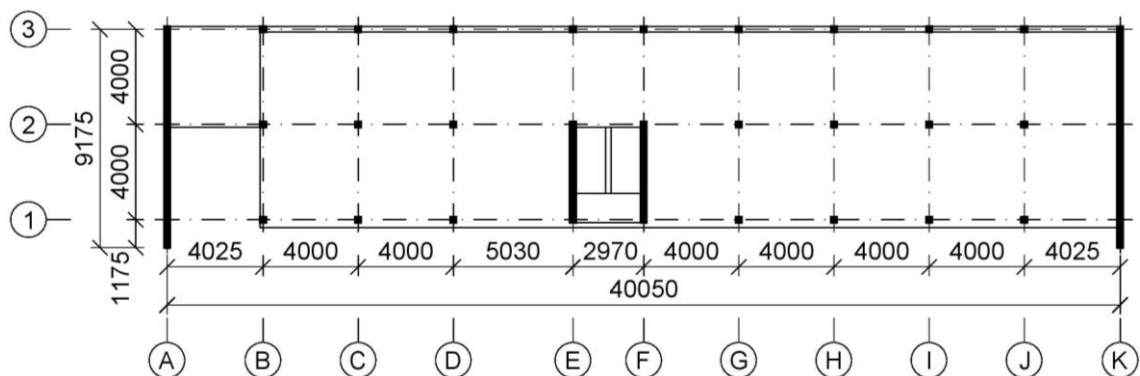


Obr. 4.3 Podélný řez objektem

4.2 Konstrukční systém

V rámci bakalářské práce byl navržen nosný konstrukční systém objektu. Tvoří ho monolitický železobetonový skelet s pravidelným rastrem 4 x 4 m pro obě podlaží doplněný železobetonovými stěnami v prostoru schodiště. Stěny slouží pro uložení mezipodesty schodiště a společně s okrajovým ztužujícím průvlakem zvyšují tuhost objektu. V místě schodiště je rozpětí sníženo na 2,97 x 4 m a pole přilehlé ke schodišti je tedy prodlouženo na 5,03 x 4 m (Obr. 4.4). Schodišťová ramena jsou prefabrikovaná, mezipodesta je monolitická. V rámci bakalářské práce není schodiště podrobněji řešeno.

Konstrukční výška podlaží je 3,2 m. Pro nosné konstrukce je použit beton C 30/37-XC1-CI 0,2-D_{max}16-S3, $E_{cm} = 32$ GPa. Vyztužení je provedeno z oceli B500B.



Obr. 4.4 Konstrukční systém objektu

4.2.1 Svislé nosné konstrukce

Rastr skeletu je tvořen železobetonovými sloupy o průřezu 250 x 250 mm. Ztužující stěny mají tloušťku 250 mm.

4.2.2 Vodorovné nosné konstrukce

Stropní desky jsou v 1.NP i 2.NP navrženy lokálně podepřené s rovným podhledem tloušťky 200 mm. Směrem k výrobní hale je deska doplněna ztužujícím průvlakem o rozměrech 250 x 450 mm.

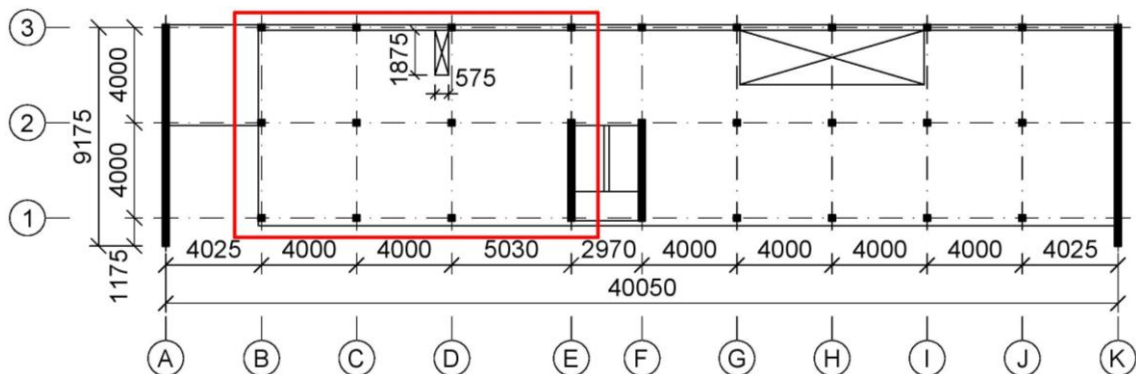
Na stropní konstrukci 2.NP (střecha) se kvůli architektonickému záměru nachází překonzolovaný okraj z pohledového železobetonu, který je s ŽB deskou 2.NP spojený pomocí průběžného ISO-nosníku tloušťky 160 mm.

4.2.3 Ztužení objektu ve vodorovném směru

Vodorovné ztužení objektu je zajištěno železobetonovými stěnami, které se nachází na západní a východní straně objektu. Uvnitř objektu jsou doplněny ztužujícími stěnami v blízkosti schodiště. Zatížení je do stěn přenášeno přímo z monolitické stropní desky.

4.3 Výpočet lokálně podepřené desky

Pro účely bakalářské práce byl vybrán výsek objektu (Obr. 4.5 – červeně vyznačeno), ve kterém bylo analyzováno namáhání lokálně podepřené stropní desky v 1.NP (konkrétně v pruzích C a D). V případě pruhu C se jedná o plnou stropní desku o 2 následných deskových polí, zatímco v pruhu D se nachází prostup v blízkosti sloupu D3. Pro dané výšky jsou vyčísleny vnitřní síly od svislého zatížení a zjištěny potřebné plochy ohybové výztuže. Výpočet je proveden třemi metodami, jejichž výsledné hodnoty jsou následně porovnány.



Obr. 4.5 Stropní deska 1.NP – červeně řešená část objektu

Výpočet je proveden třemi způsoby:

- Metoda součtových momentů MSM
- Metoda náhradních rámců MNR (SCIA Engineer) – rám 2D
- Metoda konečných prvků MKP (SCIA Engineer) – deska 2D

Cílem výpočtu je zjistit výstižnost částečně modifikovaných zjednodušených výpočetních metod pro atypické části konstrukce (oblast s prostupem) v porovnání s plnou deskou.

Řešená část stropní desky nespĺňuje některé okrajové podmínky použitých výpočetních metod. Pro metodu součtových momentů konstrukce nespĺňuje podmínku alespoň tří deskových polí v řešeném směru (příčný směr). Dále není po celé stropní desce pouze konstantní hodnota zatížení (důsledek prostupu, zatížení od pláště).

V případě metody náhradních rámu jsou výsledné hodnoty ohybových momentů redukovány vzhledem k šířce podpory (jako výpočet celkového součtového momentu u MSM), aby výpočetní model více odpovídal statickému působení reálné konstrukce. Ve výpočetním modelu náhradního rámu je modelován rovněž okrajový průvlak v kolmém směru, aby bylo možné vystihnout zvýšení ohybové tuhosti rámu v místě styku rámové příčle s podporujícím sloupem.

4.4 Vyhodnocení

- Porovnání ohybových momentů:**

Pro jednotlivé metody jsou porovnány hodnoty návrhových momentů $m_{Ed,2}$ [kNm/m']. Při porovnání jsou jako základní hodnoty (100 %) uvažovány výsledky z MKP (deska 2D).

Legenda vyznačených hodnot:

Zelená odchylka menší než 20 % hodnoty z MKP

Žlutá..... odchylka větší než 200 % hodnoty z MKP

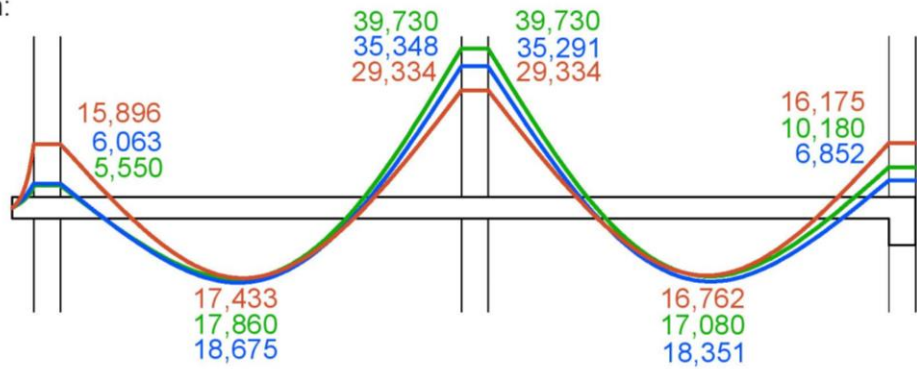
Červená opačné znaménko u hodnoty výsledku oproti MKP

Tab. 4.1 Výsledné hodnoty ohybových momentů

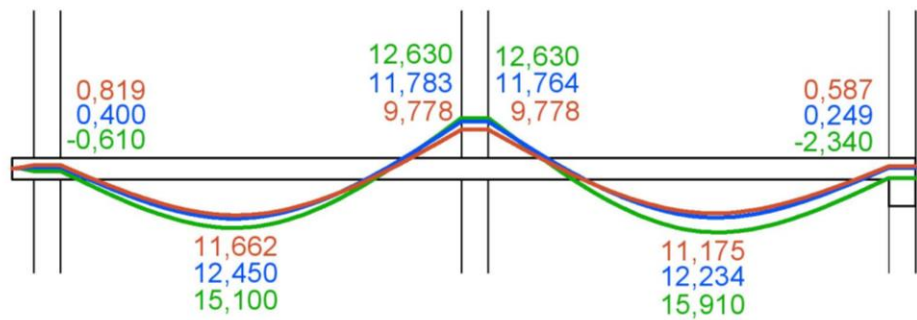
Pole	M_i	Pruh	Moment na 1 m šířky m_j [kNm] sloupový/střední pruh					
			MSM	%	MNR	%	MKP	%
C ₂₃	M ₁	sloupový	16,175	159%	6,852	67%	10,180	100%
		střední	0,587	-25%	0,249	-11%	-2,340	100%
	M ₂	sloupový	16,762	98%	18,351	107%	17,080	100%
		střední	11,175	70%	12,234	77%	15,910	100%
	M ₃	sloupový	29,334	74%	35,291	89%	39,730	100%
		střední	9,778	77%	11,764	93%	12,630	100%
C ₁₂	M ₁	sloupový	15,896	286%	6,063	109%	5,550	100%
		střední	0,819	-134%	0,400	-66%	-0,610	100%
	M ₂	sloupový	17,433	98%	18,675	105%	17,860	100%
		střední	11,622	77%	12,450	82%	15,100	100%
	M ₃	sloupový	29,334	74%	35,348	89%	39,730	100%
		střední	9,778	77%	11,783	93%	12,630	100%
D ₂₃	M ₁	sloupový	24,500	202%	8,459	70%	12,150	100%
		střední	0,444	-16%	0,153	-6%	-2,770	100%
	M ₂	sloupový	25,284	129%	26,855	137%	19,650	100%
		střední	9,551	56%	10,144	60%	17,010	100%
	M ₃	sloupový	31,526	84%	38,974	104%	37,340	100%
		střední	8,357	74%	10,331	92%	11,280	100%
D ₁₂	M ₁	sloupový	17,942	337%	6,190	116%	5,330	100%
		střední	0,819	-128%	0,399	-62%	-0,640	100%
	M ₂	sloupový	19,677	127%	21,687	140%	15,480	100%
		střední	10,432	73%	11,497	81%	14,200	100%
	M ₃	sloupový	33,111	89%	39,173	105%	37,340	100%
		střední	8,777	78%	10,384	92%	11,280	100%

Pruh C:

sloupový pruh:

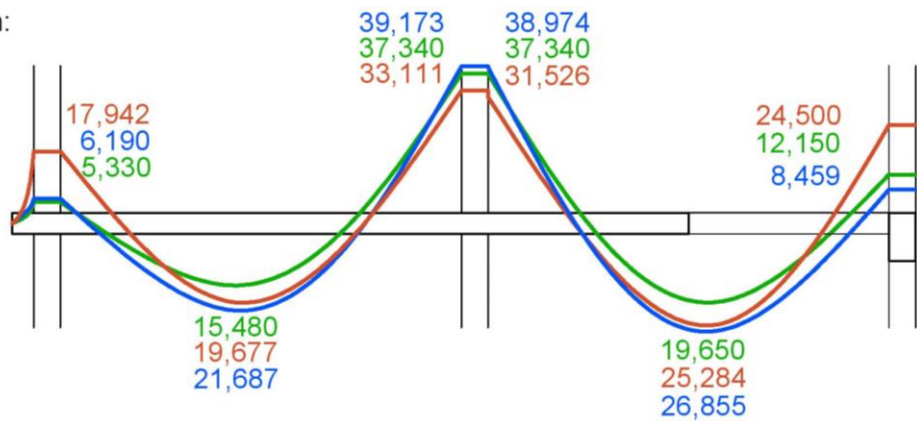


střední pruh:

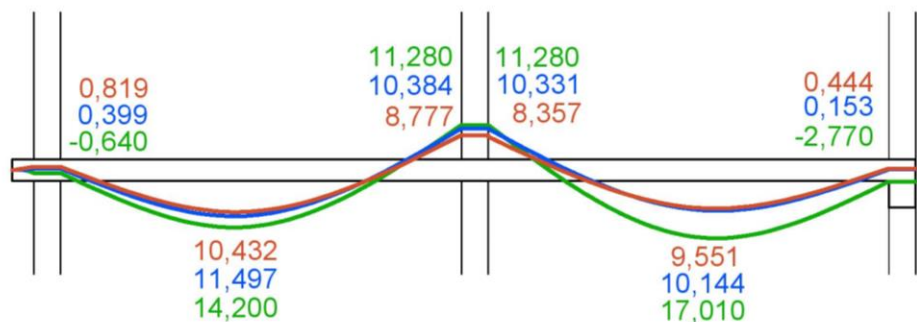


Pruh D:

sloupový pruh:



střední pruh:



Legenda:

- Metoda součtových momentů
- Metoda náhradních rámců
- Metoda konečných prvků - 2D

Obr. 4.6 Hodnoty ohybových momentů výpočetních metod [kNm/m']:

- **Shrnutí:**

Při porovnání jsou jako základní hodnoty (100 %) uvažovány výsledky z MKP (deska 2D). Z tabulky výsledných hodnot ohybových momentů (Tab. 4.1) je patrné, že více se MKP přibližují hodnoty získané pomocí MNR. Konkrétně při uvažování dovolené odchylky do 20 % jde o 14 výsledných hodnot z 24, zatímco u MSM se jedná pouze 4 hodnoty. V případě MNR se odlišují hodnoty od MKP především v části s prostupem (D_{23}). U MSM není výraznější rozdíl mezi pruhem C a D ve srovnání s MKP.

V tabulce se rovněž vyskytují červené hodnoty, které značí výsledky s opačným znaménkem oproti MKP. Ve všech případech se jedná o okraje desky ve středních pruzích. Vzhledem ke skutečnosti, že všechny tyto hodnoty se blíží k nule, lze jejich opačnou hodnotu zanedbat, protože při reálném návrhu vyztužení by se vyztuž vyskytovala u obou povrchů desky.

V případě sloupové pruhu C (bez prostupu) je patrné, že více odlišné jsou hodnoty ve střední podpoře (rozdíl do $6 \text{ kNm/m}'$), zatímco v poli jsou téměř totožné (rozdíl do $1 \text{ kNm/m}'$). Pro sloupový pruh D (s prostupem) lze již pozorovat více rozdílné hodnoty v poli v důsledku přítomnosti prostupu. Obecně lze pozorovat, že výraznější rozdíly hodnot jsou především ve sloupových pruzích, zatímco ve středních pruzích jsou průběhy ohybových momentů téměř totožné. Tato skutečnost je způsobena statickým působením lokálně podepřených desek, kdy je větší část ohybového momentu přenášena sloupovými pruhy, a tudíž zde vznikají i větší odchylky mezi jednotlivými metodami.

Z grafického průběhu výsledků (Obr. 4.6) lze dobře pozorovat, že MSM ve sloupovém pruhu přeceňuje statické působení krátkého překonzolování desky. Tato metoda rovněž nadhodnocuje statické působení ztužujícího průvlaku u pruhu D (s prostupem).

5 Závěr

V rámci první části práce (kapitola 2) byly shrnuty základní vlastnosti lokálně podepřených desek. V kapitole byly popsány základní druhy konstrukčních variant, jejich statické působení z hlediska ohybu a smyku. Dále byly představeny jednotlivé výpočetní metody, které se při řešení lokálně podepřených desek využívají, a které byly použity v rámci kapitoly 4.

V druhé části (kapitola 3) byla provedena studie, která porovnává chování různých konstrukčních uspořádání lokálně podepřených desek. Bylo potvrzeno, že pro návrh lokálně podepřené desky bez hlavic (varianta A) je rozhodujícím faktorem protlačení stropní desky. Velikost smykového namáhání v blízkosti podpor lze výrazně snížit pomocí zesilujících desek nebo viditelných hlavic, což je prokázáno při posouzení protlačení u varianty B. V případě konstrukce s plochými průvlaky není potřeba protlačení řešit, protože svým statickým působením se tato varianta vzdaluje od lokálně podepřených desek a spíše se přibližuje trémovému stropu. Dále bylo zjištěno, že geometrie lokálně podepřené desky značně ovlivňuje hodnoty ohybových momentů. Varianta C, deska s plochými průvlaky dosahuje největších hodnot ohybových momentů, což je způsobeno přechodem statického působení mezi lokálně podepřenou deskou a trémovým stropem, kdy plochý průvlak přebírá zatížení z přilehlých polí. Dále byla zjištěna skutečnost, že u desek s viditelnými hlavicemi či zesilujícími deskami vzrůstají hodnoty podporových momentů, které jsou způsobeny větší tuhostí dané oblasti. Od hodnot ohybových momentů se dále odvíjí i potřeba výztuže. Ze studie vyplývá, že při navrhování lokálně podepřených desek je vhodné tloušťku desky určovat z návrhu na MSÚ a v oblasti podpor doplnit sloupy zesilujícími prvky (desky či hlavice). Takto lze dosáhnout vyšší efektivity konstrukce.

Ve třetí části práce (kapitola 4) byl zpracován předběžný konstrukční návrh reálného objektu a pomocí 3 výpočetních metod (metoda součtových momentů, metoda náhradních rámců, metoda konečných prvků) byly analyzovány průběhy ohybových momentů na jednotlivých částech železobetonové lokálně podepřené stropní desky. Výpočtem byla zjišťována výstižnost metod pro danou část stropní konstrukce i přes skutečnost, že nebyly splněny některé okrajové podmínky pro jejich použití. Rovněž bylo ověřováno, jakým způsobem se na výsledných hodnotách projeví přítomnost prostupu ve stropní desce. Pro účely bakalářské práce byly metody součtových momentů a náhradních

rámů částečně modifikovány. Výsledné hodnoty byly vzájemně porovnány, kdy metoda konečných prvků na 2D modelu stropní desky byla stanovena jako určující hodnota pro posouzení správnosti výsledku. Ze získaných hodnot lze, s ohledem na redistribuce ohybových momentů po šířce sloupových a středních pruhů, konstatovat, že všechny tři metody jsou použitelné pro návrh lokálně podepřené desky dané konstrukce. Z hlediska návrhu konkrétní ohybové výztuže v řešené části je ve většině konstrukce navržena výztuž podle konstrukčních zásad minimální plochy a maximální rozteče jednotlivých prutů. Tato skutečnost je způsobena velikou tloušťkou stropní desky, která vyplývá z jejího návrhu na protlačení. Jako případná alternativa dané stropní desky je navrhnout její menší tloušťku a sloupy doplnit zesilujícími deskami tak, aby konstrukce splnila podmínky protlačení.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí, ČSNI 03/2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSNI 03/2004
- [3] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČSNI 7/2007
- [4] ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, ÚNMZ, Praha 2010
- [5] Bažant Z.: Betonové konstrukce I – Modul CS 4: Betonové konstrukce plošné – Část 2, vydavatelství VUT, Brno 2004
- [6] Bilčík J., Fillo L., Benko V., Halvonik J.: Betonové konstrukcie – Navrhovanie podľa STN EN 1992-1-1, Vydavateľstvo STU, Bratislava 2008
- [7] Hájek P. a kolektiv: Konstrukce pozemních staveb 10 – Nosné konstrukce I, vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [8] Kohoutková A., Procházka J., Vašková J.: Navrhování železobetonových konstrukcí – Příklady a postupy, vydavatelství ČVUT, Praha 2014
- [9] Procházka J., Šmejkal J.: Betonové stropní a schodišťové konstrukce, vydavatelství ČVUT, Praha 2017
- [10] Tipka M., Novák J.: Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek – projekt FRVŠ 905/2011/G1 [elektronický dokument], ČVUT, Praha 2011, dostupné z:
http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2011/analyza_lok_pod_desek.pdf
- [11] Vašková J.: Betonové a zděné konstrukce 1, 8. přednáška [elektronická přednáška], Fakulta stavební ČVUT v Praze, dostupné z:
http://people.fsv.cvut.cz/www/vaskova/BK01_2017desky3.pdf
- [12] Zich M., Bažant Z.: Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky, Akademické nakladatelství CERM, Brno 2010

PŘÍLOHA 1

STATICKÝ VÝPOČET

Administrativní budova firmy Brusivo

Rokycany

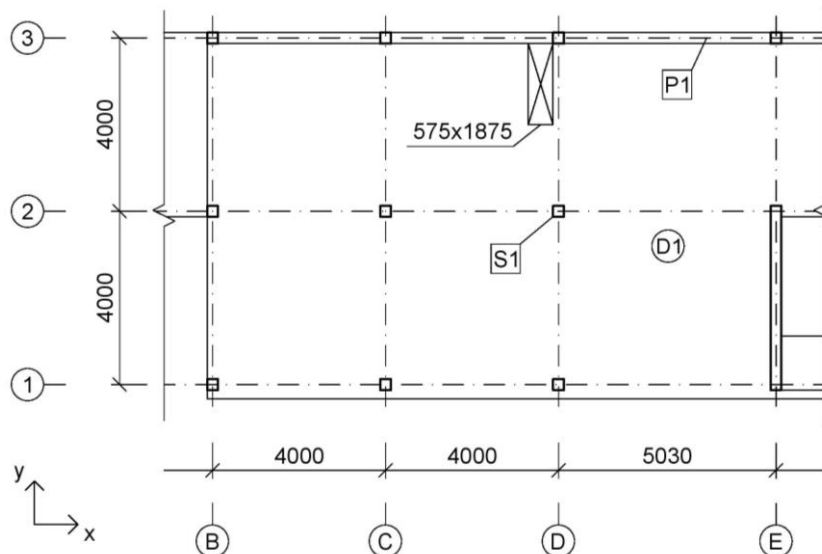
ulice U Bílé haldy

Vypracoval: **Tomáš Hynek**

Datum: květen 2018

Předběžný statický výpočet

- **Konstrukční schéma řešené části objektu:**



Použité materiály

- **beton:** C 30/37 – XC1 – Cl 0,2 – D_{max}16 – S3, E_{cm} = 32 GPa

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

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

- **ocel:** B500B

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

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \approx 435 \text{ MPa}$$

Přehled zatížení

Stálé zatížení

- **Podlahy**

název vrstvy	tl. [mm]	obj. tíha [kN/m ³]	g _k [kN/m ²]
lepené marmoleum	2,5	-	0,030
samonivelační stěrka – weber	1,5	-	0,050
roznášecí vrstva – beton (vč. podlahového vytápění)	100	24	2,400
separace – PE folie	1	-	-
kročejová izolace – Isover	50	1,4	0,070
Celkem			g_{pod,k} = 2,550

Podlahy v okolních místnostech se liší pouze nášlapnými vrstvami, proto je uvažována jednotná hodnota zatížení od podlah $g_{pod,k} = 2,550 \text{ kN/m}^2$.

- **Střešní plášť**

název vrstvy	tl. [mm]	obj. tíha [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]
hydroizolace – Elastek	4,5	-	0,055
hydroizolace – Glastek	4	-	0,045
tepelná izolace – Isover	360	0,28	0,101
parozábrana – Glastek	4	-	0,043
Celkem		$g_{stř,k} =$	0,244

- **Příčky**

dělicí příčka administrativní budova-hala

název vrstvy	tl. [mm]	výška [m]	obj. tíha [kN/m ³]	g_k [kN/m]
Ytong P4-500	250	3	6,0	4,500
Celkem			$g_{př1,k} =$	4,500

příčky – administrativní budova

název vrstvy	výška [m]	plošná hm. [kN/m ²]	g_k [kN/m]
příčka Rigips SDK tl. 150 mm	3	0,5	1,560
Celkem			$g_{př2,k} =$ 1,560

Pro přemístitelné příčky o vlastní tíze ≤ 2 kN/m lze uvažovat náhradní spojitě zatížení: $q_{př2,k} = 0,8$ kN/m² (přidané k užitému zatížení).

- **Lehký obvodový plášť**

Pro LOP je zavedeno náhradní liniové zatížení na okraji stropní desky $g_{lop,k}$. Zatížení je uvažováno jako plošná tíha fasádního trojskla ρ [kN/m²] na konstrukční výšku podlaží h [m]. Hmotnost trojskla je uvažována 30 kg/m².

$$g_{lop,k} = \rho \cdot h = 0,30 \cdot 3,2 = \underline{0,96 \text{ kN/m}}$$

Proměnné zatížení

- **Užitné zatížení**

1.NP a 2.NP:

kategorie B – kancelářské plochy

$$q_{patro,k} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

střecha:

kategorie H – nepřístupná střecha

$$q_{stř,k} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

- **Zatížení sněhem – s**

tvárový součinitel $\mu = 0,8$ (plochá střecha – $\alpha < 30^\circ$)

součinitel expozice $C_e = 1,0$ (normální typ krajiny)

součinitel tepla $C_t = 1,0$ (střechy s tepelnou prostupností $< 1 \text{ W/m}^2\text{K}$)

umístění objektu: Rokycany – sněhová oblast II

$$\Rightarrow s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{char. hodnota zatížení sněhem na zemi})$$

charakteristická hodnota zatížení sněhem – s:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{0,8 \text{ kN/m}^2}$$

Při výpočtu proměnného zatížení na střeše je uvažována maximální hodnota z užitého zatížení a zatížení sněhem:

užitné: $q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

sníh: $s = 0,8 \text{ kN/m}^2$

\Rightarrow Proměnné zatížení střechy: $q_{stř.k} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

- **Zatížení větrem**

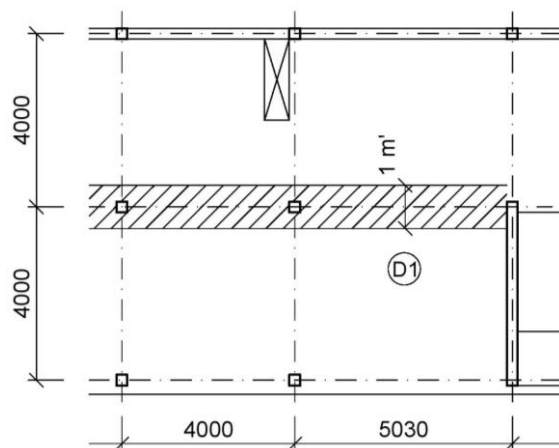
Zatížení větrem není při řešení dané problematiky uvažováno.

Předběžný návrh a posouzení nosných prvků

Vodorovné nosné konstrukce:

- **Stropní deska**

Schéma desky D1:



Empirický návrh tloušťky desky:

$$h_d \geq \frac{1}{33} \cdot L_{\max} = \frac{1}{33} \cdot 5030 = 152,4 \text{ mm}$$

Návrh stropní desky z ohybové štíhlosti:

$$\lambda = \frac{l}{d} \leq \lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} \Rightarrow d \geq \frac{l}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1,0 \quad \text{pro desku (obdélníkový průřez)}$$

$$\kappa_{c2} = 1,0 \quad \text{rozpětí } l \leq 7 \text{ m (pro } l \geq 7 \text{ m } \kappa_{c2} = 7/l)$$

$$\kappa_{c3} = 1,25 \quad \text{součinitel napětí tahové výztuže (1,2-1,3)}$$

$$\lambda_{d,tab} = 24,6 \quad \text{stupeň vyztužení } \rho = 0,5 \%$$

$$\text{předpokládané krytí: } c = 20 \text{ mm}$$

$$\text{předpokládaný profil výztuže: } \varnothing 12 \text{ mm}$$

$$h_d = d + \varnothing/2 + c \text{ [mm]}$$

deska	L [m]	$\lambda_{d,tab}$	λ_d	d [mm]	h_d [mm]
D1	5,03	24,6	30,75	163,6	189,6

Návrh: stropní deska 1.NP $h_d = 200$ mm

(výška zvolena z důvodu možnosti umístění výztuže proti protlačení – požadavek min. 200 mm)

Ověření únosnosti D1:

Zatížení stropní desky:

zatížení	f_k [kN/m ²]	γ_F	f_d [kN/m ²]
ŽB deska tl. 200 mm g_0	5,000	1,35	6,750
podlaha g_{pod}	2,550	1,35	3,443
příčky SDK $q_{př2}$	0,800	1,50	1,200
užitné zatížení q_{patro}	3,000	1,50	4,500
Celkem		$(g+q)_d =$	15,893

Celkový součtový moment M_{tot} :

$$M_{tot} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_d \cdot L_y \cdot L_{n,x}^2 = \frac{1}{8} \cdot 15,893 \cdot 4,0 \cdot (5,03 - 0,25)^2 =$$
$$= 181,565 \text{ kNm}$$

Šířka sloupového pruhu:

$$b_{sloup,pruh} = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \text{"kratší rozpětí"} = 2 \cdot 0,25 \cdot 4000 = 2000 \text{ mm}$$

Maximální návrhový moment m_{Ed} :

Maximální moment je stanoven pro vnitřní podporu sloupového pruhu. Okraj desky je z poloviny své šířky vetknutý do stěny a druhá polovina je spojitá (oboustranně vetknutý nosník).

$\Rightarrow \gamma = 0,65$ součinitel pro součtový moment v podpoře

$\omega = 0,75$ součinitel rozdělení součt. momentu do sloupového pruhu

$$m_{Ed} = \frac{M_{tot} \cdot \gamma \cdot \omega}{b_{sloup,pruh}} = \frac{181,565 \cdot 0,65 \cdot 0,75}{2,0} = 44,256 \text{ kNm/m'}$$

Ověření poměrné výšky tlačené oblasti ξ a stupně vyztužení ohybovou výztuží ρ :

poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow \xi \text{ (z tabulek)}$$

potřebná plocha výztuže:

$$a_{s,req} = \frac{0,8 \cdot b \cdot d \cdot \xi \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

orientační stupeň vyztužení:

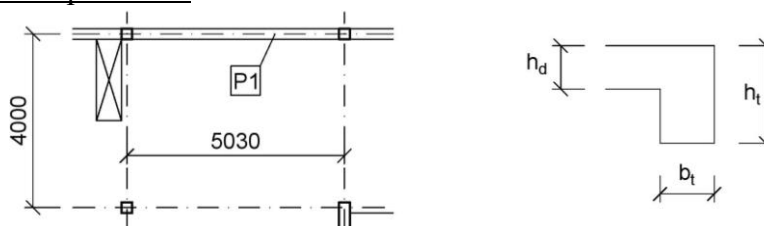
$$\rho = \frac{a_{s,req}}{b \cdot d}$$

deska	h_d [mm]	d [mm]	m_{Ed} [kNm/m']	μ [-]	ξ [-]	$a_{s,req}$ [mm ² /m']	ρ [%]
D1	200	174	44,256	0,073	0,095	608	0,35

Deska D1 předběžně vyhovuje na únosnost v ohybu.

- Ztužující průvlak P1**

Schéma průvlaku:



Empirický návrh:

$$h_t = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15} \right) \cdot L = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15} \right) \cdot 5030 = 252 \div 335, \bar{3} \text{ mm}$$

$$b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \right) \cdot h_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \right) \cdot 450 = 150 \div 300 \text{ mm}$$

Návrh: průvlak P1 $h_t = 450$ mm

$b_t = 250$ mm

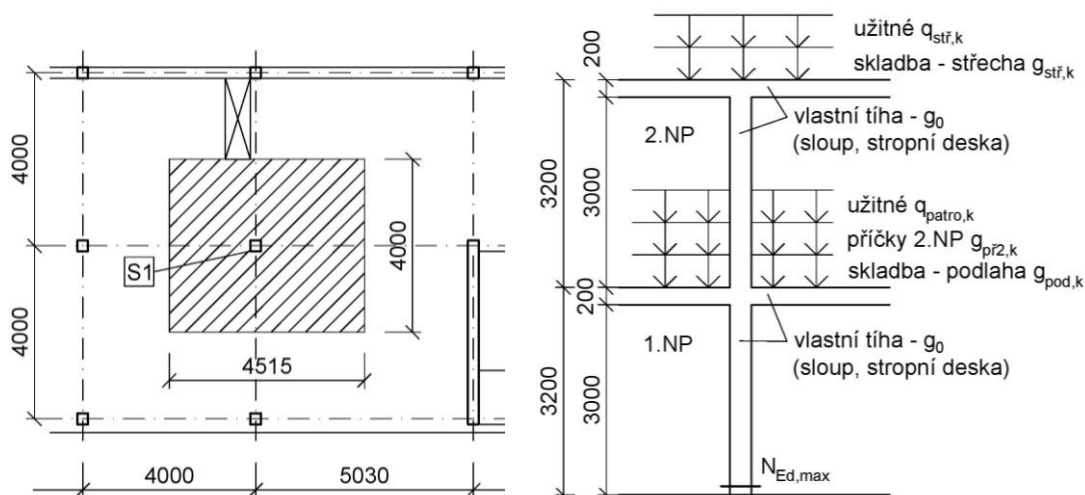
Rozměry průvlaku jsou zvoleny s ohledem návaznosti na sloup a modul zděné příčky mezi administrativní budovou a výrobní halou.

Svislé nosné konstrukce

- **ŽB sloup**

Všechny ŽB sloupy v objektu jsou navrženy jednotného průřezu. Ověření únosnosti je provedeno v patě sloupu S1 v 1.NP s největší zatěžovací plochou (viz schéma).

Schéma zatížení sloupu:



Světlá výška sloupu:

$$h_{sv} = h - h_d = 3,2 - 0,2 = 3,0 \text{ m}$$

Zatěžovací plocha:

$$A = 4 \cdot \left(\frac{4}{2} + \frac{5,03}{2} \right) = 18,06 \text{ m}^2$$

Návrh sloupu rozměrů sloupu: 250 x 250 mm

Výpočet zatížení v patě sloupu S1:

zatížení	počet	výpočet	f_k [kN]	γ_F	f_d [kN]
ŽB deska - 1.NP a 2.NP	2	$2 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 18,06$	180,600	1,35	243,810
skladba - střecha	1	$1 \cdot 0,244 \cdot 18,06$	4,407	1,35	5,949
skladba - podlaha 2.NP	1	$1 \cdot 2,55 \cdot 18,06$	46,053	1,35	62,172
ŽB sloup	2	$2 \cdot 25 \cdot 0,25 \cdot 0,25 \cdot 3,0$	9,375	1,35	12,656
Σ stálé					324,587
příčky 2.NP - náhradní $q_{př2}$	1	$1 \cdot 0,8 \cdot 18,06$	14,448	1,5	21,672
užitné - 2.NP	1	$1 \cdot 3,0 \cdot 18,06$	54,180	1,50	81,270
proměnné - střecha (užitné)	1	$1 \cdot 1,0 \cdot 18,06$	18,060	1,50	27,090
Σ užitné					130,032
Celkem			$N_{Ed,max} =$		454,619

Návrhové zatížení v patě sloupu: $N_{Ed,max} = 454,619 \text{ kN}$

Normálová únosnost sloupu:

Únosnost je stanovena z přibližného vztahu pro dostředný tlak:

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + \rho \cdot A_c \cdot \sigma_s$$

$$\text{plocha průřezu: } A_c = 250 \cdot 250 = 62500 \text{ mm}^2$$

$$\text{napětí ve výztuži: } \sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{stupeň vyztužení: } \rho = 2 \%$$

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot 62500 \cdot 20 + 0,02 \cdot 62500 \cdot 400 = 1500 \text{ kN}$$

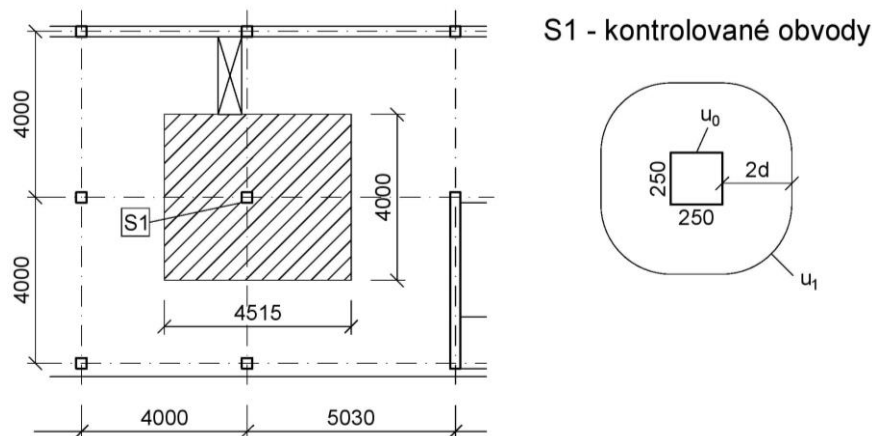
$$N_{Ed,max} = 454,619 \text{ kN} < N_{Rd} = 1500 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

⇒ Rozměry sloupu jsou navrženy s dostatečnou rezervou na vliv ohybového momentu a štíhlosti.

- **Protlačení stropní desky**

Z hlediska protlačení je předběžně posouzena deska v místě sloupu S1 (stejný jako pro návrh rozměrů)

Schéma zatížení:



Vstupní parametry:

tloušťka desky: $h_d = 200 \text{ mm}$

zatěžovací plocha: $A = 18,06 \text{ m}^2$ (viz **Návrh sloupu**)

odhad účinné výšky průřezu d :

profil výztuže ve směru x: $\varnothing_x 12 \text{ mm}$ (předpoklad)

profil výztuže ve směru y: $\varnothing_y 12 \text{ mm}$ (předpoklad)

krytí: $c = 20 \text{ mm}$ (předpoklad)

účinná výšky průřezu:

$$d_x = h_d - c - \varnothing_x/2 = 200 - 20 - 12/2 = 174 \text{ mm}$$

$$d_y = h_d - c - \varnothing_x - \varnothing_y/2 = 200 - 20 - 12 - 12/2 = 162 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{174 + 162}{2} = 168 \text{ mm}$$

Návrhové zatížení pro posouzení protlačení:

zatížení	počet	výpočet	f_k [kN]	γ_F	f_d [kN]
ŽB deska - 1.NP	1	$1 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 18,06$	90,300	1,35	121,905
skladba - podlaha 2.NP	1	$2 \cdot 2,55 \cdot 18,06$	46,053	1,35	62,172
Σ stálé					184,077
příčky 2.NP - náhradní q_{pr2}	1	$0,8 \cdot 18,06$	14,448	1,50	21,672
užitné - 2.NP	1	$1 \cdot 3,0 \cdot 18,06$	54,180	1,50	81,270
Σ užitné					102,942
Celkem			$V_{Ed} =$		287,019

Maximální hodnota posouvající síly: $V_{Ed} = 287,019$ kN

délky kontrolovaných obvodů:

$$\text{v líci sloupu: } u_0 = 1000 \text{ mm}$$

$$2d \text{ za lícem sloupu: } u_1 = 3111,150 \text{ mm}$$

součinitel β (vnitřní sloup) $\beta = 1,15$

Napětí v kontrolovaných obvodech u_0 a u_1 :

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 287,019}{1000 \cdot 168} = 1,965 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 287,019}{3111,15 \cdot 168} = 0,632 \text{ MPa}$$

Posouzení:

Únosnost tlakové diagonály (obvod u_0):

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

Součinitel vlivu přídatných namáhání v :

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$\underline{v_{Ed,0} = 1,965 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

Smyková únosnost v obvodě u_1 :

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100\rho_1 \cdot f_{ck})} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot 0,005 \cdot 30)} = \\ = 0,526 \text{ MPa}$$

empirický koeficient $C_{Rd,c}$:

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

součinitel k zohledňující tloušťku desky:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 2,091 \leq 2,0 \Rightarrow k = 2,0$$

stupeň vyztužení ohybovou výztuží ρ (str. P1.6): $\rho_1 = 0,0035$

součinitel únosnosti stropní desky se smykovou výztuží proti protlačení k_{\max} :

$$k_{\max} = 1,45 \text{ pro } h_d = 200 \text{ mm}$$

$$k_{\max} \cdot v_{Rd,c} = 1,45 \cdot 0,526 = 0,763 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = 0,632 \text{ MPa} < k_{\max} \cdot v_{Rd,c} = 0,763 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Stropní deska (sloup S1) vyhovuje v kontrolovaných obvodech u_0 a u_1 za předpokladu užití smykové výztuže proti protlačení.

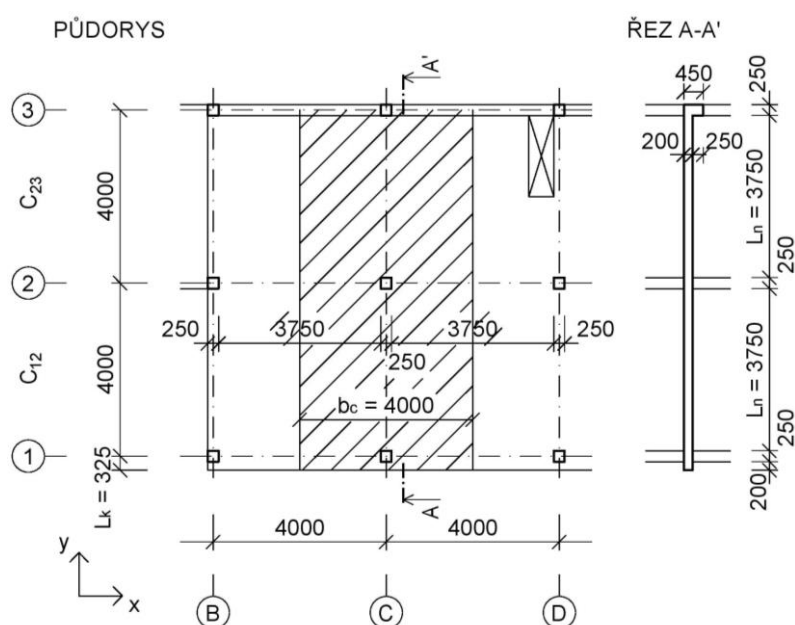
Výpočet lokálně podepřené desky

- **Výpočet proveden ve 3 variantách:**

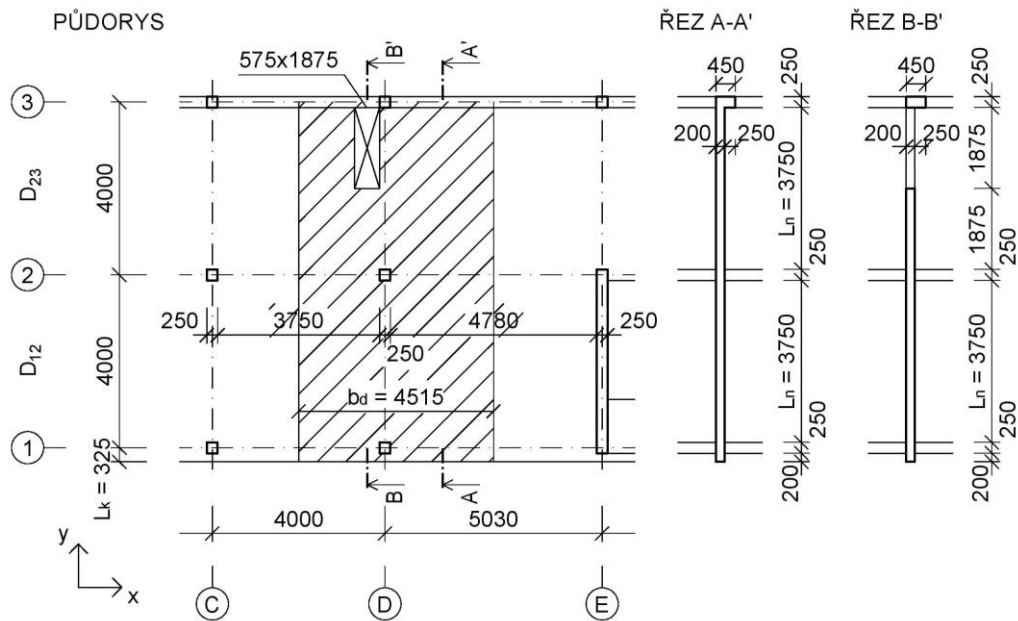
- 1) Metoda součtových momentů MSM
- 2) Metoda náhradních rámců MNR (SCIA Engineer) – rám 2D
- 3) Metoda konečných prvků MKP (SCIA Engineer) – deska 2D

- **Schéma řešených pruhů:**

Pruh C:



Pruh D:



1) Metoda součtových momentů

- **Zatížení stropní desky:**

Pole bez prostupu:

zatížení		f_k [kN/m ²]	γ_F	f_d [kN/m ²]
ŽB deska tl. 200 mm	g_0	5,000	1,35	6,750
podlaha	g_{pod}	2,550	1,35	3,443
příčky SDK	$q_{př2}$	0,800	1,50	1,200
užitné zatížení	q_{patro}	3,000	1,50	4,500
Celkem			$f_{d,1} =$	15,893

Pole s prostupem:

Pro část s prostupem je zatížení $f_{d,2}$ sníženo poměrem šířky prostupu ku šířce vyšetřovaného pruhu (pro účely metody součtových momentů a metody náhradních ráků – prutový model).

$$\text{plné zatížení: } f_{d,1} = 15,893 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{šířka prostupu: } 575 \text{ mm}$$

$$\text{šířka pruhu: } 4515 \text{ mm}$$

$$f_{d,2} = 15,893 - \frac{575}{4515} \cdot 15,893 = 13,869 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{d,2} = 13,869 \text{ kN/m}^2$$

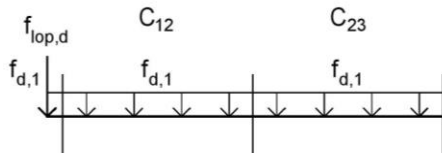
Konzola:

Na překonzolované části desky působí stejné zatížení jako v poli $f_{d,1}$. Dále je na okraji liniové zatížení od prosklené fasády $f_{lop,d}$.

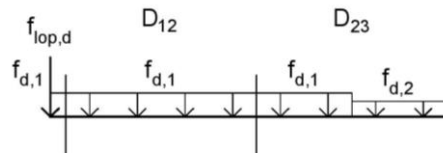
$$f_{lop,d} = g_{lop,k} \cdot \gamma_G = 0,96 \cdot 1,35 = 1,296 \text{ kN/m} \quad (g_{lop,k} - \text{str. P1.3}).$$

- **Schéma zatížení:**

Pruh C (bez prostupu):



Pruh D (s prostupem):



- **Výpočet celkových součtových momentů M_{tot} :**

Pruh C (bez prostupu):

Součtový moment pro pole C_{12} a C_{23} :

$$M_{tot,C} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,1} \cdot b_c \cdot L_n^2 = \frac{1}{8} \cdot 15,893 \cdot 4,0 \cdot 3,75^2 = 111,748 \text{ kNm}$$

$$M_{tot,C} = 111,748 \text{ kNm}$$

Moment na konzole:

Pro konzolu je M_k stanoven jako součet momentu od rovnoměrného zatížení $f_{d,1}$ a prosklené fasády $f_{lop,d}$.

$$M_{k,C1} = \frac{1}{2} \cdot f_{d,1} \cdot b_c \cdot L_k^2 = \frac{1}{2} \cdot 15,893 \cdot 4,0 \cdot 0,325^2 = 3,357 \text{ kNm}$$

$$M_{k,C2} = f_{lop,d} \cdot b_c \cdot L_k = 1,296 \cdot 4,0 \cdot 0,325 = 1,685 \text{ kNm}$$

$$M_{k,C} = M_{k,C1} + M_{k,C2} = 3,357 + 1,685 = 5,042 \text{ kNm}$$

Pruh D (s prostupem):

Pole D_{12} (plné):

$$M_{tot,D12} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,1} \cdot b_d \cdot L_n^2 = \frac{1}{8} \cdot 15,893 \cdot 4,515 \cdot 3,75^2 = 126,135 \text{ kNm}$$

$$M_{tot,D12} = 126,135 \text{ kNm}$$

Pole s prostupem D₂₃:

Pro výpočet celkového součtového momentu pole D23 byl použit model oboustranně vetknutého nosníku ve SCIA Engineer (viz vykreslení momentu).

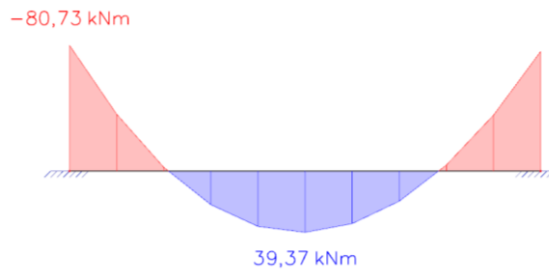
Zatížení vetknutého nosníku:

přepočet na liniové zatížení (ze schématu zatížení – str. P1.12):

$$f_{d,1} = 15,893 \cdot 4,515 = 71,757 \text{ kN/m}$$

$$f_{d,2} = 15,893 \cdot (4,515 - 0,575) = 62,619 \text{ kN/m}$$

Průběh ohybového momentu:



$$M_{\text{tot},D23} = |-80,73| + 39,37 = 120,100 \text{ kNm}$$

$$M_{k,D} = 120,100 \text{ kNm}$$

Konzola:

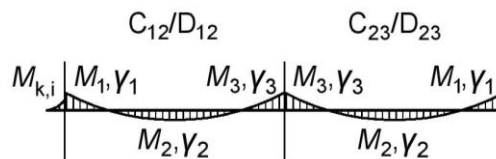
$$M_{k,D1} = \frac{1}{2} \cdot f_{d,1} \cdot b_d \cdot L_k^2 = \frac{1}{2} \cdot 15,893 \cdot 4,515 \cdot 0,325^2 = 3,790 \text{ kNm}$$

$$M_{k,D2} = f_{\text{op},d} \cdot b_d \cdot L_k = 1,296 \cdot 4,515 \cdot 0,325 = 1,902 \text{ kNm}$$

$$M_{k,D} = M_{k,D1} + M_{k,D2} = 3,790 + 1,902 = 5,692 \text{ kNm}$$

• **Rozdělení na kladné a záporné M:**

Při rozdělení je použito označení dle následujícího schématu:



Součinitelé γ jsou převzaty z tabulky:

	Okraj desky krajního deskového pole je prostě uložen na zdi	Deska má ztužující trámy ve všech sloupových pruzích	Deska nemá vnitřní ztužující trámy a je		Okraj desky krajního deskového pole je vetknutý
			bez okrajového ztužujícího trámu	s okrajovým ztužujícím trámem	
γ_1	0,00	0,16	0,26	0,30	0,65
γ_2	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
γ_3	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65

Pruh C:

Pole C₂₃:

γ – deska s okrajovým ztužujícím trámem

$$M_1 = \gamma_1 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,30 \cdot 111,748 = 33,524 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \gamma_2 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,50 \cdot 111,748 = 55,874 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \gamma_3 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,70 \cdot 111,748 = 78,224 \text{ kNm}$$

Pole C₁₂:

γ – deska bez okrajového ztužujícího trámu s následující úpravou:

V případě překonzolovaného okraje je velikost momentů v podpoře závislá na délce konzoly a na působícím momentu. Z výše uvedené tabulky se hodnota součinitele γ pohybuje mezi variantami „bez okrajového ztužujícího trámu“ (volný okraj, $\gamma_1 = 0,26$) a „vetknutý okraj“ (spojitá deska, $\gamma_1 = 0,65$). Hodnota součinitele γ_1 je stanovena následující interpolací:

Moment $M_{v,C}$ pro vetknutý okraj:

$$M_{v,C} = 0,65 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,65 \cdot 111,748 = 72,636 \text{ kNm}$$

Moment na konzole:

$$M_{k,C} = 5,042 \text{ kNm}$$

Interpolace γ_1 pro okraj pole:

$$\gamma_1 = 0,26 + \frac{M_{k,C}}{M_{v,C}} \cdot (0,65 - 0,26) = 0,26 + \frac{5,042}{72,636} \cdot (0,65 - 0,26) = 0,29$$

Zbylé hodnoty γ_2 a γ_3 jsou již uvažovány dle tabulky (bez ztužujícího okrajového trámu).

$$M_1 = \gamma_1 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,29 \cdot 111,748 = 32,407 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \gamma_2 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,52 \cdot 111,748 = 58,109 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \gamma_3 \cdot M_{\text{tot,C}} = 0,70 \cdot 111,748 = 78,224 \text{ kNm}$$

Vzhledem ke krátké délce konzoly jsou hodnoty krajních ohybových momentů jen velmi málo ovlivněny.

Pruh D:

Pole D₂₃:

γ – deska s okrajovým ztužujícím trámem

$$M_1 = \gamma_1 \cdot M_{\text{tot},D23} = 0,30 \cdot 120,100 = 36,030 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \gamma_2 \cdot M_{\text{tot},D23} = 0,50 \cdot 120,100 = 60,050 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \gamma_3 \cdot M_{\text{tot},D23} = 0,70 \cdot 120,100 = 84,070 \text{ kNm}$$

Pole D₁₂:

Pro pole D₁₂ je použit stejný způsob řešení jako pro C₁₂.

Vzhledem ke skutečnosti, že pole C₁₂ a D₁₂ se liší pouze zatěžovací šířkou b , bude poměr momentů $M_{k,D}/M_{v,D}$ stejný jako $M_{k,C}/M_{v,C}$.

$$\Rightarrow \text{součinitel } \gamma_1 = 0,29$$

$$M_1 = \gamma_1 \cdot M_{\text{tot},D12} = 0,29 \cdot 126,135 = 36,579 \text{ kNm}$$

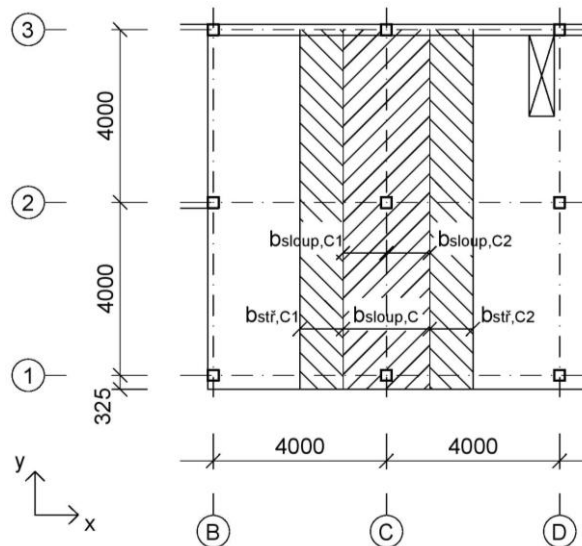
$$M_2 = \gamma_2 \cdot M_{\text{tot},D12} = 0,52 \cdot 126,135 = 65,590 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \gamma_3 \cdot M_{\text{tot},D12} = 0,70 \cdot 126,135 = 88,295 \text{ kNm}$$

- **Rozdělení ohybových momentů do sloupových a středních pruhů:**

Schéma pruhů:

Pruh C:



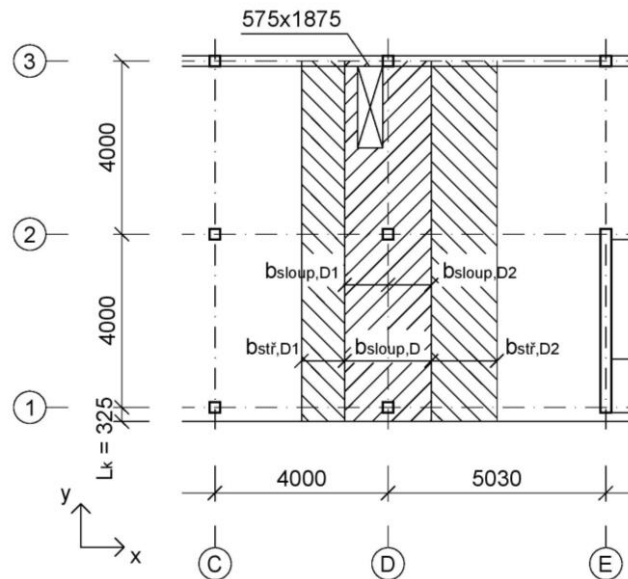
Šířka sloupového pruhu:

$$b_{\text{sloup},C1} = b_{\text{sloup},C2} = \frac{1}{4} \cdot \min(L_x, L_y) = \frac{1}{4} \cdot \min(4000, 4000) = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{\text{sloup},C} = b_{\text{sloup},C1} + b_{\text{sloup},C2} = 1000 + 1000 = \mathbf{2000 \text{ mm}}$$

$$b_{\text{stř},C} = L_{x,C} - b_{\text{sloup},C} = 4000 - 2000 = \mathbf{2000 \text{ mm}}$$

Řešený pruh D:



Šířka sloupového pruhu:

$$b_{\text{sloup,D1}} = \frac{1}{4} \cdot \min(L_x, L_y) = \frac{1}{4} \cdot \min(4000, 4000) = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{\text{sloup,D2}} = \frac{1}{4} \cdot \min(L_x, L_y) = \frac{1}{4} \cdot \min(5030, 4000) = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{\text{sloup,D}} = b_{\text{sloup,D1}} + b_{\text{sloup,D2}} = 1000 + 1000 = \mathbf{2000 \text{ mm}}$$

$$b_{\text{stř,D}} = L_{x,D} - b_{\text{sloup,D}} = 4515 - 2000 = \mathbf{2515 \text{ mm}}$$

V místě prostupu je šířka sloupového pruhu zkrácena na hodnotu $b_{\text{sloup,Dp}}$.

$$b_{\text{sloup,Dp}} = 2000 - 575 = \mathbf{1425 \text{ mm}}$$

Stanovení součinitele ω :

Součinitelé jsou stanoveny dle tabulky:

Moment	Průřez	$\alpha_1 l_2 / l_1$	ω pro l_2 / l_1			
			0,5	1,0	2,0	
Záporný	V krajní podpoře	$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	$\beta_i = 0$	1,00	1,00	1,00
		$\beta_i \geq 2,5$	0,75	0,75	0,75	
	V střední podpoře	$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 0$	$\beta_i = 0$	1,00	1,00	1,00
		$\beta_i \geq 2,5$	0,90	0,75	0,45	
Kladný	V poli	$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	0,60	0,60	0,60	
		$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 0$	0,90	0,75	0,45	

Vyšetřované pásy nejsou ztuženy ve směru vyšetřovaných momentů.

- ⇒ $\alpha_1 = 0$ (součinitel vyjadřující vliv podélného ztužení)
- ⇒ β_t – výpočet dále (součinitel kroucení obvodového ztužujícího trámu)
- ⇒ $\omega = 0,60$ kladné momenty
- ⇒ $\omega = 0,75$ záporné momenty (střední podpora)

Stanovení součinitele β_t :

Stanoveno pro pole s okrajovým ztužujícím trámem (C₂₃, D₂₃).

Pro podporu okrajovým trámem je stanoven součinitel β_t pomocí vzorce:

$$\beta_t = \frac{I_t}{2 \cdot I_s}$$

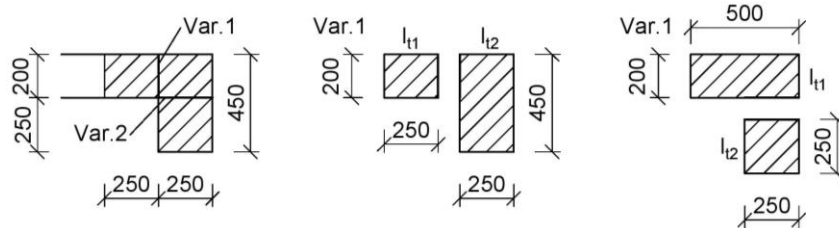
I_t – moment setrvačnosti trámu s částí desky v kroucení:

$$I_t = \sum \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t_i}{a_i} \right) \cdot \frac{t_i^3 \cdot a_i}{3}$$

t_i [m] kratší strana obdélníku

a_i [m] delší strana obdélníku

Schéma:



Výpočet:

	t_1 [m]	a_1 [m]	I_{t1} [m ⁴]	t_2 [m]	a_2 [m]	I_{t2} [m ⁴]	$I_{t,vi}$ [m ⁴]
Var. 1	0,200	0,250	3,307E-04	0,250	0,450	1,523E-03	1,854E-03
Var. 2	0,200	0,500	9,973E-04	0,250	0,250	4,818E-04	1,479E-03

$$I_t = \max (I_{t,V1}; I_{t,V2}) = 1,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

I_s – moment setrvačnosti desky ve vyšetřovaném pruhu:

pole	L_x [m]	h_d [m]	I_s [m ⁴]
C23	4,000	0,200	2,667E-03
D23	4,515	0,200	3,010E-03

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot L_x \cdot h_d^3$$

$$\beta_{t,C} = \frac{1,854 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,667 \cdot 10^{-3}} = 0,346$$

$$\beta_{t,D} = \frac{1,854 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,010 \cdot 10^{-3}} = 0,308$$

Součinitel ω pro okraj se ztužujícím trámem:

$$\beta_t = 0 \quad \omega = 1,00$$

$$\beta_t = 2,5 \quad \omega = 0,75$$

$$\beta_{t,C} = 0,346 \quad \omega_C = 0,965$$

$$\beta_{t,D} = 0,308 \quad \omega_D = 0,969$$

Momenty v krajní podpoře u konzoly:

Stanovení součinitele ω :

$$\gamma_1 = 0,26 \quad \omega = 1,0$$

$$\gamma_1 = 0,65 \quad \omega = 0,75$$

$$\gamma_1 (C_{12}, D_{12}) = 0,29 \quad \omega = 0,981$$

Překonzolovaném okraj – výsledné momenty:

Pole (C₁₂, D₁₂):

Sloupový pruh:

$$m_{sl,i} = \frac{\omega \cdot M_{1,i}}{b_{sloup,i}}$$

Střední pruh:

$$m_{stř,i} = \frac{(1 - \omega) \cdot M_{1,i}}{b_{stř,i}}$$

Konzola:

Sloupový pruh:

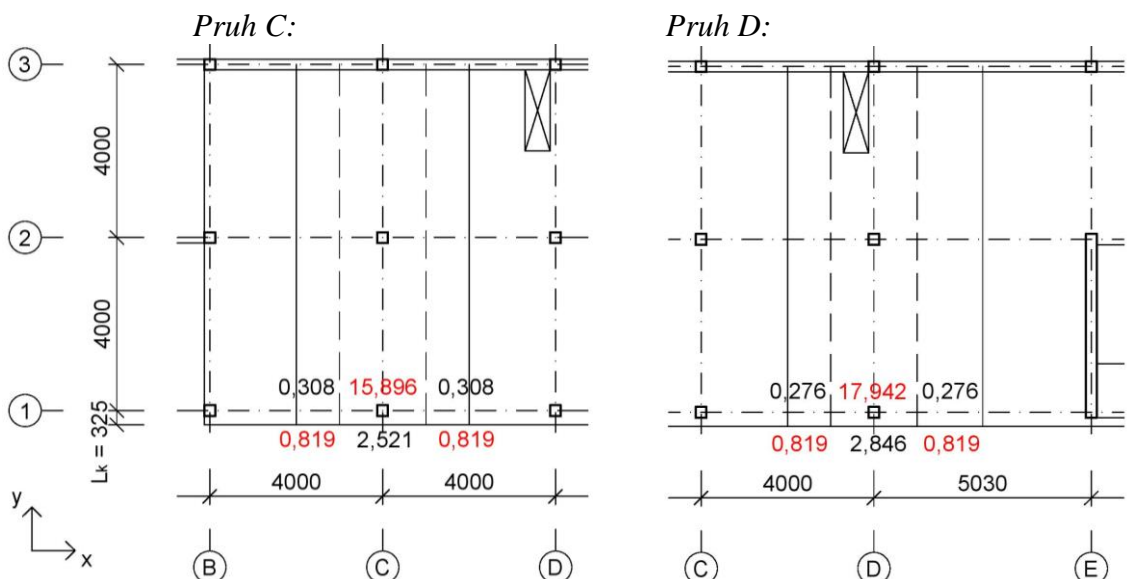
$$m_{sl,i} = \frac{M_{k,i}}{b_{sloup}}$$

Střední pruh:

$$m_{stř,i} = \frac{0,65 \cdot M_{k,i}}{b_{celk}}$$

pruh	M ₁ [kNm]	M _{k,i} [kNm]	ω [-]	b _{sloup} [m]	b _{stř} [m]	m _{sl,i} [kNm]	m _{stř,i} [kNm]	m _{sl,k} [kNm]	m _{stř,k} [kNm]
C	32,407	5,042	0,981	2,000	2,000	15,896	0,308	2,521	0,819
D	36,579	5,692	0,981	2,000	2,515	17,942	0,276	2,846	0,819

Výsledné momenty na překonzolovaném okraji (červeně rozhodující hodnoty):



- **Přepoččet momentů na 1 m šířky desky:**

Pole	M_i	Celkový moment M_i [kNm]	Pruh	ω [-]	Celkový moment: sloupový/střední pruh M_i [kNm]	šířka pruhu [m]	Moment na 1 m šířky m_j [kNm] sloupový/střední pruh
C₂₃	M ₁	33,524	sloupový	0,965	32,351	2,000	16,175
			střední		1,173	2,000	0,587
	M ₂	55,874	sloupový	0,60	33,524	2,000	16,762
			střední		22,350	2,000	11,175
	M ₃	78,224	sloupový	0,75	58,668	2,000	29,334
			střední		19,556	2,000	9,778
C₁₂	M ₁	32,407	sloupový	0,981	31,791	2,000	15,896
			střední		0,616	2,000	0,819
	M ₂	58,109	sloupový	0,60	34,865	2,000	17,433
			střední		23,244	2,000	11,622
	M ₃	78,224	sloupový	0,75	58,668	2,000	29,334
			střední		19,556	2,000	9,778
D₂₃	M ₁	36,030	sloupový	0,969	34,913	1,425	24,500
			střední		1,117	2,515	0,444
	M ₂	60,050	sloupový	0,60	36,030	1,425	25,284
			střední		24,020	2,515	9,551
	M ₃	84,070	sloupový	0,75	63,053	2,000	31,526
			střední		21,018	2,515	8,357
D₁₂	M ₁	36,579	sloupový	0,981	35,884	2,000	17,942
			střední		0,695	2,515	0,819
	M ₂	65,590	sloupový	0,60	39,354	2,000	19,677
			střední		26,236	2,515	10,432
	M ₃	88,295	sloupový	0,75	66,221	2,000	33,111
			střední		22,074	2,515	8,777

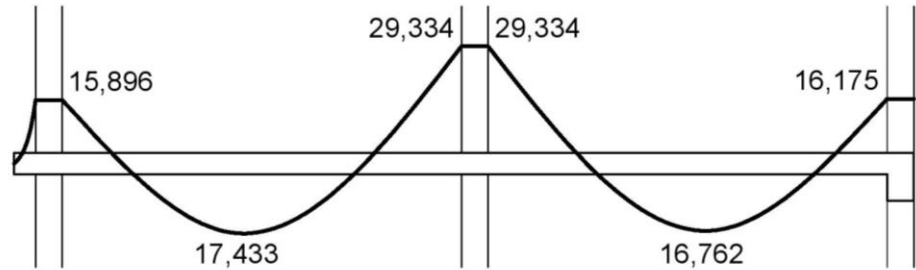
Hodnoty 0,965 a 0,969 pro ztužující trám (str. P1.18)

Hodnota 0,981 pro překonzolovaný okraj (str. P1.18)

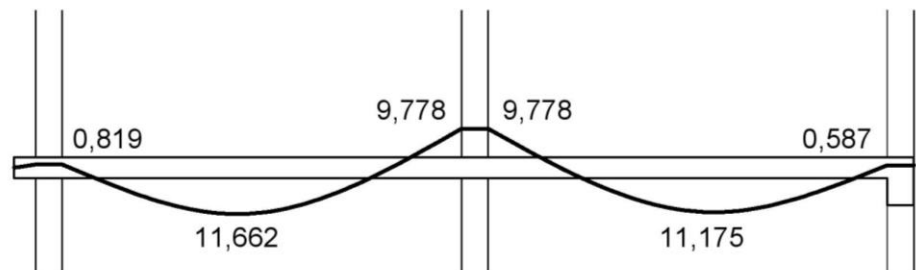
- Vykreslení momentů MSM [kNm/m']:

Pruh C:

sloupový pruh:

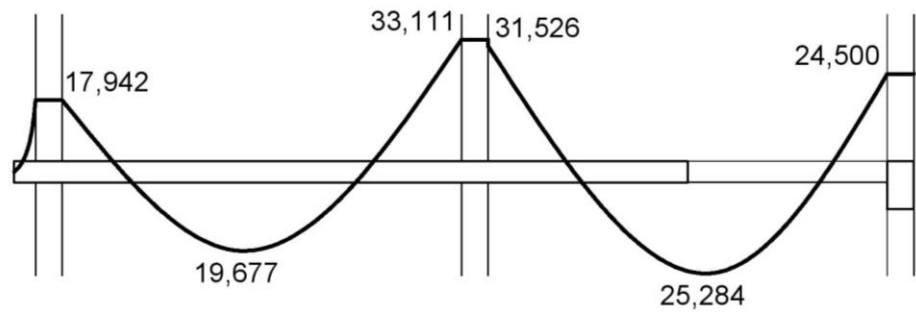


střední pruh:

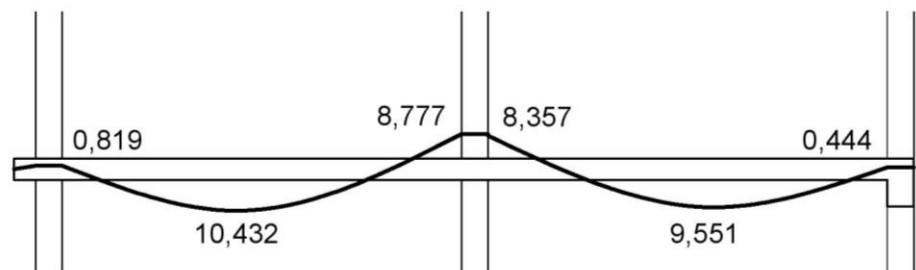


Pruh D:

sloupový pruh:



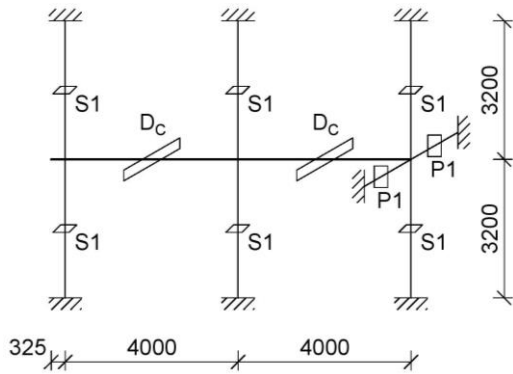
střední pruh:



2) Metoda náhradních ráků:

- **Statické schéma (model):**

Pruh C:

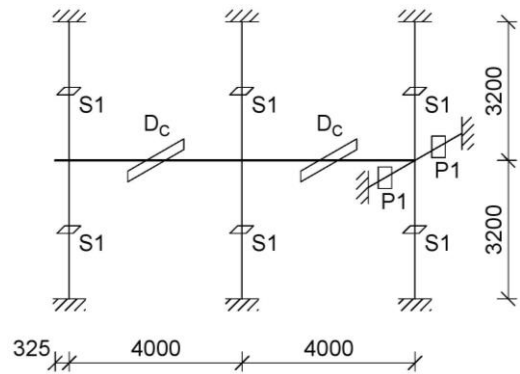


D_C – příčle o rozměrech 4000 x 200 mm

S1 – sloup 250 x 250 mm

P1 – průvlak 250 x 450 mm

Pruh D:

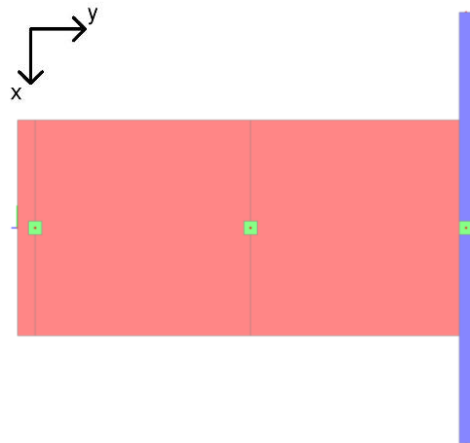


D_{D1} – příčle 4515 x 200 mm

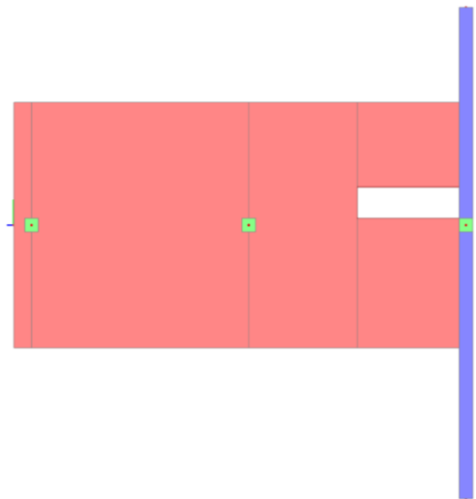
D_{D2} – příčle 4515 x 200 mm s prostupem

- **Model pro výpočet (pohled shora):**

Pruh C:



Pruh D:



- **Zatížení:**

Příčle náhradního ráku je zatížena liniovým zatížením $f_{d,1,lin}$

$$\text{Pruh C: } f_{d,1,lin} = f_{d,1} \cdot b = 15,893 \cdot 4,0 = 63,572 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pruh D: } f_{d,1,lin} = f_{d,1} \cdot b = 15,893 \cdot 4,515 = 71,757 \text{ kN/m}$$

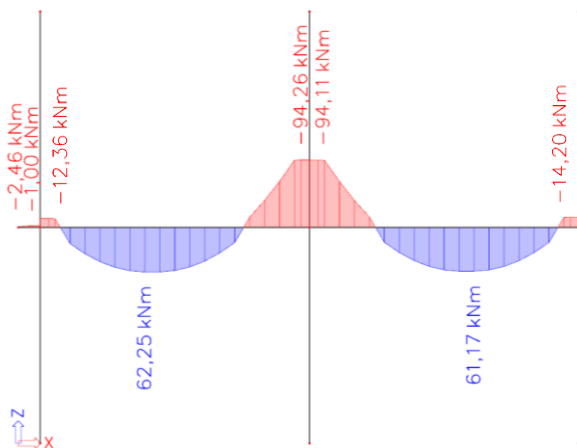
Část příčle s prostupem je zatížena liniovým zatížením $f_{d,2,lin}$

$$\text{Pruh D: } f_{d,2,lin} = f_{d,1} \cdot b = 15,893 \cdot (4,515 - 0,575) = 62,619 \text{ kN/m}$$

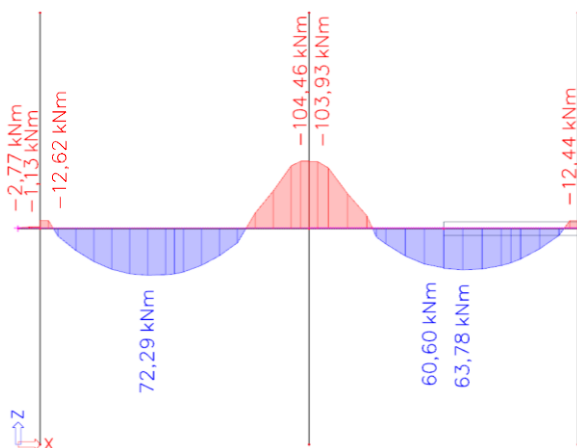
- **Výsledné návrhové momenty MED:**

Návrhové momenty zahrnují redukci ohybového momentu vzhledem k podpoře.

Pruh C:



Pruh D:



- **Rozdělení ohybových momentů do sloupových a středních pruhů:**

Hodnoty součinitele ω jsou stejné jako u výpočtu metodou součtových momentů. (viz str. P1.17 a P1.18)

Pro momenty v krajní podpoře u konzoly je použit stejný výpočet jako u metody součtových momentů. (vzorce str. P1.18)

pruh	M_1 [kNm]	$M_{k,i}$ [kNm]	ω [-]	b_{sloup} [m]	$b_{stř}$ [m]	$m_{sl,i}$ [kNm]	$m_{stř,i}$ [kNm]	$m_{sl,k}$ [kNm]	$m_{stř,k}$ [kNm]
C	12,36	2,46	0,981	2,000	2,000	6,063	0,117	1,230	0,400
D	12,62	2,77	0,981	2,000	2,515	6,190	0,095	1,385	0,399

Rozhodující hodnoty jsou vyznačeny tučně.

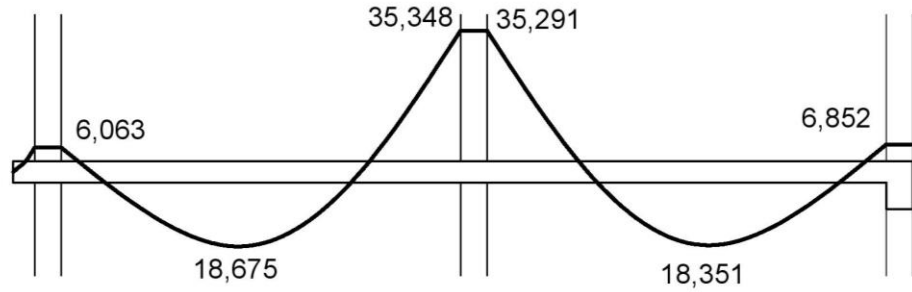
- **Přepočítání momentů na 1 m šířky desky:**

Pole	M _i	Celkový moment M _i [kNm]	Pruh	ω [-]	Celkový moment: sloupový/střední pruh M _i [kNm]	šířka pruhu [m]	Moment na 1 m šířky m _j [kNm] sloupový/střední pruh
C₂₃	M ₁	14,200	sloupový	0,965	13,703	2,000	6,852
			střední		0,497	2,000	0,249
	M ₂	61,170	sloupový	0,60	36,702	2,000	18,351
			střední		24,468	2,000	12,234
	M ₃	94,110	sloupový	0,75	70,583	2,000	35,291
			střední		23,528	2,000	11,764
C₁₂	M ₁	12,360	sloupový	0,981	12,125	2,000	6,063
			střední		0,235	2,000	0,400
	M ₂	62,250	sloupový	0,60	37,350	2,000	18,675
			střední		24,900	2,000	12,450
	M ₃	94,260	sloupový	0,75	70,695	2,000	35,348
			střední		23,565	2,000	11,783
D₂₃	M ₁	12,440	sloupový	0,969	12,054	1,425	8,459
			střední		0,386	2,515	0,153
	M ₂	63,780	sloupový	0,60	38,268	1,425	26,855
			střední		25,512	2,515	10,144
	M ₃	103,930	sloupový	0,75	77,948	2,000	38,974
			střední		25,983	2,515	10,331
D₁₂	M ₁	12,620	sloupový	0,981	12,380	2,000	6,190
			střední		0,240	2,515	0,399
	M ₂	72,290	sloupový	0,60	43,374	2,000	21,687
			střední		28,916	2,515	11,497
	M ₃	104,460	sloupový	0,75	78,345	2,000	39,173
			střední		26,115	2,515	10,384

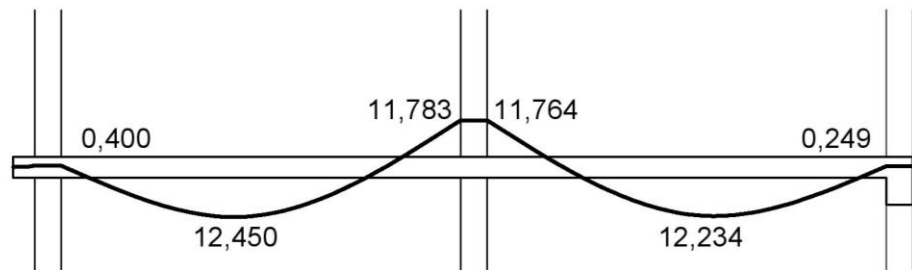
- Vykreslení momentů MNR [kNm/m']:

Pruh C:

sloupový pruh:

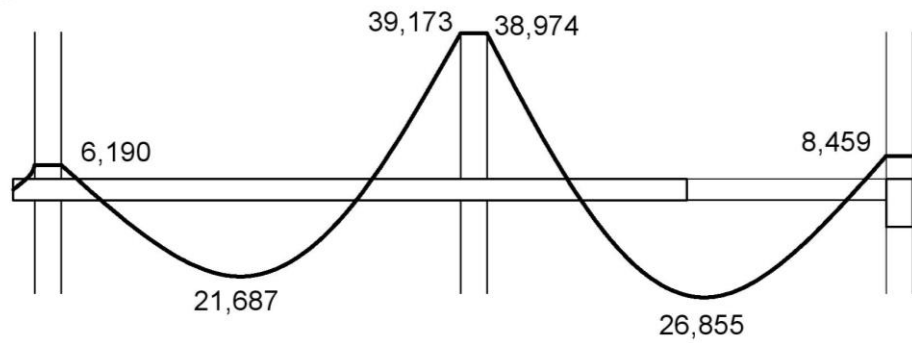


střední pruh:

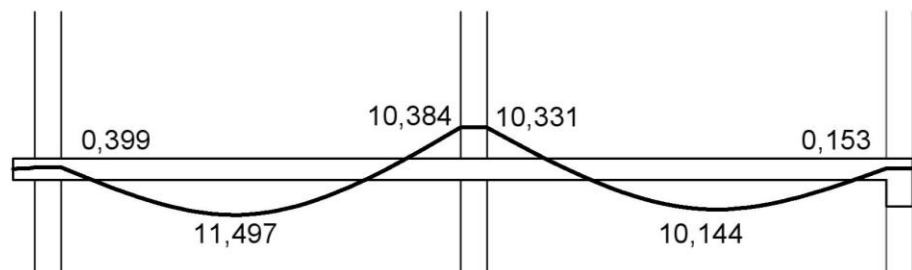


Pruh D:

sloupový pruh:

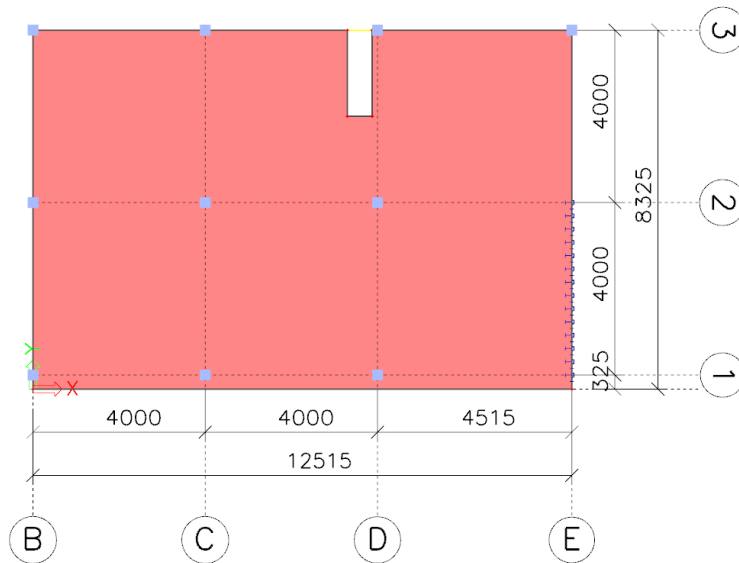


střední pruh:



3) Metoda konečných prvků (MKP) – 2D konstrukce

- **Půdorys modelu:**



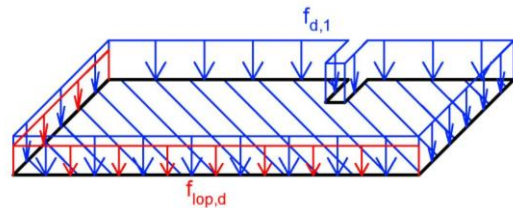
- **Zatížení:**

Stropní deska je zatížena v celé své ploše zatížením $f_{d,1}$ (str. P1.11)

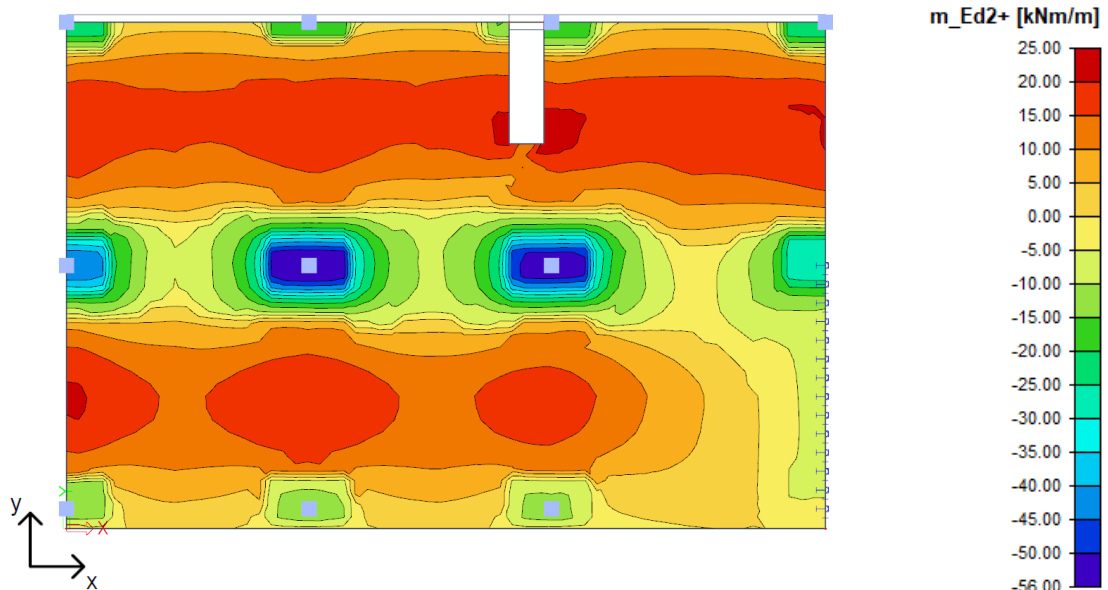
$$f_{d,1} = 15,893 \text{ kN/m}^2$$

Na spodní a levé hraně půdorysu je liniové zatížení od prosklené fasády $f_{lop,d}$ (str. P1.12)

$$f_{lop,d} = 1,296 \text{ kN/m}$$

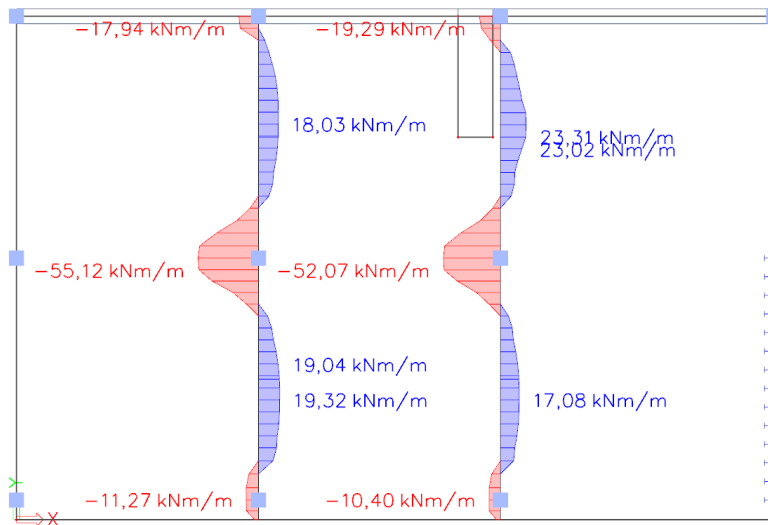


- **Výsledné momenty ve směru Y:**



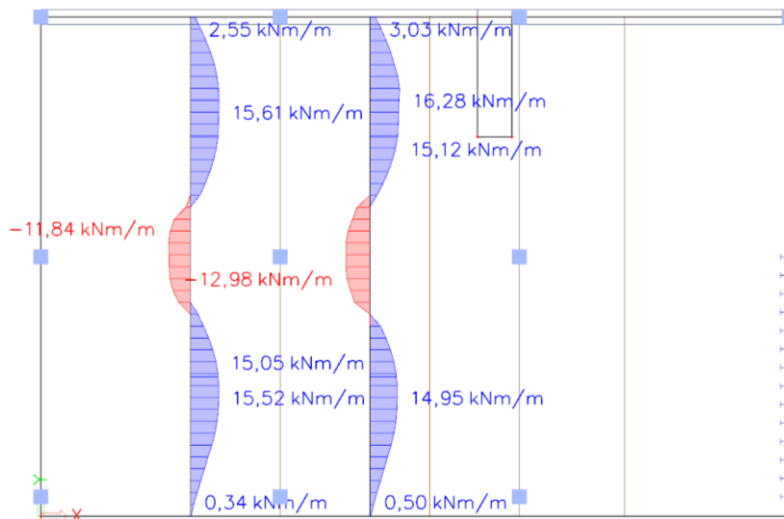
- **Řezy - hodnoty $m_{Ed,2}$:**

Spojnice sloupů – uprostřed sloupového pruhu:

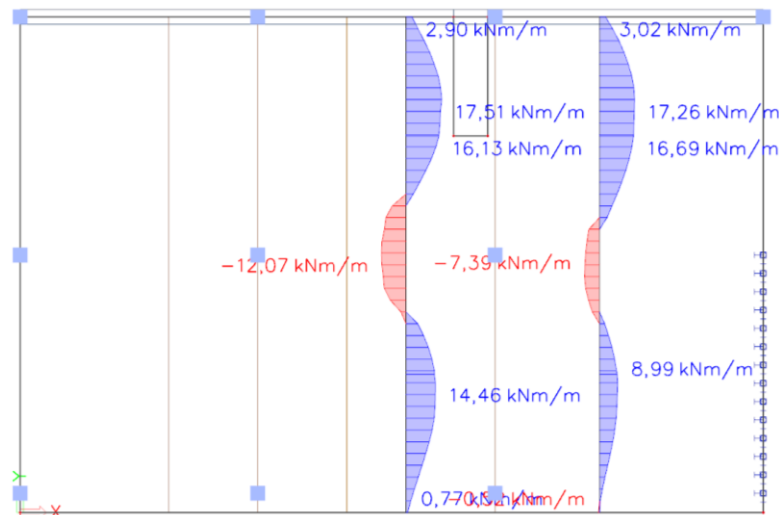


V polovině středních pruhů:

Pruh C:



Pruh D:



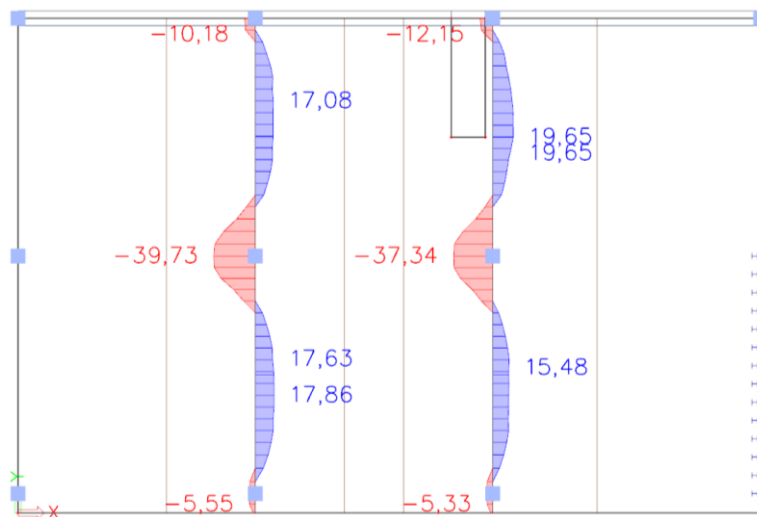
- **Vyhodnocení:**

Vyhodnocení ohybových momentů je provedeno pro sloupový a střední pruh na maximální hodnoty $m_{Ed,2}$ z průměrovacích pásů. Pomocí nástroje užitého výpočetního softwaru jsou zprůměrovány hodnoty v zadané šířce (šířka sloupového/středního pruhu), které jsou dále použity jako návrhové hodnoty pro stanovení $A_{s,req}$. Bez užití této pomůcky by vycházelo především v oblasti podpor příliš velké množství výztuže, které ve skutečnosti není potřeba.

Hodnoty v řezech s průměrovacími pásy:

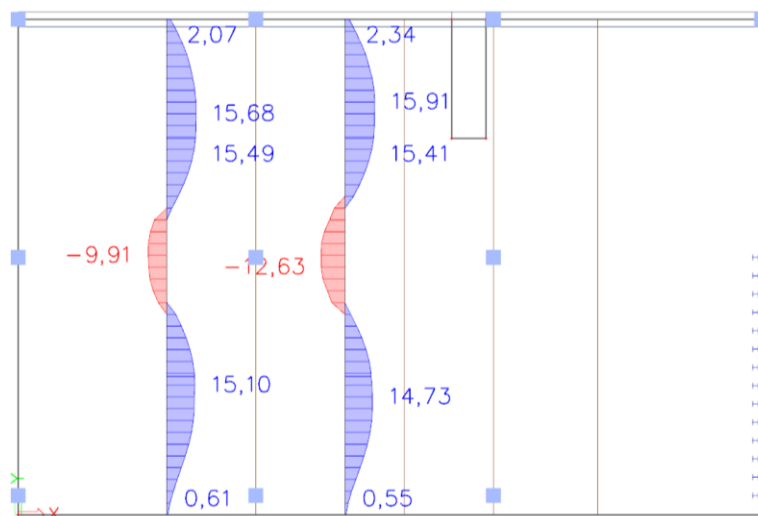
(redistribuce momentů po šířce pruhů)

Spojnice sloupů – uprostřed sloupového pruhu:

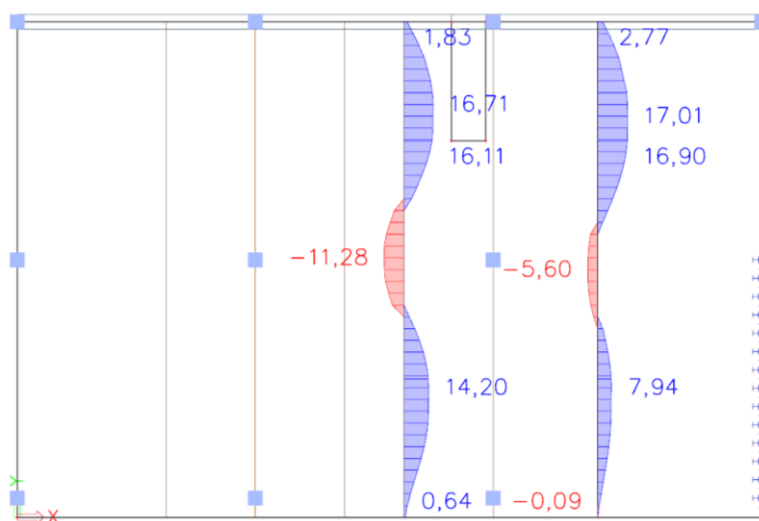


V polovině středních pruhů:

Pruh C:



Pruh D:



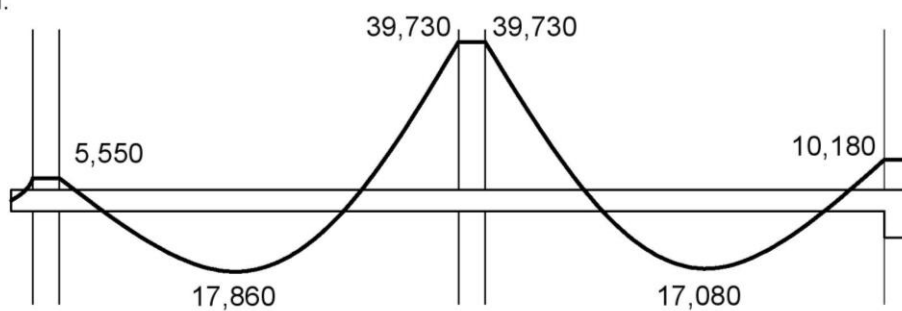
Přehled maximálních hodnot $m_{Ed,2}$:

Pole	M_i	Pruh	Moment na 1 m šířky m_j [kNm] sloupový/střední pruh
C₂₃	M_1	sloupový	10,180
		střední	-2,340
	M_2	sloupový	17,080
		střední	15,910
	M_3	sloupový	39,730
		střední	12,630
C₁₂	M_1	sloupový	5,550
		střední	-0,610
	M_2	sloupový	17,860
		střední	15,100
	M_3	sloupový	39,730
		střední	12,630
D₂₃	M_1	sloupový	12,150
		střední	-2,770
	M_2	sloupový	19,650
		střední	17,010
	M_3	sloupový	37,340
		střední	11,280
D₁₂	M_1	sloupový	5,330
		střední	-0,640
	M_2	sloupový	15,480
		střední	14,200
	M_3	sloupový	37,340
		střední	11,280

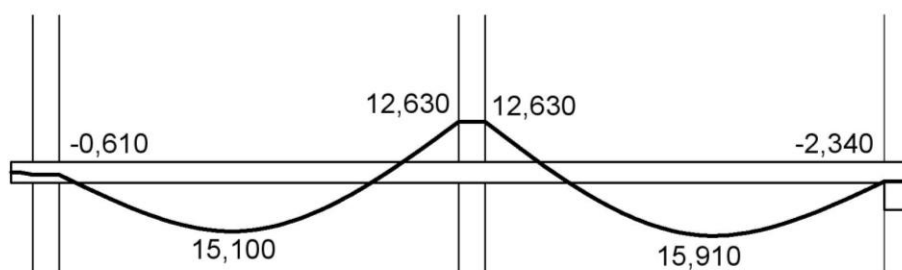
- Vykreslení momentů 2D – MKP [kNm/m']:

Pruh C:

sloupový pruh:

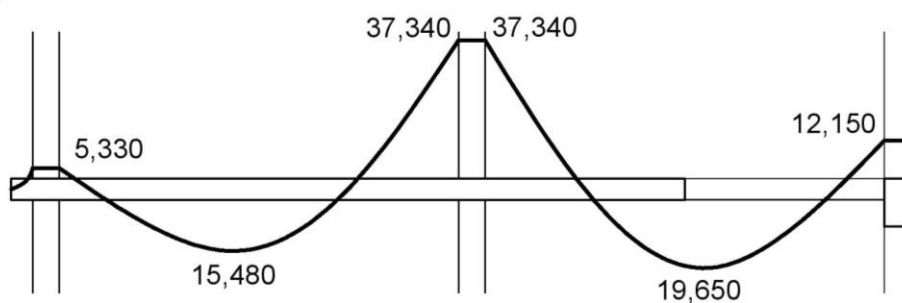


střední pruh:

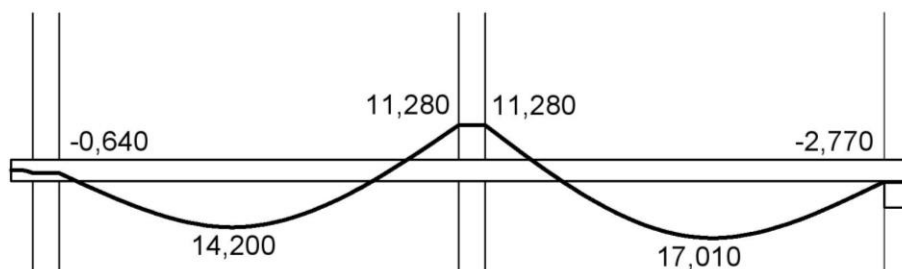


Pruh D:

sloupový pruh:



střední pruh:



- **Návrh ohybové výztuže desky:**

Stanovení tloušťky krycí vrstvy:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm} \quad \text{přidavná odchylka dle technologie (monolit)}$$

$$c_{\text{min}} = \max(c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}} + \Delta c_{\text{dur,\gamma}} - \Delta c_{\text{dur,st}} - \Delta c_{\text{dur,add}}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{\text{min,b}} = 12 \text{ mm} \quad \text{minimální vrstva z hlediska soudržnosti (profil použitých prutů)}$$

$$c_{\text{min,dur}} = 10 \text{ mm} \quad \text{minimální vrstva z hlediska podmínek prostředí (C 30/37, XC1, životnost 50 let)}$$

$$\Delta c_{\text{dur,\gamma}} = 0 \text{ mm} \quad \text{přidavná bezpečnostní složka}$$

$$\Delta c_{\text{dur,st}} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce při použití nerezové oceli}$$

$$\Delta c_{\text{dur,add}} = 0 \text{ mm} \quad \text{redukce při použití přidavné ochrany}$$

$$c_{\text{min}} = \max(12; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = \max(12; 10; 10) = 12 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 12 + 10 = 22 \text{ mm}$$

tloušťka krycí vrstvy výztuže: $c_{\text{nom}} = 25 \text{ mm}$

Použití vzorce pro návrh ohybové výztuže:

Výztuž je uvažována jako v druhá v pořadí od spodního povrchu desky. Výztuž v první vrstvě je uvažována ve směru x (delší rozpětí 5,03 m v blízkosti schodiště).

$$d = h_d - c_{\text{nom}} - \varnothing_s - \frac{\varnothing_s}{2}$$

$$A_{s,\text{req}} = \frac{b \cdot d \cdot f_{\text{cd}}}{f_{\text{yd}}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{\text{Ed}}}{b \cdot d^2 \cdot f_{\text{cd}}}} \right)$$

Návrh výztuže: $A_{s,\text{prov}} \geq A_{s,\text{req}}$

$$x = \frac{A_{s,\text{prov}} \cdot f_{\text{yd}}}{0,8 \cdot b \cdot f_{\text{cd}}}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x$$

$$M_{\text{Rd}} = A_{s,\text{prov}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z$$

Posouzení: $M_{\text{Rd}} \geq M_{\text{Ed}}$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h_d$$

Maximální rozteč prutů:

$$s \leq s_{max} = \min(2 \cdot h_d; 250 \text{ mm})$$

Minimální světlá vzdálenost prutů:

$$s_l \geq s_{min} = \max(20; 1,2 \cdot \emptyset_s; D_{max} + 5)$$

Návrh výztuže:

			M_{Ed}	h_d	b	c_{nom}	\emptyset	d	$A_{s,req}$	návrh \emptyset	$A_{s,prov}$
			[kNm/m']	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ² /m]	[mm]
C	Sloupový	M1	5,550	200	1000	25	12	157	81,77	12 a 250	452
		M2	17,860	200	1000	25	12	157	266,56	12 a 250	452
		M3	39,730	200	1000	25	12	157	607,59	12 a 180	628
		M4	17,080	200	1000	25	12	157	254,71	12 a 250	452
		M5	10,180	200	1000	25	12	157	150,71	12 a 250	452
	Střední	M1	0,610	200	1000	25	12	157	8,94	12 a 250	452
		M2	15,100	200	1000	25	12	157	224,71	12 a 250	452
		M3	12,630	200	1000	25	12	157	187,46	12 a 250	452
		M4	15,910	200	1000	25	12	157	236,96	12 a 250	452
		M5	2,340	200	1000	25	12	157	34,36	12 a 250	452
D	Sloupový	M1	5,330	200	1000	25	12	157	78,51	12 a 250	452
		M2	15,480	200	1000	25	12	157	230,45	12 a 250	452
		M3	37,340	200	1000	25	12	157	569,47	12 a 190	595
		M4	19,650	200	1000	25	12	157	293,84	12 a 250	452
		M5	12,150	200	1000	25	12	157	180,24	12 a 250	452
	Střední	M1	0,640	200	1000	25	12	157	9,38	12 a 250	452
		M2	14,200	200	1000	25	12	157	211,11	12 a 250	452
		M3	11,280	200	1000	25	12	157	167,18	12 a 250	452
		M4	17,010	200	1000	25	12	157	253,65	12 a 250	452
		M5	2,770	200	1000	25	12	157	40,69	12 a 250	452

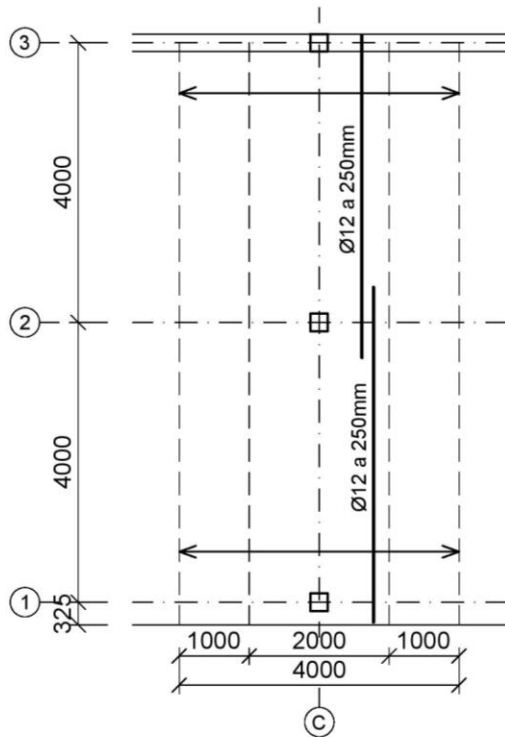
Posouzení výztuže:

		návrh Ø	A _{s,prov}	x	z	M _{Rd}	M _{Ed}	M _{Rd} ≥ M _{Ed}
		[mm]	[mm ² /m]	[mm]	[mm]	[kNm/m']	[kNm/m']	[kNm/m']
C	Sloupový	12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	5,550	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	17,860	VYHOVUJE
		12 a 180	628	17,065	150,174	41,004	39,730	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	17,080	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	10,180	VYHOVUJE
	Střední	12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	0,610	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	15,100	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	12,630	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	15,910	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	2,340	VYHOVUJE
D	Sloupový	12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	5,330	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	15,480	VYHOVUJE
		12 a 190	595	16,168	150,533	38,942	37,340	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	19,650	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	12,150	VYHOVUJE
	Střední	12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	0,640	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	14,200	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	11,280	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	17,010	VYHOVUJE
		12 a 250	452	12,283	152,087	29,888	2,770	VYHOVUJE

Konstrukční zásady:

		návrh Ø	A _{s,prov}	s	s _l	A _{s,min}	A _{s,max}	s _{max}	s _{min}	Posouzení
		[mm]	[mm ² /m]	[mm]	[mm]	[mm ² /m]	[mm ² /m]	[mm]	[mm]	
C	Sloupový	12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 180	628	185	173	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
	Střední	12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
D	Sloupový	12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 190	595	195	183	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
	Střední	12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE
		12 a 250	452	250	238	236,756	8000	250	21	VYHOVUJE

SCHÉMA VYZTUŽENÍ 1.NP - PRUH C
DOLNÍ VÝZTUŽ



HORNÍ VÝZTUŽ

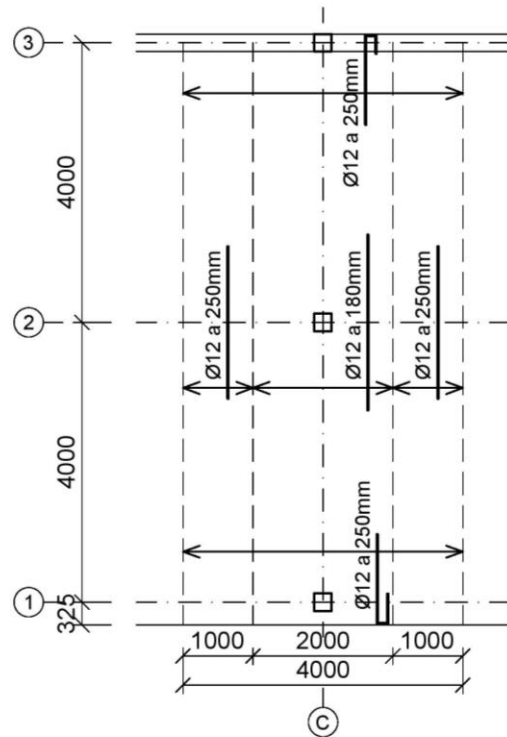
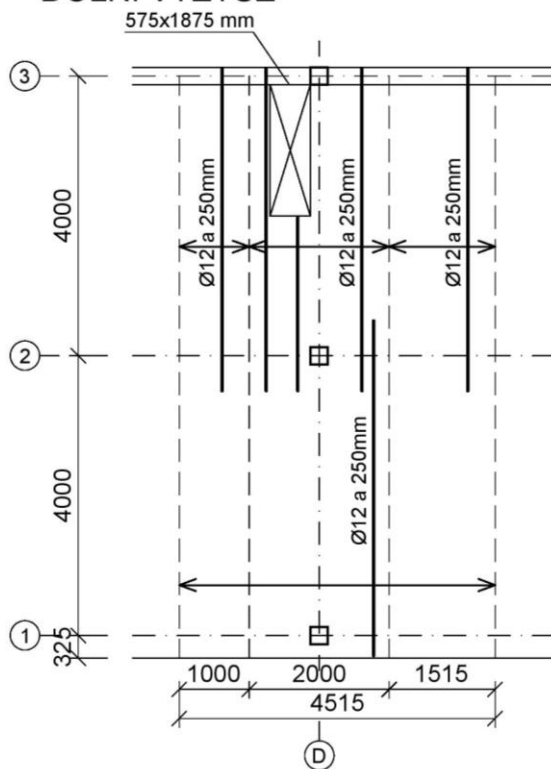
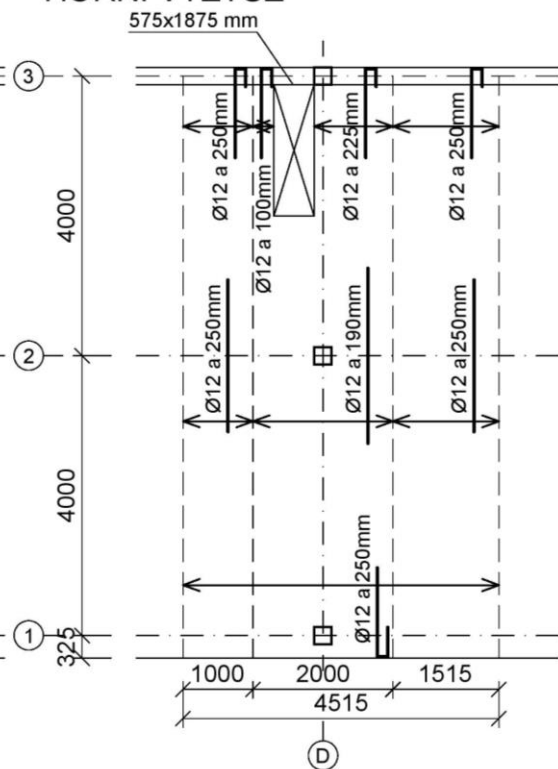


SCHÉMA VYZTUŽENÍ 1.NP - PRUH D
DOLNÍ VÝZTUŽ



HORNÍ VÝZTUŽ



- **Ohybový moment ve směru osy x:**

Tato práce je primárně zaměřená na porovnání výpočetních metod. Ovšem při návrhu lokálně podepřené desky nelze zanedbat statické působení i v jejím druhém směru.

Ohybové momenty ve směru osy x nejsou příliš odlišné od hodnot ve směru osy y. V okolí prostupu nedochází k žádné výrazné změně velikosti hodnot oproti ohybovému momentu v poli bez prostupu. Výztuž v desce by byla navržena na dodržení konstrukčních zásad a v okolí prostupu by došlo k jejímu zhuštění jako ve směru y. Zhuštění výztuže v blízkosti otvoru bude vytvořen skrytý nosník, na kterém bude uložena přerušená výztuž ze směru x. Po obvodě prostupu bude doplněna v desce lemovací výztuž například v podobě $\varnothing 8 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$.

