

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vliv prostupů na protlačení železobetonových lokálně podepřených  
desek

(Effect of openings on flat slabs behaviour in punching shear)

**Hotěk Petr**

**2020**

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

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hotěk** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **468310**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv prostupů na protlačení železobetonových lokálně podepřených desek**

Název bakalářské práce anglicky:

**Effect of openings on flat slabs behaviour in punching shear**

Pokyny pro vypracování:

Rešerše týkající se prostupů ve stropních deskách  
Metody a postupy navrhování železobetonových lokálně podepřených desek z hlediska protlačení  
Parametrická studie vlivu geometrie prostupů na protlačení  
Návrh částí stropní konstrukce zadaného objektu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Típka, Ph.D., katedra betonových a zděných konstrukcí FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Martin Típka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma vliv prostupů na protlačení železobetonových lokálně podepřených desek zpracoval samostatně za pomoci všech uvedených zdrojů, dosud získaných znalostí a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce.

V Praze dne:

.....

Hotěk Petr

## **Poděkování**

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Típkovi, Ph.D. Děkuji za četné, dlouhé a ochotné konzultování. Děkuji mu za jeho odborné rady a pomoc v nejtěžších chvílích.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vlivem otvorů na protlačení lokálně podepřené desky. V první části jsou shrnuty možnosti lokálního podepření desky a užívané výpočetní metody pro stanovení jejího namáhání. Dále je vysvětlen postup ověření desky v protlačení a krátce přiblíženy hlavní rozdíly ve výpočtu mezi postupem uvedeným v ČSN EN 1992-1-1 a metodikou ETA. V poslední řadě jsou shrnuty typy výztuže na protlačení.

Prostřední část práce tvoří parametrická studie vlivu otvorů na průběh výpočtu ověření desky v protlačení a následný návrh smykových trnů. Hlavní proměnnou ve výpočtu je geometrie otvorů a jejich umístění. Zároveň je sledována změna vyztužení této oblasti kolem sloupu na protlačení.

V konstrukční závěrečné části práce je navržena lokálně podepřená deska s otvory, která se nachází na již existující stavbě. Je provedena podrobná analýza konstrukce a deska je ověřena na protlačení. Výsledkem je návrh výztuže na protlačení společně s uvedením dalších možností řešení.

## **Klíčová slova**

železobeton, lokálně podepřená deska, protlačení, otvory, únosnost

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the influence of openings on flat slab in punching shear. The first part summarizes the possibilities of local supporting of flat slabs and possible design methods. The process of slab verification in punching shear is explained and the main differences in the calculation between the process specified in ČSN EN 1992-1-1 and the ETA methodology are shown. The types of punching reinforcement are summarized.

The middle part of thesis is parametric study of openings effect on calculation and verification of flat slabs in punching shear. The main variables of this study are openings geometry and openings location. Difference in reinforcement of slab in the area near the column is also controlled.

The last part of thesis is focused on the analysis of flat slab with openings in real building. The detailed analysis of construction is performed, and the slab is verified in punching shear. The results are punching shear reinforcement design and showing of other possibilities of solution.

## **Keywords**

reinforced concrete, flat slab, punching shear, openings, load capacity

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Rešerše lokálně podepřených desek.....</b>	<b>10</b>
2.1	Geometrie a statické působení lokálně podepřených desek .....	10
2.2	Výhody a nevýhody systému .....	11
2.3	Lokálně podepřené desky s hlavicemi.....	12
2.3.1	Wünschovi hlavice .....	15
2.4	Postupy výpočtu lokálně podepřených desek.....	16
2.4.1	Zjednodušené metody .....	16
2.4.2	Obecné metody .....	18
2.5	Protlačení lokálně podepřených desek .....	19
2.5.1	Stanovení kontrolovaných obvodů .....	20
2.5.2	Stručný postup návrhu prvku na protlačení .....	23
2.5.3	Stanovení účinků smykového napětí.....	24
2.5.4	Protlačení lokálně podepřených desek dle metodiky ČSN EN 1992-1-1.....	25
2.5.5	Součinitel nesymetrického zatížení styčné plochy .....	28
2.5.6	Návrh výztuže a konstrukční zásady dle ČSN EN 1992-1-1.....	30
2.5.7	Výztuž na progresivní kolaps .....	32
2.5.8	Vliv prostupů na výztuž .....	32
2.5.9	Metodika ETA.....	34
2.6	Typy výztuže na protlačení .....	36
2.6.1	Smykové trny.....	36
2.6.2	Ohyby.....	38
2.6.3	Třmínková výztuž.....	38
<b>3</b>	<b>Vliv geometrie otvorů na protlačení lokálně podepřené desky.....</b>	<b>40</b>
3.1	Schéma konstrukce.....	40
3.2	Referenční konstrukce .....	42
3.3	Výsledky posudků a schémata vyztužení pro různé pozice otvorů.....	44
3.3.1	Výsledky posudků na pozici 1 .....	44
3.3.2	Schéma vyztužení na pozici 1 .....	45
3.3.3	Výsledky posudků na pozici 2 .....	46
3.3.4	Schéma vyztužení na pozici 2 .....	47
3.3.5	Výsledky posudků na pozici 3 .....	48
3.3.6	Schéma vyztužení na pozici 3 .....	49
3.4	Vyhodnocení studie .....	50

<b>4</b>	<b>Analýza konstrukce na reálné stavbě .....</b>	<b>54</b>
4.1	Stručný popis stavby.....	54
4.2	Předběžný návrh nosných prvků .....	55
4.3	Analýza lokálně podepřené desky v objektu .....	56
4.3.1	Návrh a posouzení ohybové výztuže desky .....	57
4.3.2	Výztuž na protlačení.....	59
4.3.3	Možnosti optimalizace návrhu.....	62
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>66</b>

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Statický výpočet a návrh výztuže na protlačení

Příloha 2: Schémata vyztužení



# 1 Úvod

Bakalářská práce se bude zabírat analýzou a objasněním problematiky vlivu prostupů na protlačení u lokálně podporovaných desek.

V dnešní době se využití lokální podpory desky značně zvyšuje. K využití této varianty podpory může dojít buď pouze v určité části objektu, kdy nezbývá jiné řešení, nebo v celém objektu v rámci sloupového systému. Obecně se využívá u administrativních budov, občanských staveb či bytových domů. Hlavní výhodou tohoto systému je uvolnění vnitřní dispozice objektu, kdy může projektant následně libovolně umístit další nosné prvky či dělicí konstrukce. Za zmínku také stojí zjednodušení provedení celé konstrukce při stavbě z hlediska jejího tvaru, kdy nedochází k výskytu složitějších tvarů. Při lokálním podepření desky je podhled rovný a nedochází k omezení světlé výšky místností. Zároveň vzniká možnost využití podstropního prostoru pro rozvody TZB. Jedním ze základních problémů při návrhu a posouzení lokálně podporované desky jsou prostupy stropní konstrukce a to zejména v blízkosti podpor. Tyto otvory slouží většinou pro vedení TZB či jiných sítí nebo jako prostor pro schodiště či výtah, výjimečně pak jako architektonický záměr. Velikost, počet či umístění prostupů zásadně ovlivňuje statické působení konstrukce a značně ovlivňuje její návrh.

Cílem práce je zjistit a určit, jak moc dochází k ovlivnění výpočtu a následného posouzení na protlačení lokálně podporované desky, pokud se mění velikost prostupů a jejich umístění.

V první části je přiblížen návrh a posudek lokálně podporované desky dle norem a dostupných materiálů z obecného hlediska.

V druhé části jsou řešeny různé varianty umístění prostupů s variováním jejich velikosti. Zároveň je uvedena podrobná analýza každého řešeného problému s podrobným výpočtem. V závěru je uvedeno vyhodnocení celé studie. K analýze jsem využil mnou smyšlenou konstrukci, do které jsem umístil prostupy na různé pozice

Ve třetí a zároveň poslední části je řešen návrh reálné konstrukce se zaměřením na posudek lokálně podporované desky s vlivem prostupů na protlačení.

## 2 Rešerše lokálně podepřených desek

### 2.1 Geometrie a statické působení lokálně podepřených desek

Před vlastním návrhem lokálně podepřené konstrukce je nutné si vyjasnit základní geometrii, možné typy a možnosti provedení. V závislosti na tom se volí vhodná návrhová metoda.

Z hlediska statického působení můžeme lokálně podepřené desky zařadit mezi konstrukce působící v obou směrech, kdy po zatížení kolmo ke střednicové ploše vzniká průhybová plocha dvojí křivosti. Je nutno poznamenat, že zatížení se nerozkládá poměrově do směrů, ale oba směry přebírají plné zatížení, které na konstrukci působí. Finální výsledek průhybů a tedy deformace desky se určí jako součet deformace vzniklé v jednom i druhém směru. [7]

Rozpětí železobetonových lokálně podepřených desek se zpravidla pohybuje v rozmezí 5 až 9 m. Pokud dojde k vylehčení desky pomocí kazet či dutin, mohou být realizovány o rozpětí okolo 12 m [8]. Vylehčení kvůli přenosu zatížení v místě styku sloup – deska se provádí pouze v poli. Z konstrukčního hlediska je třeba říci, že tloušťka desky musí být větší jak 200 mm z důvodu možnosti umístění smykové výztuže, respektive jejímu kotvení. Tloušťka 200 mm platí pro návrh dle ČSN EN 1992-1-1. Pokud bychom ale návrh prováděli podle metodiky ETA, může se tloušťka snížit až na 180 mm [6].

Obecně se dá říci, že tento typ stropní konstrukce přenesou poměrně velká zatížení. V případě působení většího lokálního nebo liniového břemene, je možné využít hřibové hlavice, která pak činí celý návrh staticky výhodnějším a tedy hospodárnějším [7].

Stabilita objektu tvořeného lokálně podepřenými stropy musí být zajištěna ztužujícími stěnami nebo železobetonovým jádrem. Tím se zajistí ztužení ve vodorovném směru. Stabilitu ve svislém směru zajišťují samotné sloupy s možností aplikace hlavic. [8] Zásadní vliv na působení lokálně podepřených desek mají prostupy konstrukcí. Dochází k usměrňování toku napětí v konstrukci a zvýšení namáhání lokálních míst. Většinou se jedná o šachty pro TZB nebo otvory pro výtahový prostor [8].

## 2.2 Výhody a nevýhody systému

Lokálně podporované desky mají několik velmi důležitých a z konstrukčního hlediska zajímavých výhod. Základní charakteristikou je rovný podhled bez přidaných trámů, které jsou v běžné konstrukci se sloupy přítomny a nedochází tedy k omezení světlé výšky vnitřních prostorů - viz Obrázek 1. Tudíž je možno tento prostor využít pro vedení instalací a sítí TZB bez problémů, které se obyčejně vyskytují. Tím, že nedochází k užití dalších nosných svislých prvků se uvolní vnitřní dispozice a zvýší se variabilita uspořádání vnitřních dělících konstrukcí. Další z výhod je jednoduchý geometrický tvar konstrukce [9]. Deska, která nasedá na sloupy, nepředstavuje z hlediska realizace a výstavby žádný problém. Protože se v místě styku sloup – deska většinou jedná o pravé úhly nebo úhly přijatelné bez rozmanitých tvarů, dá se jednoduše vybednit. Co se týče nevýhod, lokálně podepřená deska je velmi náchylná na jakákoliv bodová či liniová zatížení jako je například schodiště [8]. Ztužení objektu musí zajistit dodatečné prvky. V našem případě je do systému vhodné zakomponovat ztužující jádro či nosné, tuhé stěny a tím zvýšit celkovou tuhost a stabilitu konstrukce ve vodorovném směru, což je základním předpokladem celého návrhu [7].

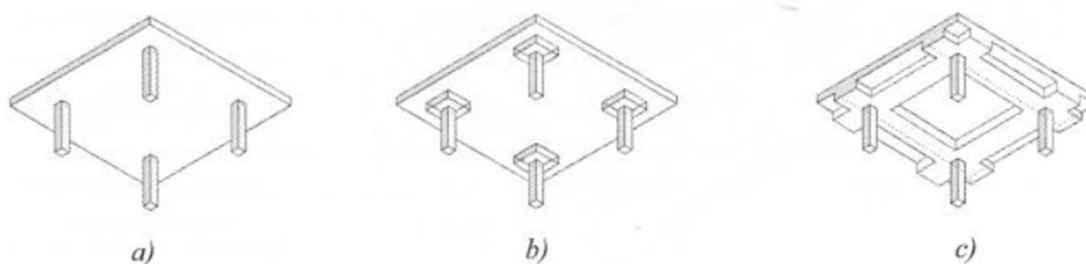


Obrázek 1 - Uvolnění vnitřní dispozice knihovny v Glaspaleis [19]

## 2.3 Lokálně podepřené desky s hlavicemi

Z hlediska možností podoby máme celkem 3 základní rozdělení - viz Obrázek 2, které se dají provést různými způsoby. Ačkoliv samotná deska mívá ve většině případů konstantní tloušťku, může dojít užitím pomocných průvlaků či hlavic k její změně. Prvním případem lokálně podepřené desky je tzv. bezhlavicová deska – viz Obrázek 2a, kde nedochází ke změně její tloušťky v místě podepření. Další možností je užití kónických nebo deskových hlavic – viz Obrázek 2b. Poslední variantou je zesílení pomocí deskových ztužujících průvlaků v jednom nebo obou směrech – viz Obrázek 2c. Ztužujícím průvlakem neboli trámem. Je na mysli plochý liniový prvek, který dle své tuhosti napomáhá přenosu zatížení do lokální podpory, což v našem případě může být sloup nebo velmi krátká stěna [6].

Návrh hlavic se provádí za účelem rozšíření podpory v místě uložení desky na sloup. Tím se výrazně usnadní přenos zatížení a zároveň se rozloží působení zatížení. Při návrhu hlavice máme celkem dvě možnosti. První z nich je hlavice skrytá a ta druhá je hlavice viditelná [6].



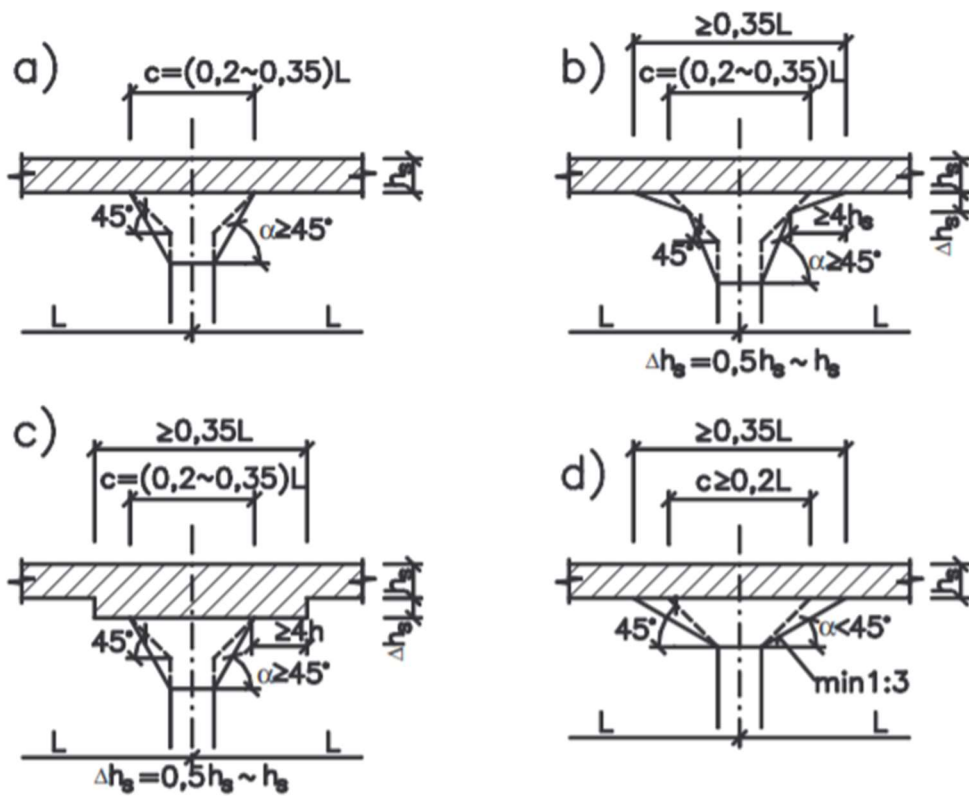
Obrázek 2 - Typy dělení lokálně podporovaných desek:

a) bezhlavicová, b) s hlavicí, c) s trámem [6]

Pro realizaci lokálně podepřených desek se používají následující typy viditelných hlavic [6]:

- Hřibová hlavice jednoduchá – vyskytuje se ve tvarech jehlanu či komolého kužele a dochází k zesílení sloupu – viz Obrázek 3a
- Hřibová hlavice lomená – vizuálně nejvýraznější, kdy dochází ke kombinaci šikmého náběhu a jednoduché hřibové hlavice – viz Obrázek 3b
- Hřibová hlavice se zesilující deskou – kombinace základní jednoduché hřibové hlavice a zesilující desky – viz Obrázek 3c
- Hřibová hlavice plochá – sklon povrchových přímek je v tomto případě  $\alpha < 45^\circ$ , architektonicky zajímavější – viz Obrázek 3d

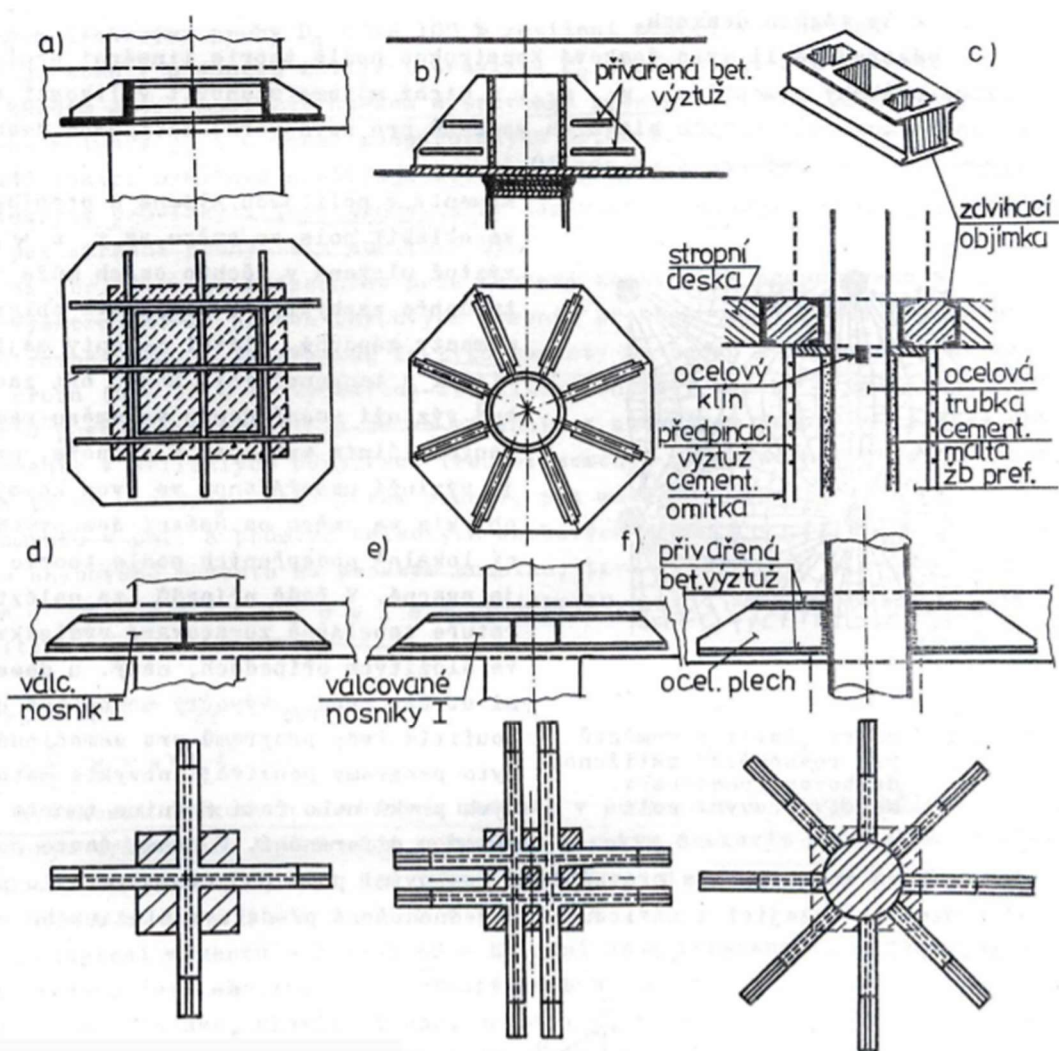
U viditelných hlavic je důležité zmínit tzv. účinnou část viditelné hlavice. Jedná se o výsek z hlavice, který má tvar kuželu či jehlanu se sklonem povrchových přímk 45°. Půdorysný rozměr této účinné části se značí písmenem  $c$  a pohybuje se mezi 20 % až 35 % podporovaných deskových polí – viz Obrázek 3. Účinná část se následně promítne do statického výpočtu. Hřibové hlavice se užívají při vyšších užitných zatíženích, kdy platí  $q_k > 10 \text{ kN/m}^2$  [8].



Obrázek 3 - Typy viditelných hlavic [8]

### Provedení hlavic bezhřibových (skrytých) [8]:

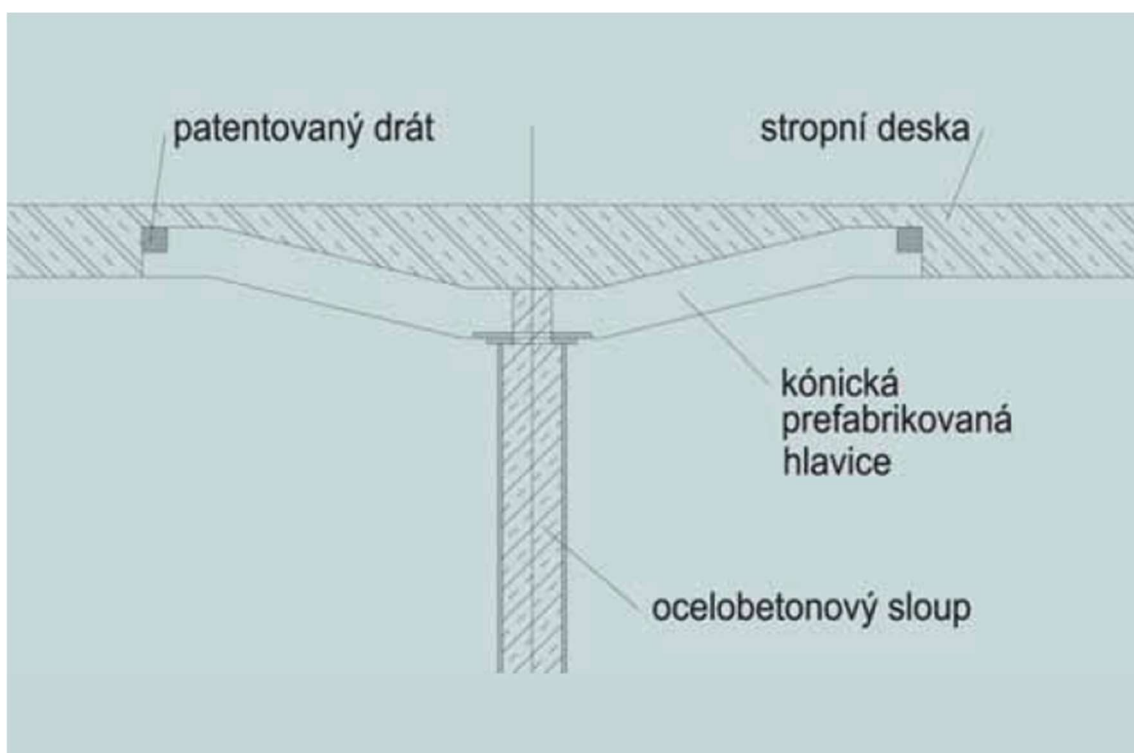
- Manžetové - viz Obrázek 3 a,b,c – nemají velký vliv na ohybovou únosnost desky, tvořeny řádně svařenou a tuhou manžetou menších půdorysných rozměrů, efektivně zvětšuje kritický průřez desky v protlačení za obvod manžety
- Roštové a žebrové - viz Obrázek 4 a,b,c – roštové jsou tvořeny křížem uloženými válcovanými profily, žebrové z trubky a žeber, oba typy přispívají k ohybové tuhosti a zlepšují poměry v uložení ve spoji
- Kruhové z předpjatého betonu – využití předepnutí, hojně využívány v minulosti



Obrázek 4 - Typy skrytých hlavic [7]

### 2.3.1 Wünschovi hlavice

Speciálním případem hlavice pro lokálně podepřenou desku jsou tzv. Wünschovi hlavice - viz Obrázek 5. V minulosti bylo této metody užito například u rekonstrukce budov, kdy došlo ke zvýšení užitného zatížení v podlaží, které bylo lokálně podepřeno sloupem, a tak bylo nutné znovu posoudit konstrukci na nové zatížení a případně navrhnout nutná opatření. V rámci nového návrhu bylo určeno, že původní tloušťka desky má být navýšena například o 160 mm. Aby k tomu mohlo dojít, muselo se zajistit řádné spřažení desky stávající a nové. To bylo dosaženo úpravou povrchů frézováním a otryskáním vysokotlakým proudem a došlo tedy k úpravě tzv. hrubosti povrchu. Co se týče spřažení, bylo užito prvků Hilti – HCC-B a smykových trnů. K propojení nabetonávky a stávající desky pak došlo v celé ploše k užití lepené výztuže. Do nabetonované vrstvy byla vložena výztuž ve formě tahové výztuže a ocelových nosníků, které zvýšily únosnost v ohybu a protlačení. Důležité je zmínit, že při rekonstrukci je třeba zjistit stav výztuže stávající konstrukce a návrh tomu přizpůsobit. Na závěr je třeba podotknout, že kritické místo už dále nebyl styk hlavice a desky, ale výztuž při spodním okraji. [14]



Obrázek 5 - Wünschova hlavice se stropní deskou [14]

## 2.4 Postupy výpočtu lokálně podepřených desek

Pro stanovení vnitřních sil lze použít zjednodušené nebo obecné výpočetní metody.

### 2.4.1 Zjednodušené metody

#### Metoda součtových momentů

Pro metodu součtových momentů platí stejné podmínky, které platí pro zjednodušené metody obecně. Dále musíme uvažovat také následující podmínky [7]:

- Konstrukce se skládá v obou směrech alespoň ze 3 deskových polí
- Odchylka sloupů od kolmé osy a desku není vyšší než 10%
- V hlavním směru se rozpětí polí smí lišit o maximálně 1/3 pole kratšího
- Uvažujeme pouze svislé zatížení, kdy proměnné zatížení nepřesahuje dvojnásobek zatížení stálého (charakteristické hodnoty)
- Stanovené výsledky se nesmí dále upravovat (redistribuce momentů)
- Výpočet probíhá na ve dvou sloupových řadách, které se kříží
- Jako materiál konstrukce uvažujeme železobeton

Ve chvíli, kdy dokončíme výpočet celkového součtového momentu, můžeme se vrhnout na vyčíslení kladného či záporného celkového momentu. Na začátku je třeba si určit, zda se jedná o vnitřní či vnější pole systému [7].

Rozdělení součtových momentů na horní a spodní se provede pomocí součinitelů  $\gamma$ , které jsou uvedeny v níže – viz Tabulka 1.

Tabulka 1 - Hodnoty  $\gamma$  pro určení celkového kladného či záporného momentu pro krajní pole [6]

	Hodnoty $\gamma$ pro krajní pole deskového pásu pokud,				
	Okraj desky krajního deskového pole prostě uložen na zdi	Deska má ztužující trámy ve všech sloupových pruzích	Deska nemá vnitřní ztužující trámy		Okraj desky krajního deskové pole vetknut
			Bez okrajového ztužujícího trámu	S okrajovým ztužujícím trámem	
Celkový záporný moment u krajní podpory	0	0,16	0,26	0,30	0,65
Celkový kladný moment v krajním poli	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Celkový záporný moment u první vnitřní podpory	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65



### Metoda Náhradních ráků

Ačkoli se metoda náhradních ráků bude zdát totožná nebo velice podobná metodě součtových momentů, její výpočet je více obecný a není tedy omezen tolika podmínkami.

Narozdíl od metody součtových momentů se jedná o obecnější metodu. V prvním kroku se konstrukce rozdělí na tzv. náhradní ráky. Pokud nejsou splněny podmínky pro řešení náhradních ráků, jedná se o tzv. náhradní spojité nosníky. Zásadní vliv na výpočet má vodorovné zatížení, primárně účinek větru. [8]

Následuje vlastní výpočet. Na počátku výpočtu se vždy výsek konstrukce rozdělí na sloupový a střední pruh. V těchto pruzích potom dojde ke konkrétnímu určení záporných a kladných momentů. U každého z těchto pruhů můžeme uvažovat  $\omega$ -násobek momentů kladných či záporných dle následující tabulky – viz Tabulka 2. [8]

Tabulka 2 - Hodnoty  $\omega$  udávající poměrné kladné a záporné momenty pro sloupový pruh [2]

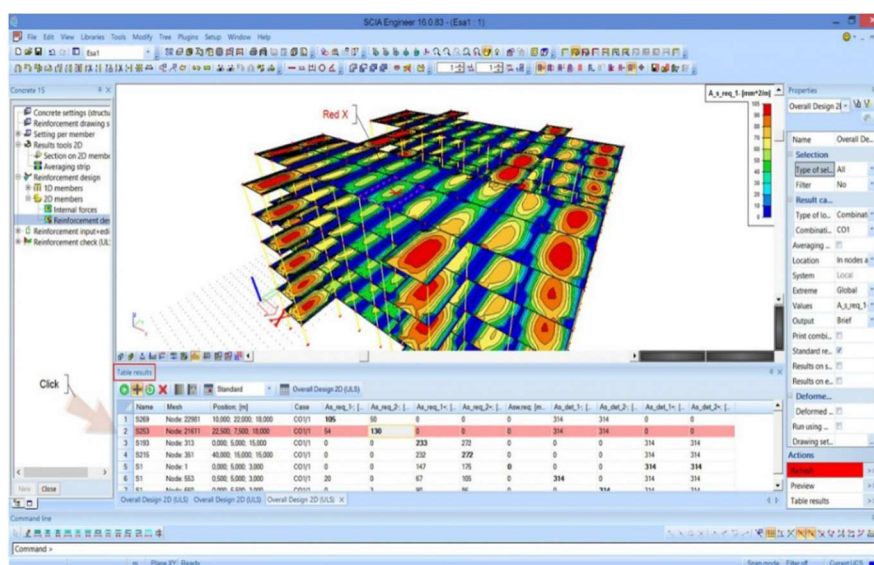
Moment	Průřez	$\alpha_{l_2/l_1}$		$\omega$ pro $l_1/l_2$		
				0,5	1,0	2,0
záporný	V krajní podpoře	$\alpha_{l_2/l_1} = 0$	$\beta_t = 0$	1,00	1,00	1,00
			$\beta_t \geq 2,5$	0,75	0,75	0,75
		$\alpha_{l_2/l_1} \geq 0$	$\beta_t = 2,5$	1,00	1,00	1,00
			$\beta_t \geq 2,5$	0,90	0,75	0,45
	V střední podpoře	$\alpha_{l_2/l_1} = 0$		0,75	0,75	0,75
		$\alpha_{l_2/l_1} \geq 0$		0,90	0,75	0,45
Kladný	V poli	$\alpha_{l_2/l_1} = 0$		0,60	0,60	0,60
		$\alpha_{l_2/l_1} \geq 0$		0,90	0,75	0,45

## 2.4.2 Obecné metody

Ve chvíli, kdy dojde na konstrukci k výskytu složitějších konstrukčních detailů nebo se konstrukce stane příliš nepravidelnou, dochází k užití obecných metod. Výpočetní model je obecnější, a tudíž nedochází k omezení velkým počtem podmínek, jako například u zjednodušených metod. Postup je náročnější na numerickou analýzu i na čas. Dá se ovšem aplikovat na jakýkoliv typ konstrukce. Na konci dostáváme velice přesné a výstižné výsledky. Na začátku je vždy velice důležité zvolit ten nejvhodnější a co možná nejjednodušší výpočetní model a je nutné vědět, jak pracuje a jaké od něj můžeme čekat výsledky. Při užití prostorových výpočetních modelů dochází většinou k výseku konstrukce v rozsahu dvou pater, na kterých potom provede analýzu. Stěžejní část celého postupu je určit základní okrajové podmínky pro výpočet mezi které patří například pootočení. [7]

Mezi obecné metody patří následující [7]:

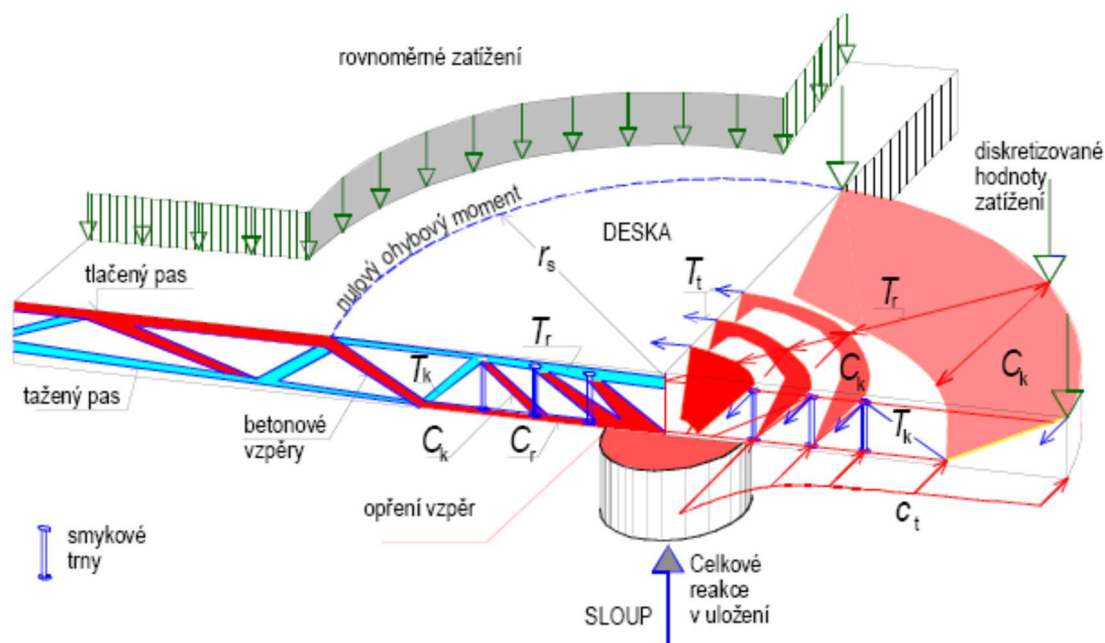
- teorie desek a desková rovnice – výpočet se aplikuje na tenké desky za užití složité diferenciální rovnice čtvrtého řádu, tzv. Kirchhoffovy rovnice
- metoda sítí – pokrývá celou konstrukci sítí o definované velikosti ok, výpočtem diferenčních algebraických rovnic dostáváme tzv. redukovaný průhyb, na základě průhybů v uzlových bodech se následně spočte soustava rovnic a vyčíslí napětí a vnitřní síly
- metoda konečných prvků (MKP) – využívána především výpočetní technikou, určí se typ problému, potom se sestaví matice tuhosti, které se následně řeší, na konci se vyčíslí vnitřní síly, napětí a deformace



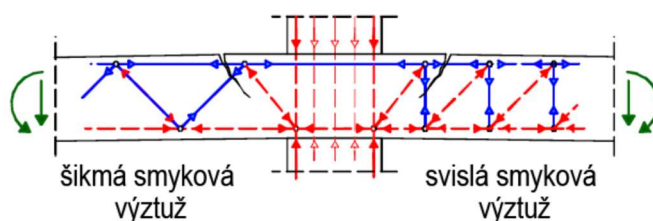
Obrázek 6 - Výpočetní model konstrukce analyzován v programu SCIA Engineer pomocí MKP [20]

## 2.5 Protlačení lokálně podepřených desek

Pokud bychom měli zkráceně definovat protlačení, jedná se o způsob smykového porušení podepřené desky v okolí podpory. V našem případě se jedná o plochu průřezu sloupu či krátké stěny, kterou můžeme označit jako  $D$  – oblast. Je to poruchová oblast, ve které dochází k přenosu zatížení mezi deskou a styčnou plochou. Obecně platí, že v  $D$  oblastech neplatí Bernoulliho hypotéza. Při výpočtu lze poruchovou oblast převést na model náhradní příhradoviny – viz Obrázek 7 a 8. Model se mění podle typu a množství výztuže a má základ v předpokladu poškození desky protlačním, které si můžeme zjednodušeně představit jako poruchovou trhlinu, která má většinou tvar kruhu či oválu a vzniká v určité vzdálenosti od sloupu a kopíruje polohu tzv. kontrolovaného obvodu. Únosnost desky v protlačení se ověřuje v tzv. kontrolovaných obvodech, které představují určitou a jasně definovanou vzdálenost od líce podpory. Vzdálenost je stanovena pomocí výpočtu, kterému se budeme v dalších kapitolách věnovat. [6]



Obrázek 7 - Model náhradní příhradoviny ve 3D provedení [9]



Obrázek 8 - Zjednodušený řez konstrukcí a vykreslení příhradového modelu [9]

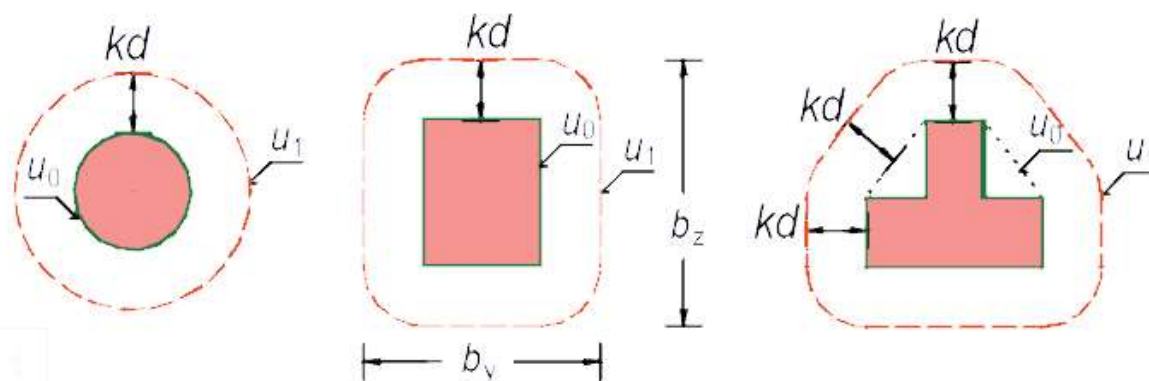
### 2.5.1 Stanovení kontrolovaných obvodů

Obvody uvažujeme během posouzení desky na protlačení a návrhu smykové výztuže a jejího ověření celkem tři –  $u_0, u_1, u_{out}$ .

První z nich uvažujeme obvod  $u_0$ . Stanoví se jako obvod průřezu uvažované svíslé konstrukce – viz Obrázek 9. V obvodu  $u_0$  se ověřuje únosnost tlakové diagonály. Tím zjistíme, zda je posuzovaná oblast vhodně navržena z hlediska geometrie [9].

Obvod  $u_1$ , tzv. základní kontrolovaný obvod, se uvažuje zpravidla ve vzdálenosti  $2d$  od líce sloupu či stěny, kde  $d$  je účinná výška průřezu desky. Podle ČSN EN 1992-1-1 se sestrojí tak, aby byl co nejkratší. Vzdálenost  $2d$  je považována za místo kritické smykové trhliny. V rámci stanovení kontrolovaného obvodu může dojít k neobvyklým situacím, které je třeba při jeho výpočtu zohlednit. Jedná se hlavně o otvory a nadměrné rozměry sloupu či stěny – viz Obrázek 10. Ověřením podmínky v obvodu  $u_1$  zjistíme, zda je v tomto obvodě zapotřebí výztuže k přenosu smykového zatížení. Pokud by totiž podmínka nevyhověla, nemusíme teoreticky tuto oblast vyztužovat [6].

Posledním obvodem, ve kterém dochází k ověření, je obvod  $u_{out}$ . Hranice obvodu nám určuje vzdálenost, ve které už není potřebná výztuž na protlačení. Poslední výztuž se pak nachází ve vzdálenosti  $1,5d$  od hrany obvodu  $u_{out}$ . [11]



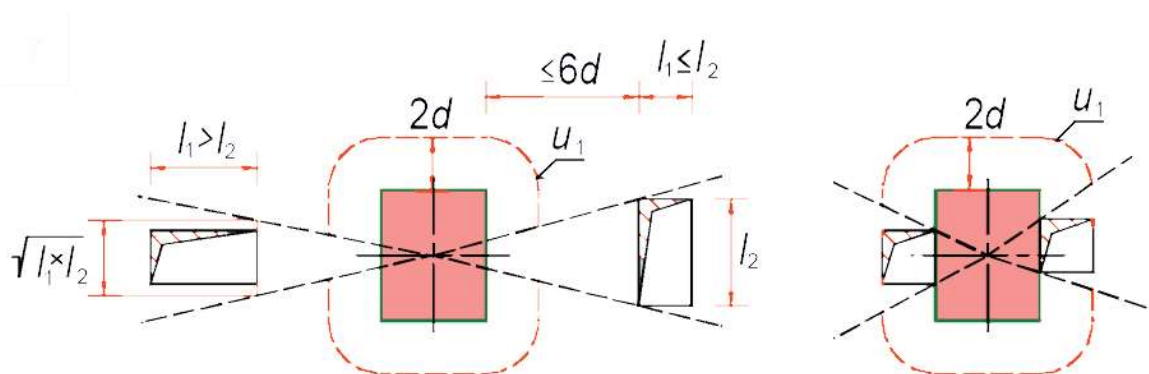
Obrázek 9 - Kontrolované obvody  $u_0$  a  $u_1$  [11]

#### Otvory a okrajové sloupy

Kontrolované obvody se redukuje, pokud jsou ve vzdálenosti menší nebo rovné než  $6d$  od líce styčné plochy umístěny prostupy.

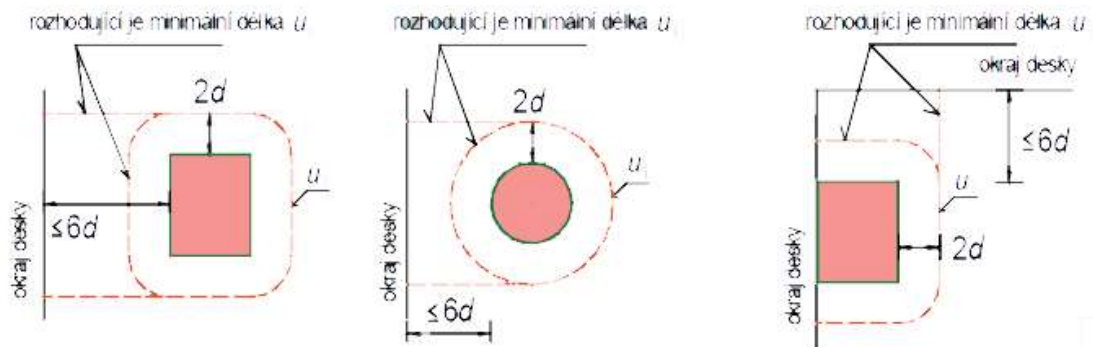
Nachází-li se otvor ve vzdálenosti větší než  $6d$  o líce, nemá tento otvor na délku kontrolovaných obvodů vliv. Text normy uvádí, že ke zmenšení délky nedochází v případě, kdy redukce obvodu dána součtem odečtených délek  $\Delta u_{cr}$  není větší než menší z hodnot tloušťky

desky nebo poloviny délky strany úložné plochy podporujícího prvku [1]. V případě, že dojde o uplatnění první věty postupujeme následujícím způsobem, který je vyobrazen – viz Obrázek 10. Jedná se o vodorovný řez konstrukcí. Na obrázku vidíme zakreslené prostupy stropní konstrukcí, které se vyskytují v menší vzdálenosti než  $6d$  od líce podpory. Následovně spojíme střed podpory s nejbližšími vrcholy obrazce prostupů. Výseče, které nám protnou stanovený obvod  $u_1$ , zároveň vymezují délku obvodu, kterou je třeba od plné hodnoty odečíst, což je ze schématu patrné. Při konstruování výseče se ještě zohledňují rozměry prostupu  $l_1$  a  $l_2$  – viz Obrázek 10. Ze středu podpory se udělají tečny k otvorům. Pokud platí podmínka  $l_1 \leq l_2$ , pak se omezí délka obvodu o úsek mezi tečnami. Když bude platit  $l_1 > l_2$ , tak potom se tečna neprovede přesně na otvor, ale uvažuje se rozšíření délky otvoru v podobě  $\sqrt{l_1 l_2}$ . Tato délka zahrnuje délku otvoru a připočítanou rezervu – viz Obrázek 10 [12].



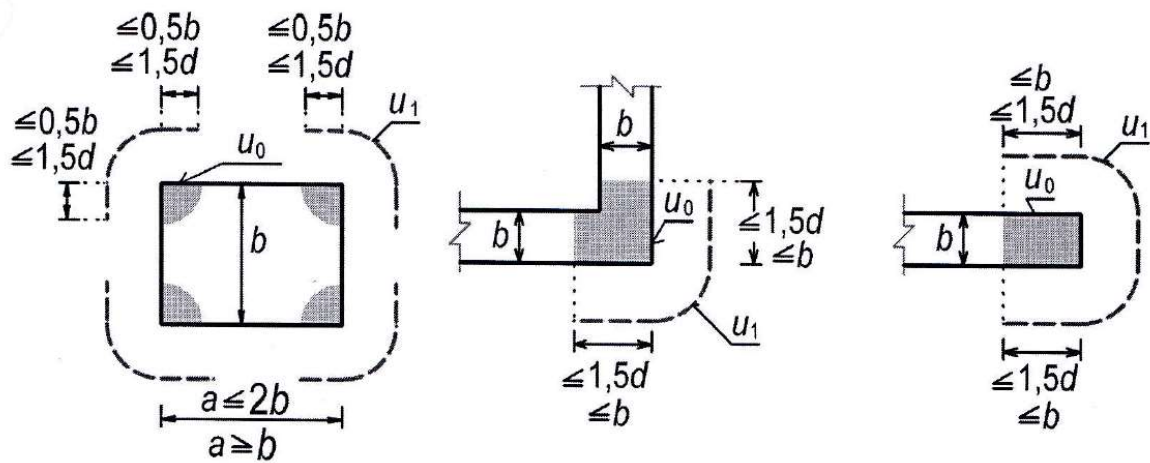
Obrázek 10 - Vliv otvorů na délku kontrolovaných obvodů [12]

Zvláštní případ nastává ve chvíli, kdy při stanovení kontrolovaného obvodu uvažujeme sloup v blízkosti okraje desky nebo v rohu konstrukce. Obvod se potom redukuje tak, že pokud se okraj desky nachází ve vzdálenosti menší než  $6d$  od líce styčné plochy, dochází ke změně jeho tvaru i délky – viz Obrázek 11. V tomto případě se uvažuje nejkratší spojnice k volnému okraji. [6]



Obrázek 11 - Kontrolovaný obvod sloupu na okraji nebo v rohu desky [12]

Při větších rozměrech průřezu podpor dochází ke koncentraci smykového namáhání v rozích podpory. Potom se kontrolované obvody určí – viz Obrázek 12.



Obrázek 12- Kontrolovaný obvod u nadměrných rozměřů sloupu či stěny [6]

### 2.5.2 Stručný postup návrhu prvku na protlačení

- Posouzení smykové únosnosti tlakové diagonály v obvodu  $u_0$ , tedy v líci podpory, nutné splnění podmínky  $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ , kdy  $V_{Rd,max}$  je únosnost v protlačení v kontrolovaném obvodu  $u_0$ .
- Ověření únosnosti v protlačení bez smykové výztuže v obvodu  $u_1$ , kdy je zapotřebí splnit podmínku  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ , kdy  $V_{Rd,c}$  značí únosnost v protlačení prvku bez výztuže. Pokud podmínka nevyhoví, je nutné navrhnout výztuž na protlačení
- Pokud tyto dvě podmínky vyhoví, ověří se ještě stejná podmínka jako v kroku 2, která je obměněna o součinitel  $k_{max}$ , což je součinitel maximální smykové únosnosti a zohledňuje zakotvení a umístění výztuže na protlačení.  
Vypadá následovně  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c} k_{max}$   
Pokud tato podmínka nevyhoví, není možné řádně zakotvit a tedy navrhnout výztuž na protlačení. Pak se musí upravit geometrie konstrukce.
- Dalším krokem je návrh smykové výztuže a stanovení potřebné plochy výztuže.
- Výpočet obvodu  $u_{out}$ , který stanovuje vzdálenost od líce sloupu, ve které již není třeba umístění výztuže na protlačení. Podle ČSN EN 1992-1-1 je poslední smyková výztuž ve vzdálenosti  $1,5d$  od líce podpory.
- Stanovení množství výztuže. Tím myšleno – počet řad, vzdálenosti mezi výztuží, její rozmístění a vlastní profil výztuže.
- Kontrola konstrukčních zásad a ověření únosnosti s navrženou výztuží. [12]

#### Možnosti opatření:

- Zvětšit tloušťku desky
- Zvětšit rozměry sloupu
- Zvýšit třídu betonu
- Navrhnout hlavici
- Navrhnout zesilující prvky v oblasti sloupu

### 2.5.3 Stanovení účinků smykového napětí

V rámci posouzení konstrukce na protlačení je nutné vyčíslit, jaké smykové napětí vzniká v jednotlivých kontrolovaných obvodech.

Hodnota smykového napětí se vypočte dle vztahu (2.1) [6]

$$v_{Ed,i} = \frac{V_{Ed}\beta}{u_i d}, \quad (2.1)$$

- kde  $\beta$  je součinitel zohledňující vliv nesymetrického zatížení  
 $V_{Ed}$  je smyková síla vyvolaná svislým zatížením  
 $u_i$  je délka kontrolovaného obvodu  
 $d$  je účinná výška železobetonové desky

Do výpočtu vstupují celkem 4 neznámé. Hlavním vstupem do výpočtu je smyková síla vyvolaná svislým zatížením. Velikost hodnoty síly se odvíjí od stálého a hlavně užitného zatížení daného podlaží. Jedná se o maximální návrhovou hodnotu, která je v oblasti sloupu vypočtena. Druhou neznámou je součinitel nesymetrického zatížení  $\beta$ , který zohledňuje vliv síly působící excentricky vzhledem k těžišti průřezu. Můžeme ho určit buď z tabulky, kterou udává norma ČSN EN 1992-1-1, nebo se dá vypočítat. Výpočet je podrobně zpracován v kapitole 2.5.5 Další je délka kontrolovaného obvodu  $u_i$ . Při výpočtu se řídíme pravidly uvedenými v kapitole 2.5.1 Zkráceně můžeme říci, že jeho délka je ovlivněna průřezem a rozměry sloupu, účinnou výškou desky, umístěním sloupu a případnými otvory. Poslední neznámou je účinná výška desky  $d$ . Hodnota je ve výpočtech vždy určena jako průměr ze dvou hodnot účinné výšky desky ve směru x a y, které se odvíjí od krycí vrstvy a průměru uvažované výztuže. [6]



## 2.5.4 Protlačení lokálně podepřených desek dle metodiky ČSN EN 1992-1-1

Postup výpočtu uvedený v normě ČSN EN 1992-1-1 podrobněji rozepisuje všechny body uvedené ve stručném postupu výpočtu, který je uveden v předcházející kapitole.

Norma na počátku kapitoly uvádí podrobné výpočty a popis všech neznámých týkající se stanovení hodnoty návrhové únosnosti uvažované pro betonový průřez bez výztuže a maximální návrhové únosnosti. Jako první se budeme zabývat návrhovou únosností bez výztuže.

$$v_{Rd,c} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_c} k \times \sqrt[3]{100\rho_1 f_{ck}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \quad (2.2)$$

kde  $k$  je součinitel zohledňující tloušťku desky spočtený ze vztahu (2.3)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (2.3)$$

$\rho_1$  je stupeň vyztužení spočtený jako odmocnina z násobku stupňů vyztužení ve směrech  $y$  a  $x$ , pro který platí, že musí být menší než 2%

$f_{ck}$  je charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku uváděna v MPa

$\sigma_{cp}$  je celkové napětí v kritickém průřezu spočtené dle vzorce (2.4)

$$\sigma_{cp} = \frac{(\sigma_{cy} + \sigma_{cz})}{2}; \sigma_{ci} = \frac{N_{Edi}}{A_{ci}} \quad (2.4)$$

,kde  $N_{Edi}$  je normálová síla vyvolaná zatížením nebo předpětím a  $A_{ci}$  je průřezová plocha betonu v kontrolovaném obvodu

$v_{min}$  součinitel ovlivněný hodnotou  $k$  a  $f_{ck}$ , spočtený dle vzorce (2.5)

$$v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} \quad (2.5)$$

Návrhová únosnost bez výztuže  $v_{Rd,c}$  je především závislá na pevnostní třídě betonu. Ze vztahu (2.5) je patrné, že zároveň zásadně ovlivní výpočet  $v_{min}$ . Dále také závisí na tloušťce desky, což se projeví hlavně ve výpočtu součinitele  $k$ . Dalším vstupním parametrem je uvažovaný stupeň vyztužení podélnou výztuží  $\rho_1$ , který se spočte jako odmocnina součinu stupňů vyztužení tahové výztuže ve směry  $y$  a  $x$ . Výpočet nám může také změnit případné předpětí. Součinitele  $C_{Rd,c} = 0,18$ ,  $\gamma_c = 1,5$  a  $k_1 = 0,10$  jsou hodnoty dané [6].

Únosnost tlačené diagonály je dána vztahem:

$$v_{Rd,max} = 0,4v f_{cd} \quad (2.6)$$

kde  $f_{cd}$  je návrhová pevnost betonu v tlaku udávaná v MPa

$v$  je redukční součinitel uvažovaný při porušení betonu smykem dle vztahu (2.7)

$$v = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (2.7)$$

Únosnost tlačené diagonály závisí především na návrhové pevnosti betonu v tlaku a na redukčním součiniteli pevnosti betonu při porušení smykem, který je závislý na charakteristické pevnosti betonu v tlaku. Vztah na výpočet redukčního součinitele je uveden výše. [6]

Dále se uvažuje kontrola podmínek, které jsem uváděl ve stručném postupu návrhu.

Jedná se o podmínku kontroly tlačené diagonály dle vztahu (2.8). Veličiny uvedené ve vzorci byly vysvětleny v předchozím textu mé práce.

$$v_{Ed,0} = \frac{V_{Ed}\beta}{u_0d} \leq v_{Rd,max} = 0,4v_{fd} \quad (2.8)$$

kde  $v_{Ed,0}$  je hodnota maximálního smykového napětí v obvodu  $u_0$

$u_0$  je délka kontrolovaného obvodu uvažována podle kapitoly 2.5.1

A také podmínku ověření možnosti dostatečně zakotvit smykovou výztuž dle vztahu (2.9)

$$v_{Ed,1} = \frac{V_{Ed}\beta}{u_1d} \leq k_{max} v_{Rd,C} \quad (2.9)$$

kde  $v_{Ed,1}$  je hodnota maximálního smykového napětí v obvodu  $u_1$

$u_1$  je délka základního kontrolovaného obvodu uvažována podle kapitoly 2.5.1

$k_{max}$  je součinitel maximální únosnosti desky

Levá strana rovnice byla vysvětlena v kapitole 2.5.3 stejně tak jako stanovení hodnoty únosnosti bez výztuže. Jedinou neznámou tak zůstává součinitel  $k_{max}$ . Součinitel  $k_{max}$  závisí na účinné výšce průřezu desky  $d$  a typem smykové výztuže, respektive na jejím kotvení. Jeho hodnoty se pohybují od 1,45 pro 200 mm vysokou desku a 1,7 pro desku nad 700 mm a mezi hodnotami se dá interpolovat. V případě užití smykových kozlíků je hodnota 1,35. Pokud uijeme například smykové trny, můžeme uvažovat vyšší hodnoty [6].

Pokud uvedené podmínky (2.8) a (2.9) vyhoví, přistoupí se k návrhu a ověření výztuže. Pokud vyhoví podmínka v první kontrolovaném obvodu bez výztužení, teoreticky není třeba výztuž na protlačení navrhovat. I přes to se navrhuje minimální výztužení, protože se jedná o kritické místo. [6]

Po návržení výztuže se ověřuje návrhová únosnost se smykovou výztuží v prvním kontrolovaném obvodu dle následujícího vztahu (2.10).

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5\left(\frac{d}{s_r}\right)A_{sw}f_{ywd,ef}\left(\frac{1}{u_1d}\right) \sin \alpha \quad (2.10)$$

kde  $s_r$  vzdálenost jednotlivých obvodů výztuže v radiálním směru

$A_{sw}$  je plocha navržené výztuže uvažovaná na jednom obvodu kolem podpory

$\alpha$  úhel mezi rovinou desky a smykovou výztuží

$f_{ywd,ef}$  jedná se o návrhovou hodnotu navržené smykové výztuže na protlačení desky určenou ze vztahu (2.11)

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd} \quad (2.11)$$

Z rovnice je patrné, že ve výpočtu dochází k započítání účinků výztuže. Výsledek je ovlivněn především plochou smykové výztuže, která se v tomto případě uvažuje jako jeden obvod výztuže kolem sloupu. Dále se uvažuje vzdálenost výztuže v radiálním směru a účinná návrhová mez kluzu smykové výztuže na protlačení. Ta je závislá z části na účinné výšce desky.

Po stanovení únosnosti s výztuží se posoudí ještě jedna podmínka dle vztahu (2.12) [13].

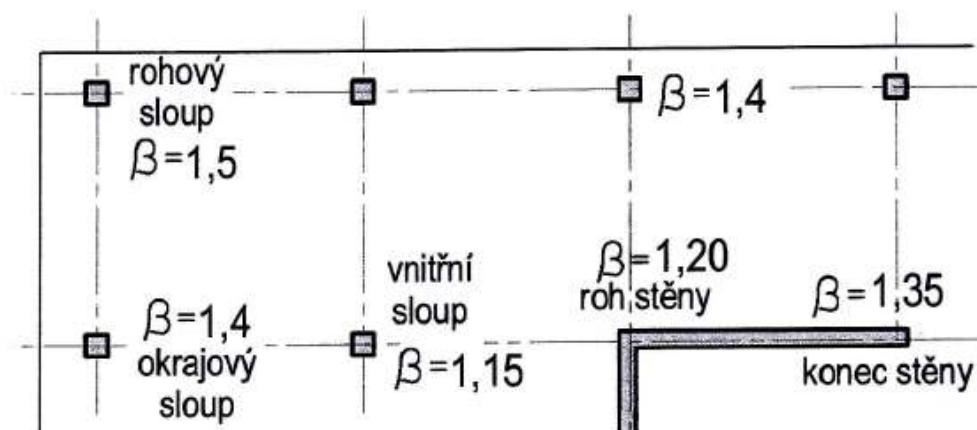
$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}\beta}{u_{out}d} \leq v_{Rd,cs} \quad (2.12)$$

V této podmínce se objevuje kontrolovaný obvod  $u_{out}$ , ve kterém již není nutné navrhovat smykovou výztuž. Pro nejvzdálenější obvod výztuže platí, že má být umístěn maximálně  $1,5d$  od hranice kontrolovaného obvodu  $u_{out}$  směrem k podpoře a jeho tvar je ovlivněn způsobem vyztužení. Obvod se dá vyjádřit z předchozí podmínky dle vztahu (2.13)

$$u_{out} \geq \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d) \quad (2.13)$$

## 2.5.5 Součinitel nesymetrického zatížení styčné plochy

Klíčovým parametrem pro stanovení smykového namáhání desky je umístění lokálních podpor vzhledem k jejím okrajům. Tento vliv je ve vztahu pro smykové napětí v kontrolovaném obvodu zahrnut v podobě součinitele  $\beta$ . Ten vyjadřuje vliv nesymetrického zatížení styčné plochy. Hodnoty součinitele se dají určit buď z obrázku uvedené níže, nebo se dají určit výpočtem.



Obrázek 13 - Součinitel  $\beta$  v různých místech konstrukce [6]

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1} \quad (2.14)$$

Kde  $u_1$  se rovná délce kontrolovaného obvodu

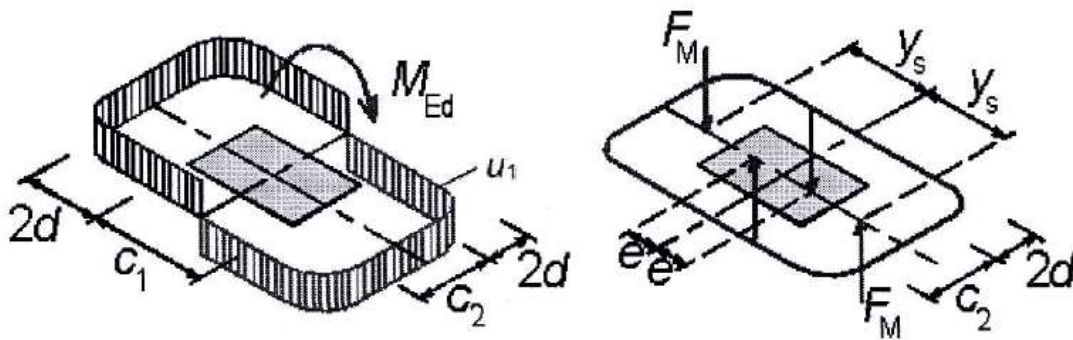
$k$  je součinitel, jehož hodnota je závislé na rozměrech uvažované styčné plochy a vyjadřuje velikost ohybového momentu, která je přenesena posouvajícími silami. Jeho hodnotu můžeme určit dle Tabulka 3, ve které je možné interpolovat

$W_1$  modul uvádějící rozdělení smyku – viz Obrázek 14 a je funkcí obvodu  $u_1$  dle vzorce (2.15)

$$W = \int_0^{u_1} |e| dl \quad (2.15)$$

kde je patrné, že  $e$  je vzdálenost od osy, kolem které otáčí moment

– viz Obrázek 14 [7]



Obrázek 14 - Působení momentu na styčnou plochu a vliv excentricity [6]

Tabulka 3 - Hodnoty součinitele  $k$  pro obdélníkové plochy dle ČSN EN 1992-1-1 [1]

$c_1/c_2$		$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
$k$		0,45	0,6	0,70	0,80

Pozn. : Pro kruhové průřezy je součinitel  $k$  roven 0,6 [6]

Pro vnitřní obdélníkový sloup se součinitel  $\beta$  určí v základním kontrolovaném obvodu dle vzorce (2.16). [6]

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 c_2 + 4c_2 d + 16d^2 + 2\pi d c_1 \quad (2.16)$$

Neznámé  $c_1$  a  $c_2$  jsou rozměry styčné plochy ve směru rovnoběžném a kolmém na rovinu působení ohybového momentu  $M_{Ed}$ .

Pokud dojde k působení momentů v obou směrech při uvážení vnitřního sloupu obdélníkového průřezu, tak se součinitel nesymetrického zatížení stanoví přibližně ze vzorce (2.17). [6]

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left[\left(\frac{e_y}{c_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{c_y}\right)^2\right]} \quad (2.17)$$

Vzorec ovlivní především výstřednost působícího zatížení ve směru  $y$  a  $z$  a také rozměry styčné plochy. U vnitřního kruhového sloupu se uvažuje součinitel  $\beta$  přímým výpočtem dle vzorce (2.18)

$$\beta = 1 + 0,6\pi \frac{e}{D + 4d} \quad (2.18)$$

Do vzorce vstupují parametry výstřednosti zatížení, průměr sloupu a účinná výška průřezu desky. [6]

Pokud se sloup nachází v oblasti okraje desky nebo v jejím rohu, dochází k redukci délky kontrolovaného obvodu a tím se mění i výpočet součinitele  $\beta$ . Změny délky kontrolovaného obvodu jsou uvedeny v kapitole Stanovení kontrolovaného obvodu. Když dojde k výstřednosti v obou ortogonálních směrech, platí vztah (2.19) [12]

$$\beta = \frac{u_1}{u_{red,1}} + k \frac{u_1}{W_1} e_{par} \quad (2.19)$$

Na uvedeném vzorci je očividné, že čím více zredukujeme kontrolovaný obvod, tím nižší součinitel vyjde. Jinak řečeno, pokud by se obvod neomezil, bude zlomek roven 1 stejně jako ve vzorci (2.17) a výpočet by se nezměnil.

Při situaci, kde je sloup umístěn v rohu, dojde k rozložení účinků působících sil při protlačení rovnoměrně podél redukovaného obvodu  $u_{red,1}$ . [12]

### 2.5.6 Návrh výztuže a konstrukční zásady dle ČSN EN 1992-1-1

K návrhu výztuže můžeme přistoupit ve chvíli, kdy jsme ověřili únosnost betonových diagonál a podmínku dostatečného kotvení výztuže. Pokud tyto podmínky vyhoví, navrheme smykovou výztuž.

V případě, že podmínka na protlačení bez výztuže v prvním kontrolovaném obvodu vyhoví, nemusí teoreticky dojít k navržení žádné výztuže na protlačení. Jelikož se ale jedná o kritické místo konstrukce, tak je vhodné z hlediska bezpečnosti zavést minimální výztuž 2x2 ohyby nad sloupem pro oba směry. Pokud podmínka nevyhoví, znamená to, že musíme navrhnout a posoudit výztuž.

Další bude výpočet posledního kontrolovaného obvodu  $u_{out}$  ve kterém již není třeba umístit výztuž na protlačení a jehož tvar je závislý i na způsobu vyztužení (2.13)

$$u_{out} \geq \beta V_{Ed} / (v_{Rd,c} d)$$

Jak už bylo uvedeno, poslední řada nebo okruh výztuže na protlačení potom bude umístěna maximálně  $1,5d$  od hranice posledního kontrolovaného obvodu.

V předposledním kroku se navrhne umístění výztuže a její profil, který volíme mezi 12-14 mm. Tím myšleno umístění jednotlivých prvků, jejich radiální a tangenciální vzdálenosti, jejich počet a navržená plocha profilů v jednom obvodu kolem sloupu. Určí se únosnost s navrženou výztuží při protlačení v základním kontrolovaném obvodu  $u_1$ , dle vztahu (2.10) a zkontroluje

se porovnání s maximálními účinky od svislého zatížení  $v_{Ed}$ . Pokud by posouzení na protlačení s výztuží nevyšlo, zvětšíme profil výztuže nebo zvýšíme počet prvků v obvodu.



Obrázek 15 - Smyková lišta HALFEN [15]

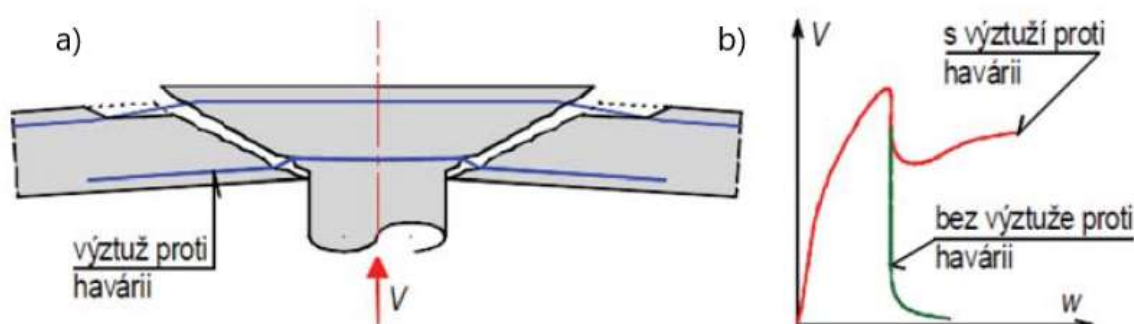
#### 2.5.6.1 Konstrukční zásady a pravidla pro vyztužení

- poslední řada nebo okruh výztuže ve vzdálenosti  $\leq 1,5d$  od obvodu  $u_{out}$
- první profil umístěn  $0,3-0,5d$  od líce podpory sloupu
- rozteče výztuží  $s_r$  jsou maximálně  $0,75d$  od sebe a doporučeně min.  $100\text{ mm}$
- vzdálenost  $s_t$  v poslední řadě nebo okruhu profilů nesmí být mezi jednotlivými profily větší vzdálenost než  $2d$  a v předposlední řadě je povoleno maximálně  $1,5d$  – viz Obrázek 17.
- vždy je nutné zkontrolovat minimální stupeň vyztužení smykovou výztuží dle následujícího vzorce (2.20) [12]

$$\rho_{sw} = 1,5 \frac{A_{sw,1}}{s_r s_t} \geq \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (2.20)$$

### 2.5.7 Výztuž na progresivní kolaps

V oblasti sloupu se kromě výztuže na protlačení navrhne také výztuž proti progresivnímu kolapsu. Tato výztuž má za úkol zabránit pádu stropní desky ve chvíli, kdy je překonána únosnost v protlačení. Stropní deska se za výztuž zavěsí a nedojde k okamžitému kolapsu konstrukce. Tím může tedy dojít k většímu průhybu konstrukce ve chvíli, kdy je dosaženo maximální únosnosti a konstrukce lépe varuje před samotným zřícením. Výztuž se umísťuje při spodním tlačném okraji desky a zajišťuje tak nosné přestykování spodní výztuže desky v oblasti sloupu. Měla by být umístěna maximálně ve vzdálenosti  $1,5d$  od líce uvažovaného sloupu na obě strany a zároveň by měly být minimálně 2 průběžné pruty umístěny mezi výztuží sloupu [10].



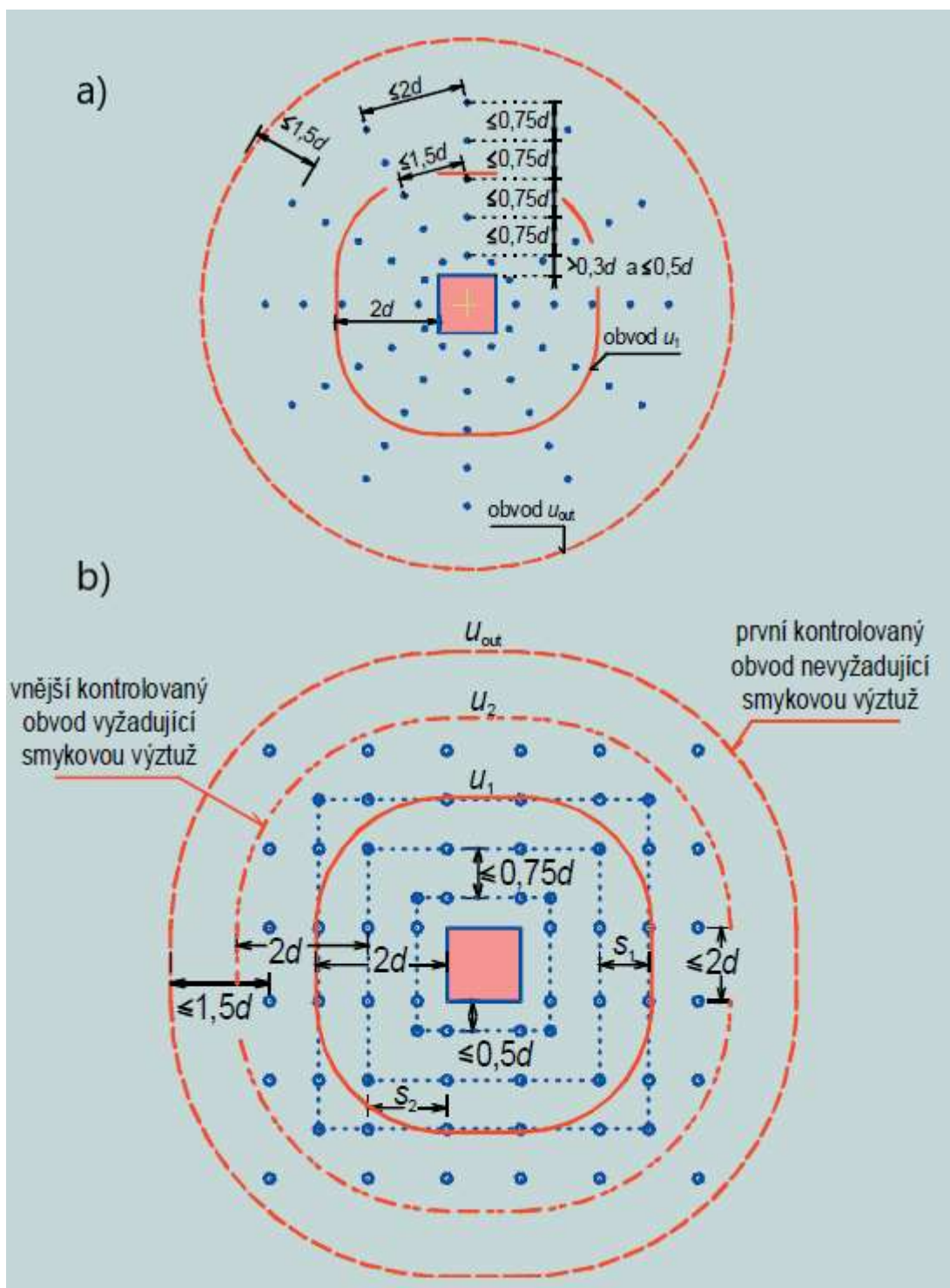
Obrázek 16 - a) Kolaps stropní desky b) Závislost zatížení a průhybu při progresivním kolapsu [10]

### 2.5.8 Vliv prostupů na výztuž

Vždy se snažíme umístit prostup tak, aby přerušil co nejmenší počet podélných výztuží v obou směrech. Když dojde k přerušování výztuže, rozmístíme výztuž kolem prostupu. Zjednodušeně platí, že přerušované pruty musí být nahrazeny příložkami o stejné průřezové ploše, jako je plocha přerušované výztuže. Dané pravidlo aplikujeme v obou směrech.

U lokálně podepřených desky obecně platí, že je lepší umísťovat prostupy do středních pruhů než do sloupových.





Obrázek 17 – Rozmístění výztuže na protlačení dle ČSN EN a) radiální b) ortogonální [12]

### 2.5.9 Metodika ETA

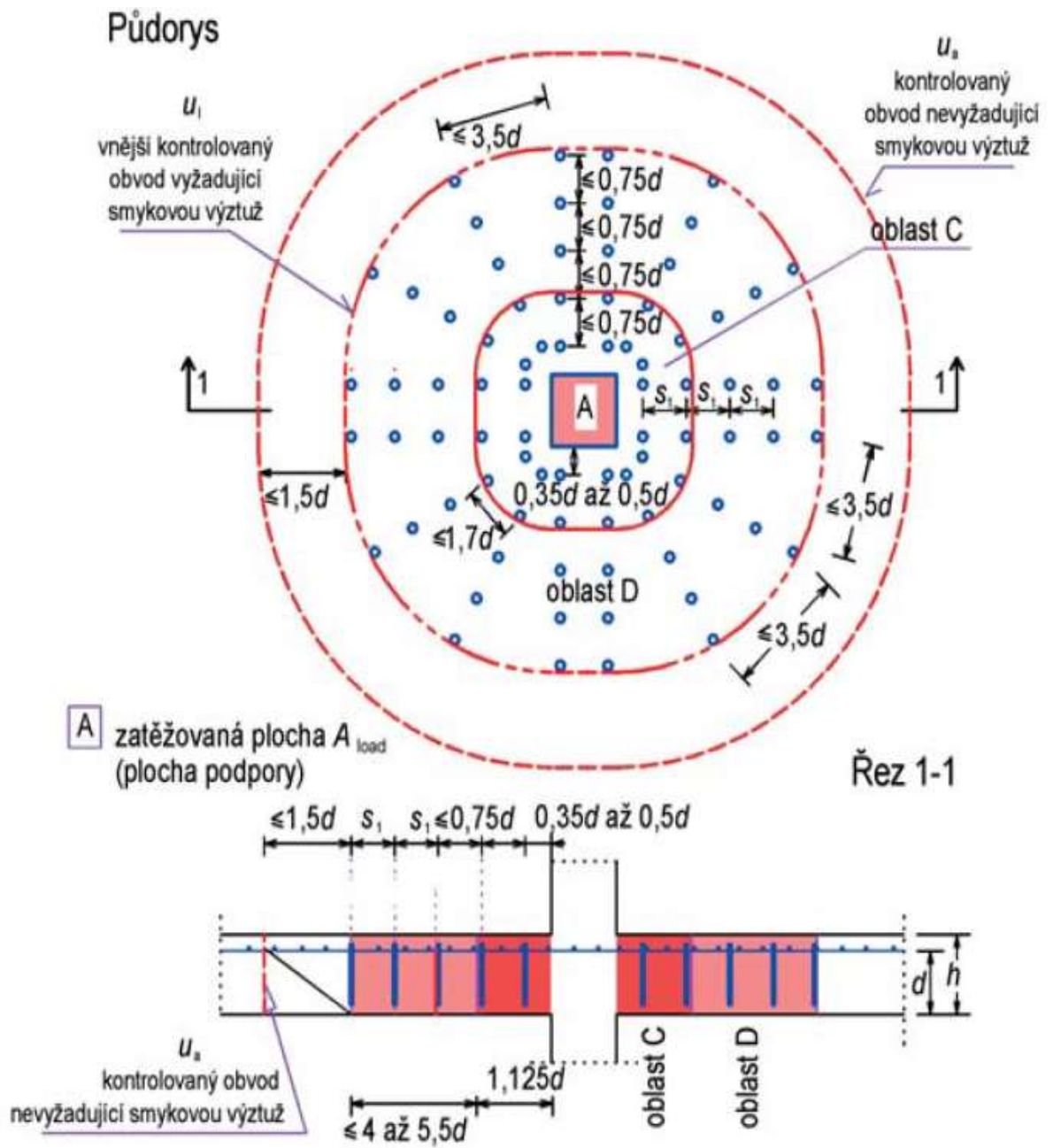
V celém názvu European technical approval. Ačkoliv se tato metodika řídí podle základních norem EN 1991, EN 1990 a EN 1992-1-1, tak aplikací experimentů upravuje některé vztahy pro návrh výztuže a konstrukční zásady. Metodika ETA se používá pro návrh výztuže na protlačení v podobě smykových trnů nebo jiných patentovaných výrobků jako jsou lišty či smyková příhradová výztuž. Při návrhu se nepostupuje podle metodiky uvedené v normě ČSN EN 1992-1-1, protože by se naplno nevyužilo speciálních vlastností, jako je vyšší únosnost a lepší zakotvení výztuže. Přihlédnutím k výsledkům zkoušek prováděných výrobcem tedy dojde k využití potenciálu výztuže [6]

Metodika ETA nezahrnuje kontrolu únosnosti tlačené diagonály, proto se doporučuje tuto podmínku ověřit dle ČSN EN 1992-1-1. Při návrhu a posuzování je konstrukce rozdělena do tzv. C a D oblastí, kdy C oblast se nachází do  $1,125d$  od líce podpory a D oblast navazuje na C oblast a zaujímá zbývající vyztuženou plochu desky. [10]

#### Rozdíly ETA a ČSN EN 1992-1-1 [6]:

- kontrolovaný obvod  $u_0$  není metodikou ETA omezen ( $2(a+b) \leq 12d$ )
- nedochází k redukci smykové výztuže, tudíž  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$  (výpočet  $f_{ywd,ef}$ )
- tloušťka desky může být minimálně  $180 \text{ mm}$  ( $200 \text{ mm}$ )
- vypočtený stupeň vyztužení musí být menší než  $0,5 f_{cd}/f_{yd}$  (menší než  $0,02$ )
- součinitel  $\beta$  pro vnitřní sloupy je minimálně  $1,10$  ( $1,15$ )
- rozdělení oblastí na oblast C a D (neuvažuje)
- pro desky platí maximální únosnost  $v_{Rd,max} = 1,50 v_{Rd,c}$
- Rozdílné konstrukční zásady: max. vzdálenost trnů je  $1,7d$  tangenciálně v  $1,0 d$  v posledním obvodu je max.  $3,5d$  tangenciálně radiálně nejméně 2 trny do  $1,125d$  od hrany sloupu stejná vzdálenost v radiálním směru pro trny je  $0,75d$

Pozn.: V závorce jsou uvedeny vždy hodnoty platné pro metodiku ČSN

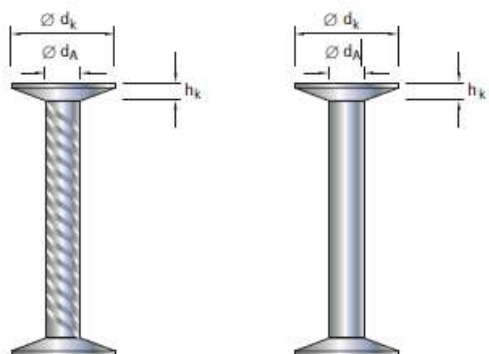


Obrázek 18 - Konstrukční zásady platné pro metodiku ETA [10]

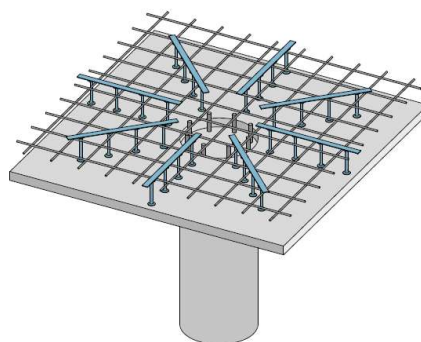
## 2.6 Typy výztuže na protlačení

### 2.6.1 Smykové trny

Jedná se o systémové patentované prvky, které poskytují výrobci jako výztuž na protlačení – viz Obrázek 19. Dvouhlavé smykové trny jsou vyrobeny z ocelářské oceli B500B a většinou se vyrábí o průměrech 10, 12, 14, 16, 20 a 25. Dodavatel JORDAHL uvádí, že aby nedocházelo k prokluzu smykových trnů, průměr hlavy musí být trojnásobkem průměru dříku trnu – viz Obrázek 20. [18]

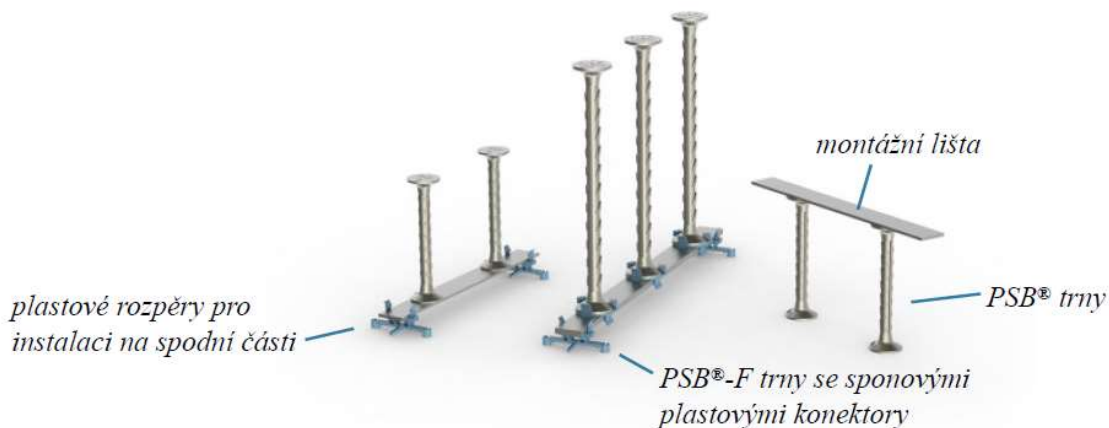


Obrázek 19 - Smykový trn [18]



Obrázek 20 - Paprskovité rozmístění smykových lišt [17]

Jednotlivé trny jsou skládány do řad a pomocí lišt a konektorů jsou tvořeny smykové lišty – viz Obrázek 21.

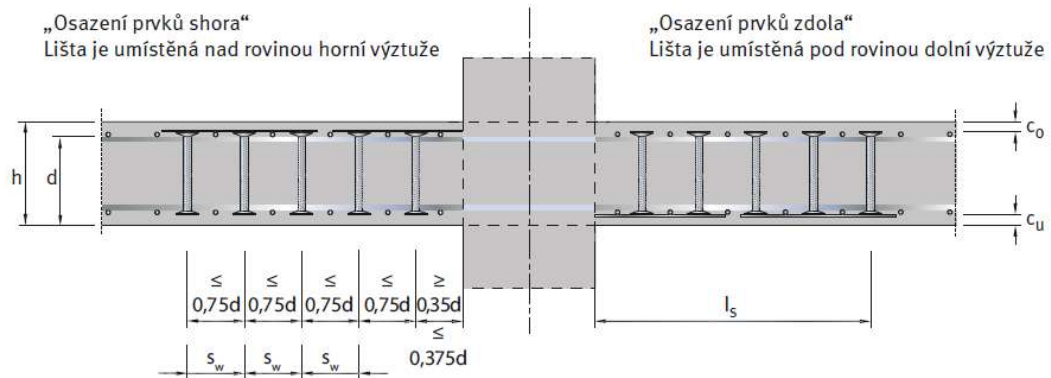


Obrázek 21 - Prvky smykových lišt od výrobce Peikko [17]

Správná funkce mechanismu smykových lišt je podmíněna správným zakotvením výztuže do betonu a zároveň dostatečnou tahovou únosností trnu. Smykové lišty se navrhují podle metodiky ETA. Jsou vhodné pro desky o tloušťce minimálně 180 mm [18].

Systémové prvky v podobě zmíněných lišt se ukládají kolem podpory do desky většinou paprskovitě. Při ukládání se může postupovat dvojím způsobem. První způsob je instalace

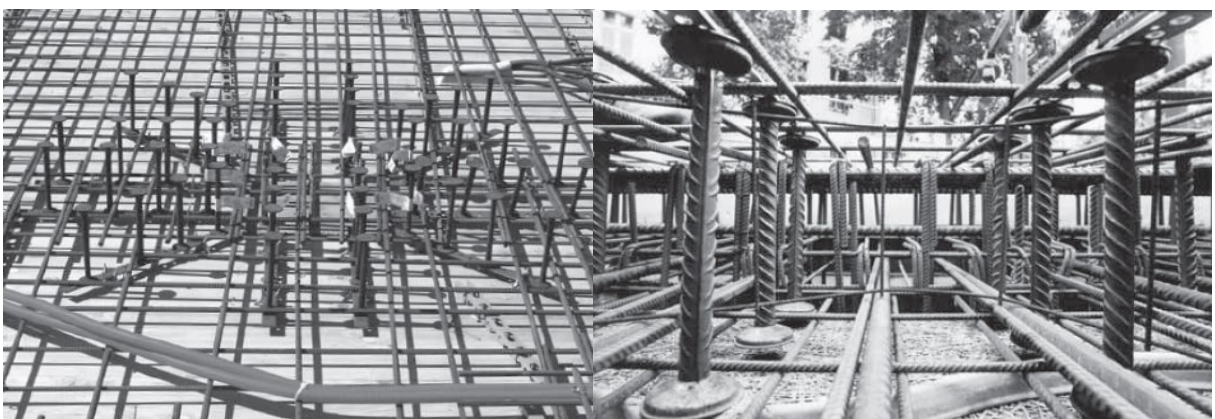
vrchem. Prvky se zavěsí na hlavní výztuž desky a ohybová výztuž se pokládá před aplikací výztuže na protlačení – viz Obrázek 22. Druhým způsobem je aplikovat smykové lišty spodem, kdy se prvky uloží před umístěním ohybové výztuže desky pomocí speciálních distančních prvků – viz Obrázek 21. Po aplikaci systémových prvků je vždy nutné pečlivě zkontrolovat jak jejich půdorysnou, tak výškovou polohu [18].



Obrázek 22 - Možnosti uložení dělených systémových lišt na protlačení [18]

Zásadní výhodou oproti obyčejné výztuži v podobě třmenů nebo ohybů je únosnost a lepší zakotvení výztuže, což se projeví při návrhu smykových trnů, kdy na rozdíl od metodiky ČSN, která uvažuje součinitel  $k_{max}$  maximálně 1,7, uvažuje ETA hodnotu  $k_{max} = 1,96$  [6]. Z toho plyne, že systémové prvky v podobě smykových trnů instalujeme hlavně v případě velkého zatížení. Při užití této výztuže se značně sníží potřebné množství výztuže. Mezi výhody bychom také mohli počítat jasně daný postup návrhu a uložení od výrobce a zároveň s tím uvedené konstrukční zásady, které se řídí metodikou ETA. Zásadní nevýhodou je cena, která se může pohybovat až okolo pětinasobku ceny za výztuž v podobě ohybů apod. U konstrukcí s velkým počtem sloupů by se jednalo o značný obnos finančních prostředků. [6]

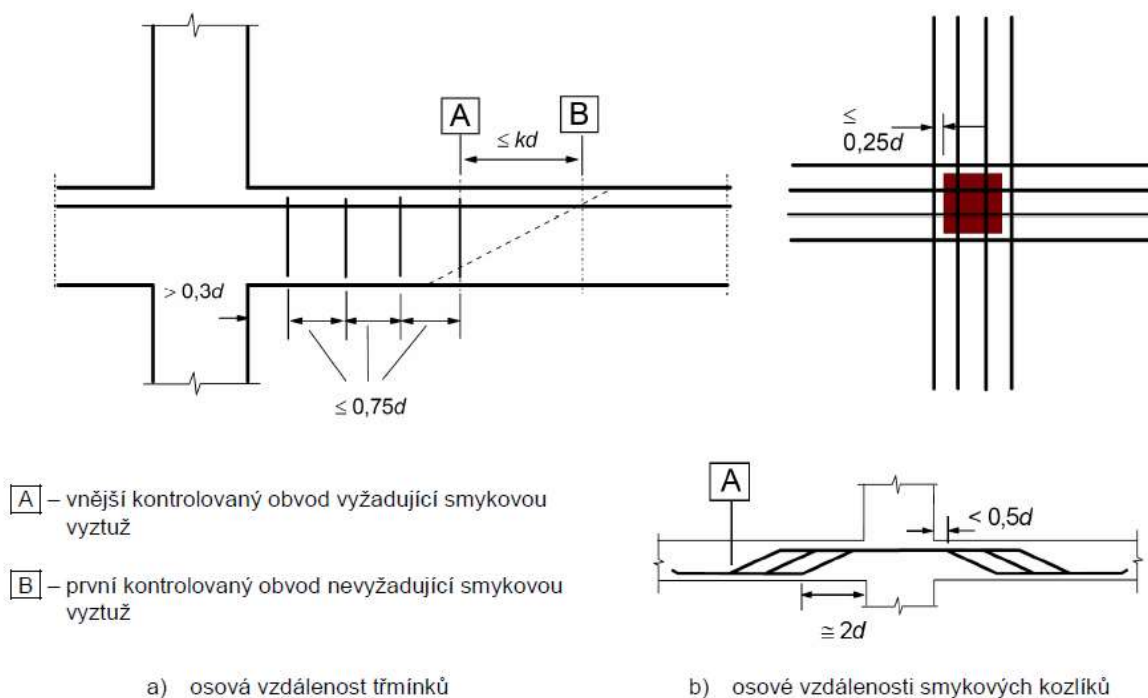
Mezi výrobce systémových prvků na protlačení patří například Halfen, Peikko, Jordhal nebo Schöck. Každý výrobce má vlastní podobu prvků a mohou mít odlišné postupy návrhu, konstrukční zásady a návrhové softwary.



Obrázek 23 - Smykové trny na reálných stavbách [16]

## 2.6.2 Ohyby

Jinak zvané taky kozlíky. Jedná se o prutové prvky z běžné betonářské výztuže, která je ohýbána do úhlu dle potřeby. Konstrukční zásady pro výztuž a umístění ohybů jsou uvedeny v ČSN EN 1992-1-1 – viz Obrázek 24. Z obrázku je patrné, že výztuž by měla být půdorysně vzdálena od okraje sloupu maximálně  $0,25d$ , kde  $d$  je účinná výška průřezu desky. První ohyb se umísťuje do vzdálenosti maximálně  $0,5d$  od líce podpory a druhý se nachází ve vzdálenosti  $2d$  od líce podpory. Postup návrhu takové výztuže se řídí dle metodiky ČSN EN 1992-1-1 [1].

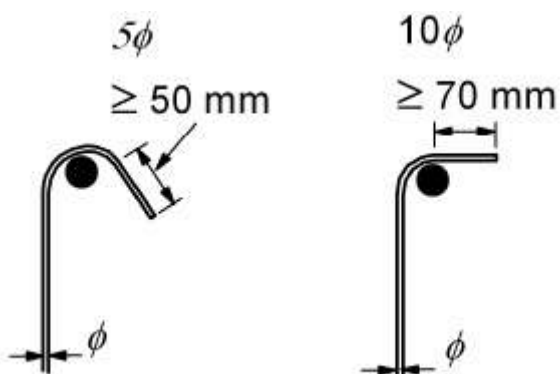


Obrázek 24 - Konstrukční zásady smykových třmínků a ohybů dle ČSN EN 1992-1-1 [1]

## 2.6.3 Třmínková výztuž

V případě výztuže na protlačení se nejedná o klasickou výztuž, kterou si představíme například u výztuže trámu. Jde o klasické pruty, které se dle potřeby zohýbají do potřebného tvaru připomínajícího písmeno S nebo Z. Návrh tohoto typu výztuže se provádí opět dle metodiky ČSN EN 1992-1-1. Minimální tloušťka desky, do které norma umožňuje návrh tohoto typu výztuže (stejně jako ohybů), je  $200\text{ mm}$ . Při menší tloušťce totiž nejsme schopni zajistit dostatečné kotvení výztuže. Pokud chceme řádně kotvit výztuž, musí vždy obepínat minimálně jednu řadu spodní a horní výztuže. Spodní řadu většinou buď obepíná jako klasický třmínek a za horní se pouze zahákne, nebo se ve tvaru písmene S zahákne za horní i dolní výztuž [1].

Přesah prutu za kotvící výztuž je 10 profilů ohýbané výztuže – viz. Obrázek 25. Minimální poloměry zakřivení udává Tabulka 5. [1]



Obrázek 25 - Kotvené ohýbané výztuže závislé na profilu

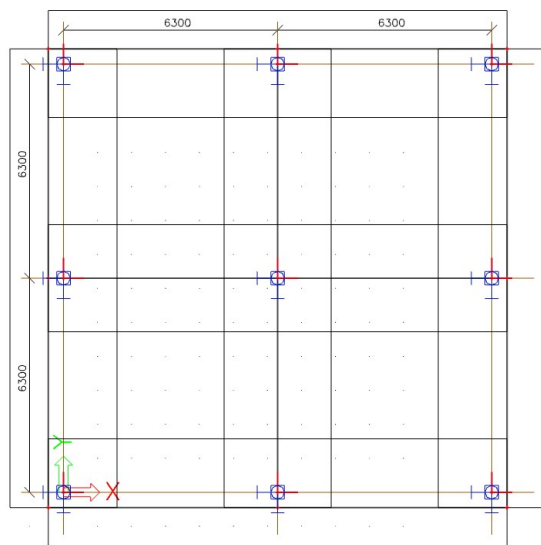
Tabulka 4 - Nejmenší vnitřní průměry výztuže z hlediska jejího porušení dle ČSN EN 1992-1-1

Průměr prutu	Nejmenší vnitřní průměr zakřivení pro háky, ohyby a smyčky
$\leq \text{Ø } 16 \text{ mm}$	$4 \text{ Ø}$
$> \text{Ø } 16 \text{ mm}$	$7 \text{ Ø}$

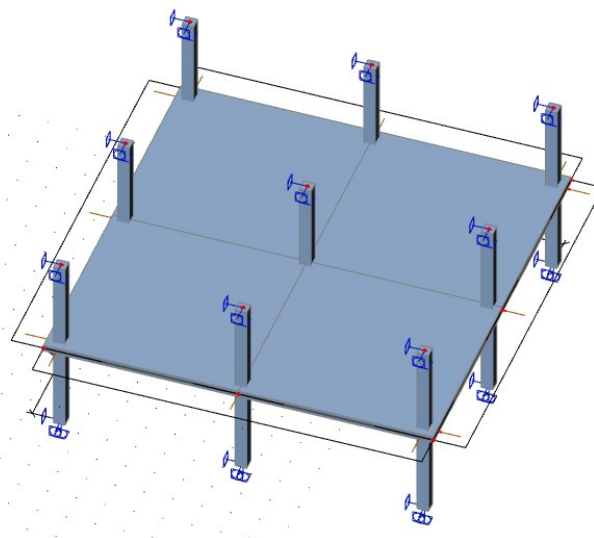
### 3 Vliv geometrie otvorů na protlačení lokálně podepřené desky

#### 3.1 Schéma konstrukce

Celá následující část práce se bude zabývat tím, jak otvory ovlivňují návrh výztuže na protlačení lokálně podepřené desky. K analýze byl vybrán rohový sloup nacházející se na konstrukci sestavené pouze za účelem této studie. Jedná se o malý výsek jednoho podlaží o konstrukční výšce  $3,5\text{ m}$ . Konstrukce je pravidelná se čtvercovými sloupy, které tvoří sloupový rastr  $3 \times 3$  s osovou vzdáleností sloupů  $6,3\text{ m}$  – viz Obrázek 26. Za lícem krajních sloupů je malá konzolka s délkou  $300\text{ mm}$ , měřeno od líce sloupu. V rámci výpočtu byl za tímto účelem vytvořen výpočetní model v programu SCIA pro jednodušší zjištění vnitřních sil a dalších parametrů – viz Obrázek 27. Základní referenční konstrukce uvažuje půdorysné rozměry sloupů  $400 \times 400\text{ mm}$  a tloušťku desky  $250\text{ mm}$ . Jako stálé zatížení byla zadána podlaha a vlastní tíha desky. Co se týče užitečného zatížení, uvažuje se zatížení pro administrační a kancelářské budovy. V tomto případě byla zvolena hodnota  $4\text{ kN/m}^2$ .



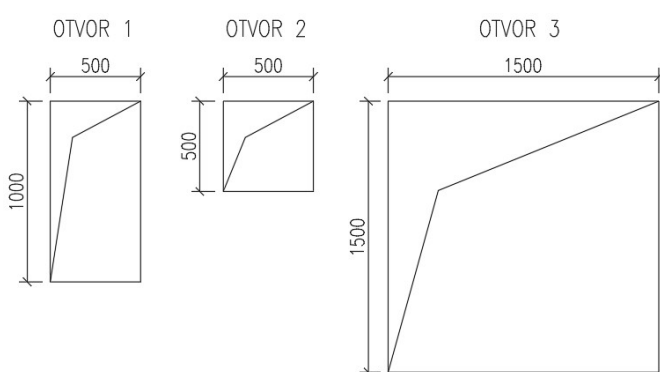
Obrázek 26 - Půdorysné schéma analyzované konstrukce



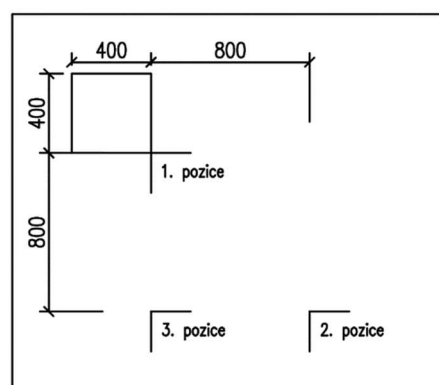
Obrázek 27 - 3D model analyzované konstrukce



V průběhu výpočtu budou kolem sloupu umístěny tři typy otvorů. Všechny otvory svými rozměry přibližně odpovídají běžným rozměrům otvorů pro vedení TZB prvků. První z nich má rozměry  $500 \times 1000 \text{ mm}$ , druhý  $500 \times 500 \text{ mm}$  a třetí otvor bude mít rozměry  $1500 \times 1500 \text{ mm}$  – viz *Obrázek 28*. Následně se bude měnit poloha otvorů a bude se zjišťovat vliv změny polohy na výpočet a návrh výztuže na protlačení lokálně podepřené desky – viz *Obrázek 29*. Vždy platí, že je otvor umístěn do vzdálenosti maximálně  $6d$  od líce tak, aby muselo dojít k redukci kontrolovaných obvodů. Na konci studie bude možné porovnat zjištěné změny s referenční konstrukcí, což je v tomto případě konstrukce bez otvorů. Zakreslení pořadí posuzovaných pozic a jejich umístění je zakresleno na obrázcích níže. Vždy je naznačen levý horní roh otvoru.



*Obrázek 28 - Půdorysné rozměry posuzovaných otvorů*



*Obrázek 29 - Zakreslení vyšetřovaných pozic*

Na počátku byl proveden kontrolní výpočet pro ověření správnosti odhadu rozměrů a následovně se přistoupilo k samotnému návrhu a studii. Jedním z hlavních vstupních parametrů do výpočtu a posouzení je součinitel  $\beta$ . Vzhledem k tomu, že konstrukce určena k analýze není nijak prostorově ztužena, bude součinitel převzat z výpočetního programu SCIA, který hodnotu spočítá dle DIN EN. Dalším zásadním vstupním parametrem je stupeň vyztužení. Vzhledem k tomu, že návrh ohybové výztuže nebude předmětem studie, bude stupeň vyztužení uvažován odhadem na  $0,5\%$ . Případné změny, které bude třeba provést k úspěšnému návrhu výztuže na protlačení, budou vždy okomentovány. Postup výpočtu se bude shodovat s postupem uvedeným v příručce od výrobce JORDAHL, který se řídí metodikou ETA 13/0136 [3]. Podle metodiky ETA bude navrženo rozmístění výztuže, což bude ovlivněno přítomností otvorů.

## 3.2 Referenční konstrukce

### Návrh výztuže a posouzení referenční konstrukce

#### Materiály

Beton C 30/37 XC1 - Cl 0,2 - Dmax 0,16 - S4 →  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ ,  $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Ocel B500B →  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ,  $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

#### Geometrie

$c = 25 \text{ mm}$

$h_d = 250 \text{ mm} \rightarrow d = 213 \text{ mm}$

Sloup:  $a = 400 \text{ mm}$

#### Vstupní hodnoty

$V_{Ed} = 177,19 \text{ kN}$

$\beta = 1,93$

$u_0 = 800 \text{ mm}$ ,  $u_1 = 2069,16 \text{ mm}$

#### Ověření tlač. diagonály

$v_{ed,0} = 2,0 \text{ MPa}$

$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$

$v_{ed,0} \leq v_{Rd,max}$ ,  $2,0 \leq 4,22 \text{ [MPa]} \Rightarrow$  Podmínka splněna

#### Ověření dostatečného kotvení

$v_{ed,1} = 0,77 \text{ MPa}$

$\kappa = 1,97$ ,  $C_{Rd,C} = 0,117$

$v_{Rd,C} = 0,58$  pro  $\rho = 0,5\% \geq v_{min} = 0,53$

$v_{Rd,max} = 1,11$

$v_{ed,1} \leq v_{Rd,max}$ ,  $0,77 \leq 1,11 \text{ [MPa]} \Rightarrow$  Podmínka splněna, lze vyztužit

#### Návrh smykové výztuže

$v_{Rd,ca} = 0,49$  pro  $\rho = 0,5\% \geq v_{min} = 0,53 \Rightarrow$  Uvažováno 0,53

$\beta_{red} = 1,43$

$u_{out,req} = 2227 \text{ mm}$ ,  $u_{out,prov} = 2292 \text{ mm}$

$v_{Ed,out} = 0,51 \text{ MPa}$

$v_{Ed,out} = 0,52 \text{ MPa} \leq v_{Rd,ca} = 0,53 \text{ [MPa]} \Rightarrow$  Podmínka splněna

$V_{Rd,sy} = 390,455 \text{ kN}$  pro  $m_c = 6$ ,  $n_c = 2$ ,  $\phi 10$ ,  $\eta = 1,05$

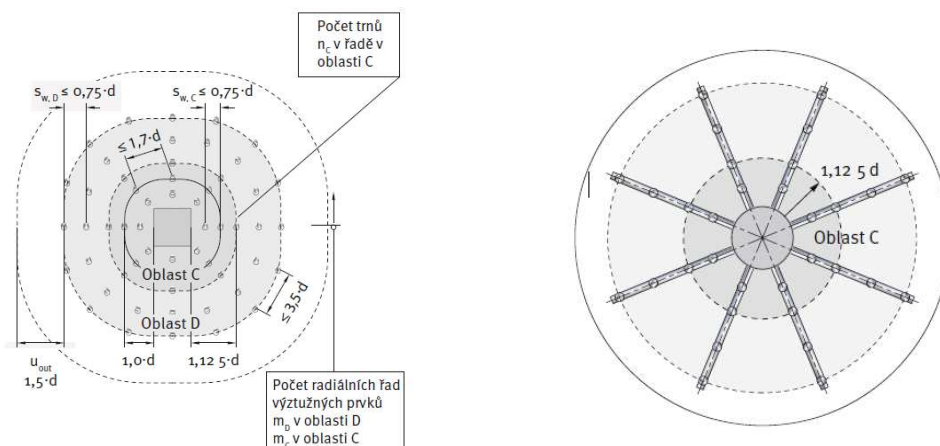
$V_{Ed}\beta = 341,88 \text{ kN}$

$V_{Rd,sy} \geq V_{Ed}\beta$ ,  $390,455 \geq 341,88 \text{ [kN]} \Rightarrow$  Podmínka vyšla

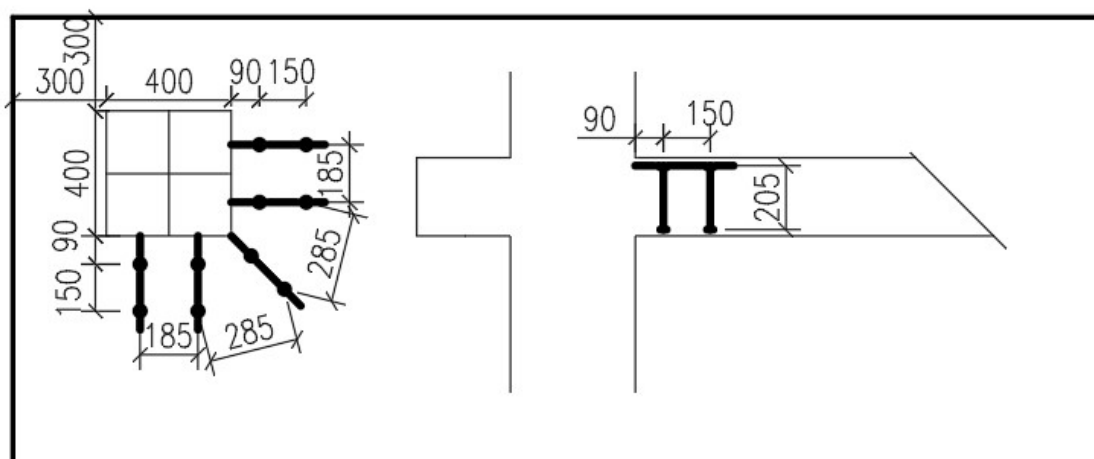
### Konstrukční zásady

Oblast C:  $0,35 - 0,5d = 75 - 106 \text{ mm}$ ,  $0,75d = 159 \text{ mm}$ ,  $1,7d = 362,1 \text{ mm}$

Oblast D:  $3,5d = 745,5 \text{ mm}$



Obrázek 30 - Konstrukční zásady dle výrobce JORDAHL [18]



Obrázek 31 - Schéma umístění smykových lišt

Při návrhu výztuže u konstrukce bez otvorů došlo k převzetí hodnoty  $v_{min}$  v průběhu výpočtu. Uvažovaná hodnota únosnosti na vnějším kontrolovaném obvodu vyšla pro vyztužení  $0,5 \%$  totiž nepříznivě.

Celý postup byl uveden pouze na ukázkou, aby byla jasná posloupnost výpočtu a návrhu. V dalších případech budou uvedeny vždy pouze tabulky s výslednými hodnotami. Konstrukční zásady budou pro všechny návrhy stejné, protože se nemění účinná výška desky. Po posouzení otvorů na všech pozicích bude studie vyhodnocena.

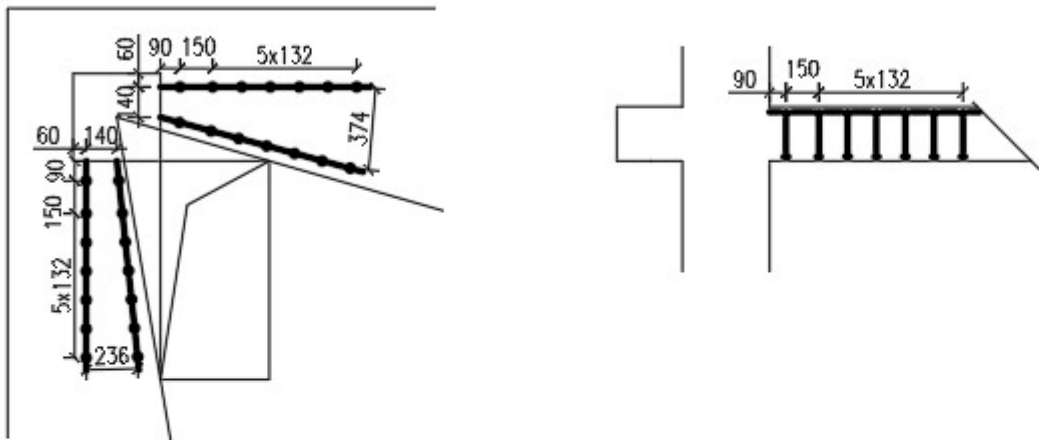
### 3.3 Výsledky posudků a schémata vyztužení pro různé pozice otvorů

#### 3.3.1 Výsledky posudků na pozici 1

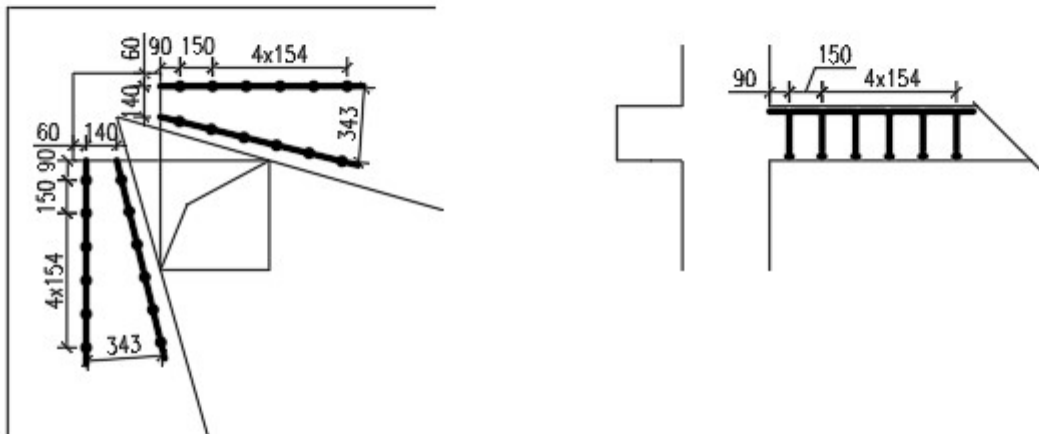
POZICE 1				
Neznámé	Jednotky	OTVOR 1	OTVOR 2	OTVOR 3
$V_{Ed}$	kN	165,87	169,32	152
$\beta$	-	2,1	2,1	2,1
$\rho$	%	0,7	0,7	0,8
$u_0 / u_1$	mm	800/1292	800/1358	800/1146
$V_{Ed,0}$	MPa	2,04	2,08	1,87
$V_{rd,max}$	MPa	4,22	4,22	4,22
$V_{Ed,0} \leq V_{rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$V_{Ed,1}$	MPa	1,265	1,23	1,31
$\kappa / C_{Rd,C}$	-	1,97/0,12	1,97/0,12	1,97/0,12
$V_{Rd,c}$	MPa	0,65	0,65	0,68
$V_{Rd,max}$	MPa	1,274	1,274	1,43
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$V_{Rd,ca}$	MPa	0,543	0,543	0,568
$\beta_{red}$	-	1,17	1,19	1,1
$u_{out,req} / u_{out,prov}$	mm	1536,31/1636	1742/1786	1382/1404
$V_{Ed,out}$	MPa	0,52	0,529	0,559
$V_{Ed,out} \leq V_{Rd,ca}$	MPa	✓	✓	✓
$V_{Rd,sy}$	kN	374,836	374,836	374,863
$V_{Ed} * \beta$	kN	348,33	355,57	319,2
$V_{Rd,sy} \geq V_{Ed} * \beta$	kN	✓	✓	✓
Počet trnů	ks	28	24	36
Profil	mm	12	12	12
Počet lišt	ks	4	4	4

### 3.3.2 Schéma vyztužení na pozici 1

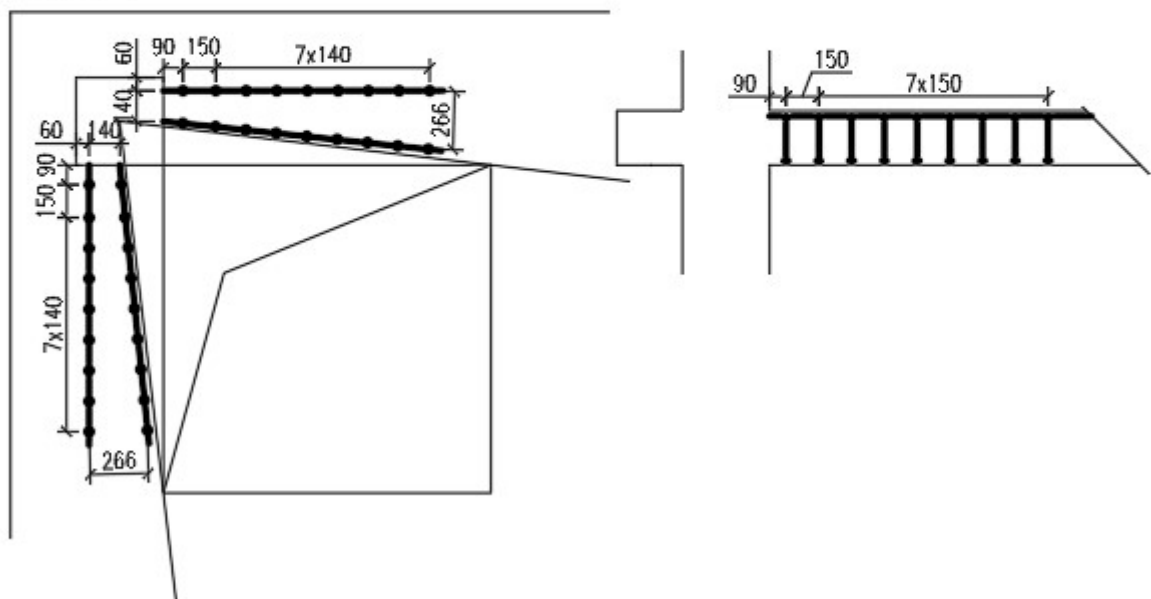
OTVOR 1



OTVOR 2



OTVOR 3

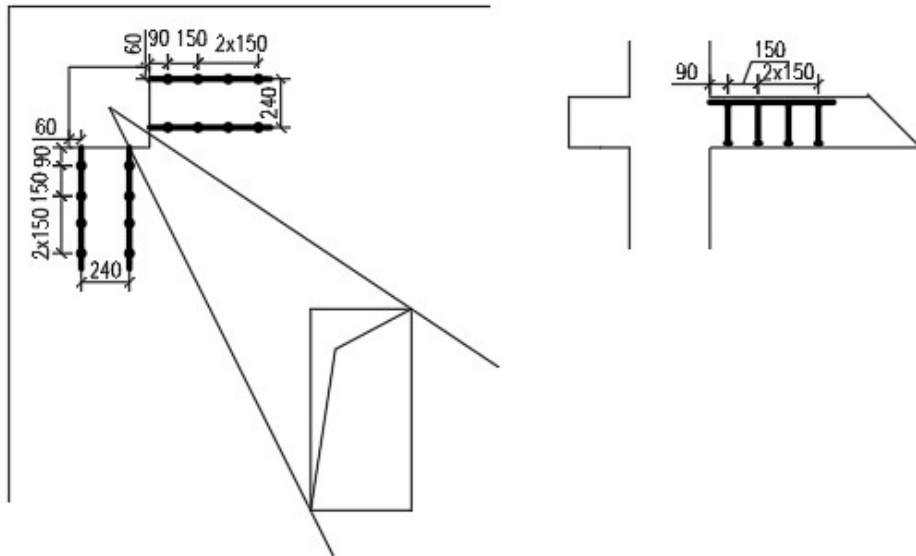


### 3.3.3 Výsledky posudků na pozici 2

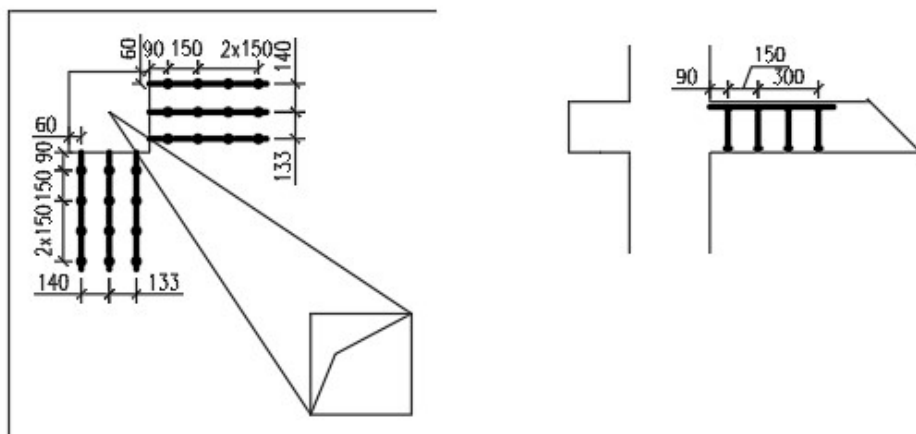
POZICE 2				
Neznámé	Jednotky	OTVOR 1	OTVOR 2	OTVOR 3
$V_{Ed}$	kN	172,27	175,12	162,17
$\beta$	-	2,2	2,15	2,25
$\rho$	%	0,5	0,5	0,6
$u_0 / u_1$	mm	800/1701	800/1788	800/1500
$v_{Ed,0}$	MPa	2,22	2,21	2,13
$v_{rd,max}$	MPa	4,22	4,22	4,22
$v_{Ed,0} \leq v_{rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$v_{Ed,1}$	MPa	1,05	0,99	1,14
$\kappa / C_{rd,c}$	-	1,97/0,12	1,97/0,12	1,97/0,12
$V_{rd,c}$	MPa	0,58	0,58	0,62
$v_{rd,max}$	MPa	1,14	1,16	1,21
$v_{Ed,1} \leq v_{rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$v_{rd,ca}$	MPa	0,53	0,53	0,53
$\beta_{red}$	-	1,35	1,35	1,27
$u_{out,req} / u_{out,prov}$	mm	2044/2138	2094/2270	1824/2060
$v_{Ed,out}$	MPa	0,51	0,488	0,48
$v_{Ed,out} \leq v_{rd,ca}$	MPa	✓	✓	✓
$V_{rd,sy}$	kN	374,836	390,455	374,836
$V_{Ed} * \beta$	kN	348,33	376,51	364,88
$V_{rd,sy} \geq V_{Ed} * \beta$	kN	✓	✓	✓
Počet trnů	ks	16	24	24
Profil	mm	12	10	12
Počet lišt	ks	4	6	4

### 3.3.4 Schéma vyztužení na pozici 2

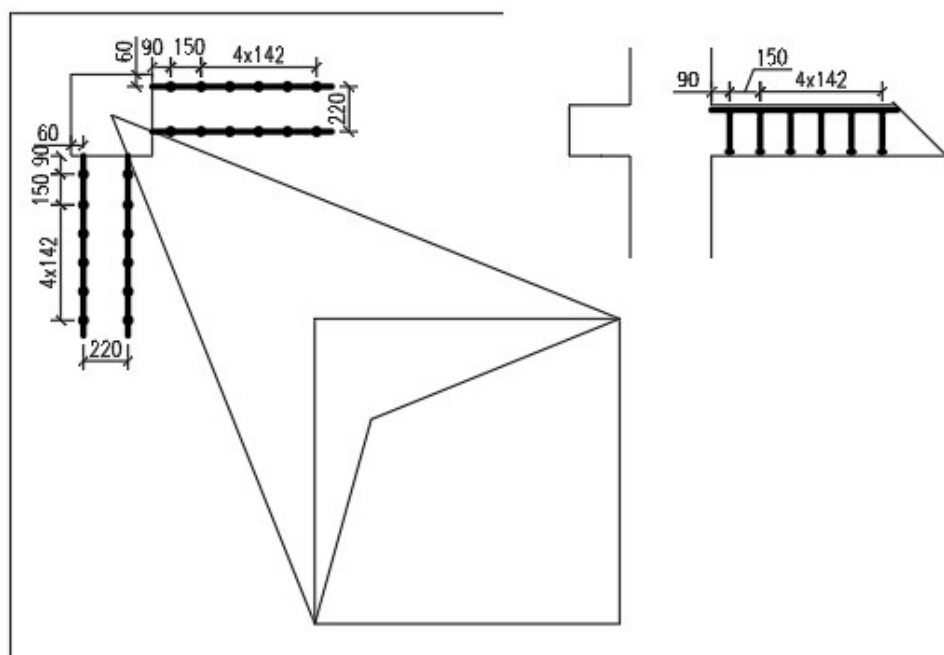
OTVOR 1



OTVOR 2



OTVOR 3



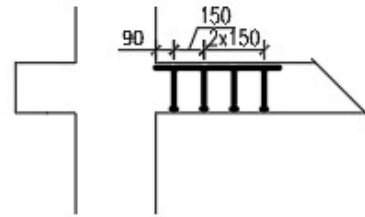
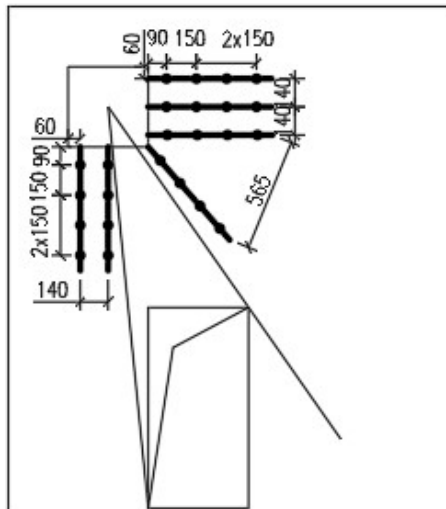
### 3.3.5 Výsledky posudků na pozici 3

POZICE 3				
Neznámé	Jednotky	OTVOR 1	OTVOR 2	OTVOR 3
$V_{Ed}$	kN	170,61	174,21	157,27
$\beta$	-	2,12	2,12	2,22
$\rho$	%	0,5	0,5	0,6
$u_0 / u_1$	mm	800/1720	800/1740	800/1405
$v_{Ed,0}$	MPa	2,12	2,17	1,96
$v_{Rd,max}$	MPa	4,22	4,22	4,22
$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$v_{Ed,1}$	MPa	0,98	0,99	1,17
$k / C_{Rd,c}$	-	1,97/0,12	1,97/0,12	1,97/0,12
$v_{Rd,c}$	MPa	0,58	0,58	0,62
$v_{Rd,max}$	MPa	1,14	1,14	1,21
$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,max}$	MPa	✓	✓	✓
$v_{Rd,ca}$	MPa	0,53	0,53	0,53
$\beta_{red}$	-	1,36	1,36	1,1
$u_{out,req} / u_{out,prov}$	mm	2055/2169	2083/2199	1574/1630
$v_{Ed,out}$	MPa	0,5	0,5	0,498
$v_{Ed,out} \leq v_{Rd,ca}$	MPa	✓	✓	✓
$V_{Rd,sy}$	kN	390,455	390,455	374,863
$V_{Ed} * \beta$	kN	361,69	369,33	349,14
$V_{Rd,sy} \geq V_{Ed} * \beta$	kN	✓	✓	✓
Počet trnů	ks	24	24	12
Profil	mm	10	10	12
Počet lišt	ks	6	6	4

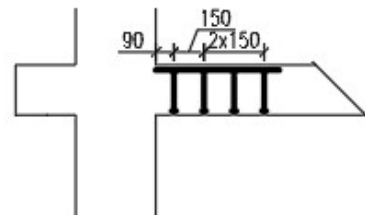
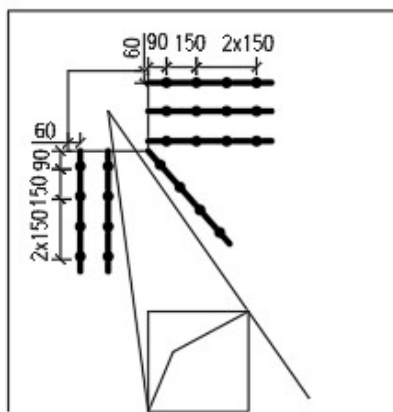


### 3.3.6 Schéma vyztužení na pozici 3

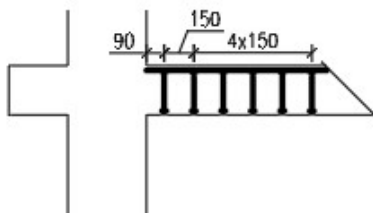
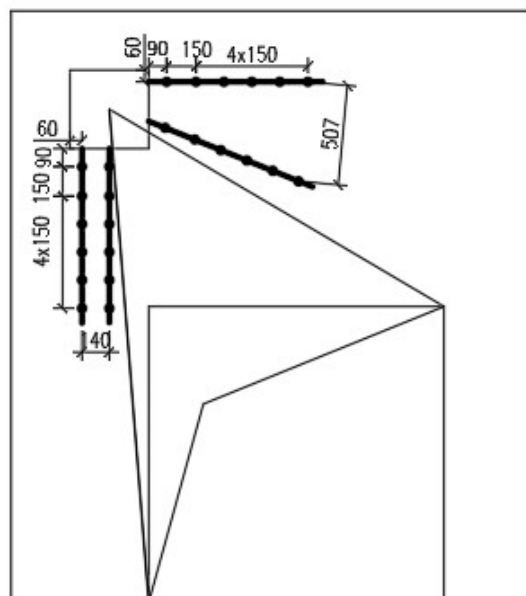
OTVOR 1



OTVOR 2



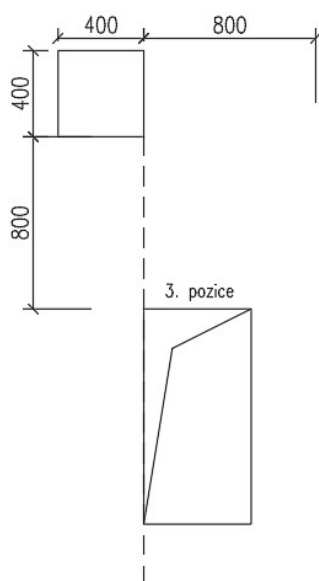
OTVOR 3



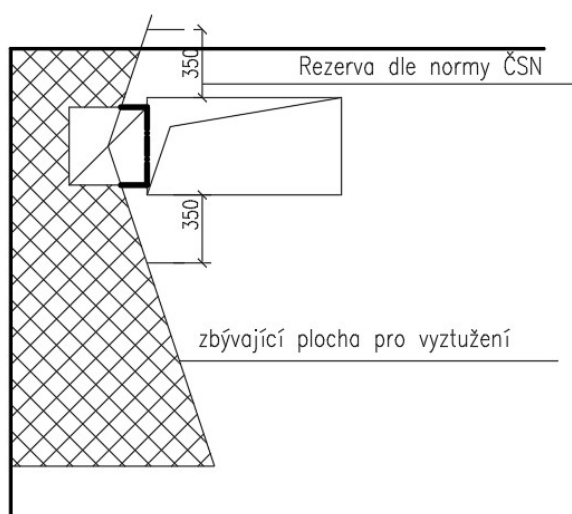
### 3.4 Vyhodnocení studie

Z jednotlivých výpočtů a schémat, které byly provedeny za účelem studie vyplynulo několik zásadních poznatků.

Bylo zjištěno, že z hlediska velikosti síly na protlačení vychází nejlépe umístění otvoru na roh sloupu. To platí pro všechny 3 uvažované otvory, přičemž čím větší otvor na tuto pozici umístíme, tím menší bude vycházet síla na protlačení. To lze také usoudit při porovnání hodnot součinitele nesymetrického zatížení  $\beta$ , jehož výsledná hodnota se odvíjí od průběhu vnitřních sil v místě podepření sloupem. Pokud v nějakém jiném případě dojde k umístění otvorů do vzdálenosti maximálně  $6d$  od líce podpory, je jistější součinitel  $\beta$  nechat spočítat pomocí výpočetního programu nebo ručně dle postupu uvedeného v ČSN EN 1992-1-1 a nepoužívat automaticky doporučené hodnoty uvedené v tabulkách, kde je hodnota stanovena na 1,5. Výsledná hodnota může být totiž odlišná. Se zvyšující se hodnotou  $\beta$  dochází k navýšení napětí v kontrolovaných obvodech a také ke zvýšení hodnoty součinitele  $\beta$ , což následně vede k navýšení délky vnějšího kontrolovaného obvodu a tím se zvyšuje množství potřebné výztuže na protlačení. Z hlediska umístění otvorů bylo nevhodnější zvolit pozici otvoru tak, aby jeho delší strana lícovala s lícem sloupu, čemuž odpovídala *pozice 3*. Toto tvrzení se opírá o fakt, že nejvíce došlo k redukci kontrolovaných obvodů v pozici 1 a nejméně pak v pozici 3. Lze z toho také učinit závěr, že nejlepší možností návrhu bude vždy otvor s poměrem stran například 1:2, čili obdélníkového půdorysu, který lícuje delší stranou zároveň s lícem sloupové řady – viz. Obrázek 32.



Obrázek 32 - Umístění obdélníkového sloupu, který lícuje se stranou sloupu



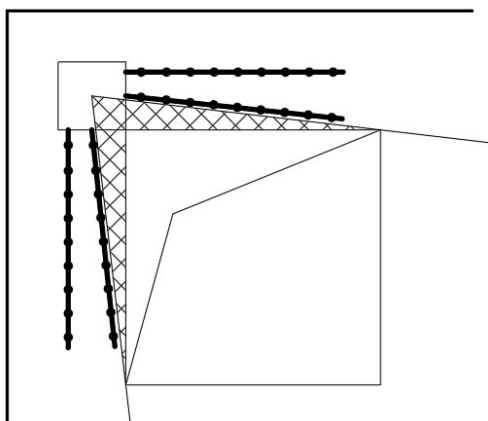
Obrázek 33 - Zobrazení následků umístění otvoru na hranu sloupu

Je však nežádoucí umístit prostup přesně na osu mezi sloupy. Tím by došlo k vyřazení půlky délky obvodu  $u_0$  a v případě, že by se otvor nacházel v blízkosti sloupu, mohlo by to pro konstrukci mít špatný dopad, protože v tu chvíli by veškeré zatížení přenášela pouze jedna strana sloupu – viz Obrázek 33. V normě ČSN EN 1992-1-1 se sice přímo nehovoří o redukci posuzovaného obvodu  $u_0$ , ale pokud umístíme otvor do těsné blízkosti líce podpory nebo přímo k němu, bylo by vhodně předpokládat i redukci obvodu  $u_0$ , který je vždy roven obvodu podpory. U rohového sloupu se například uvažuje pouze polovina obvodu, což odpovídá délce dvou stran, které jsou orientovány dovnitř konstrukce. V takovém případě lze očekávat, že nevyhoví ani únosnost tlačných diagonál. Pokud se ještě zaměříme na již zmiňovanou redukci kontrolovaných obvodů, tak je třeba si uvědomit, že pokud budeme otvor vzdalovat od sloupu jakýmkoliv směrem, tak se výseč redukující kontrolované obvody bude uzavírat a tím menší napětí nám bude v kontrolovaných obvodech vznikat. Naopak pokud umístíme otvor na roh podpory, výseč bude širší, dojde k větší redukci kontrolovaného obvodu  $u_1$ , tím se zvýší napětí a tím vzrostou požadavky na stupeň vyztužení. Nejvyšší stupeň vyztužení vychází dle studie pro otvory umístěné na rohu podpory. To znamená, že se stavba prodraží a návrh vyjde nevhodný. Pokud navíc bude muset při návrhu vyztuže dojít k navýšení hodnoty délky vnějšího kontrolovaného obvodu  $u_{out}$ , bude to znamenat, že hranice bude muset být posunuta o větší vzdálenost, než kdyby byla výseč redukující délky obvodů užší.

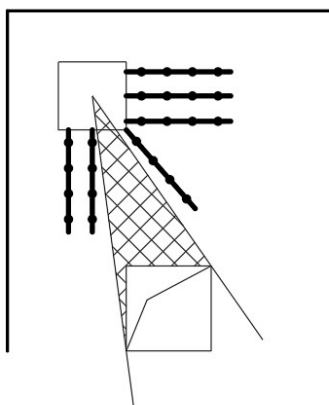
V průběhu studie došlo k postupnému návrhu vyztuže a byla vykreslena schémata vyztuže na protlačení, která byla kontrolována výpočetními programy od společností PEIKKO a JORDAHL. V poslední řadě dojde k zhodnocení vyztužování desky na protlačení v oblasti kolem rohového sloupu.

Už bylo řečeno, že pokud jsou otvory umístěny blízko k líci podpory, zmenšuje se tím půdorysná plocha pro umístění vyztuže na protlačení, v tomto případě smykových trnů – viz Obrázek 53. To znamená, že bude možno umístit malý počet smykových lišt. Tím se sníží počet trnů, které lze umístit kolem sloupu a tím bude i limitována únosnost celé oblasti.

OTVOR 3 – POZICE 1



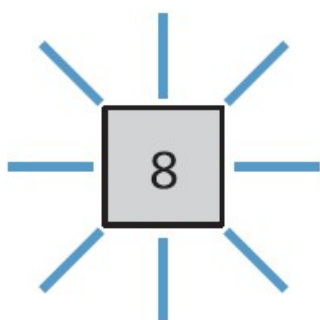
OTVOR 2 – POZICE 3



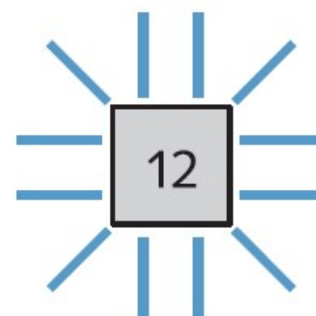
Obrázek 34 - Zobrazení vlivu umístění otvoru na redukci plochy pro uložení smykových trnů

V případě velkých zatížení by nám tedy nemusel stačit počet smykových lišt umístěných kolem sloupu a nemuselo by pomoci ani zvýšení profilu trnů. Pak by se muselo upustit od návrhu smykových trnů a muselo by dojít například k návrhu ocelové hlavice nebo zmenšení otvoru či změně jeho umístění. Z provedené analýzy je patrné, že čím se bude otvor vzdalovat od rohového sloupu, tím bude růst počet lišt, které budeme moci do oblasti umístit. Zjednodušeně řečeno je v tu chvíli možno lépe kalkulovat s množstvím umístěných lišt a jejich profilem a lépe tak přizpůsobit návrh dle potřeb. Může pak být umístěno méně lišt o větším profilu nebo naopak více lišt o menším profilu. Pokud bude otvor blíže ke sloupu, bude muset být navrženo méně lišt s větším profilem smykových trnů. Důležité je také zmínit polohu jednotlivých smykových lišt. Výrobci patentovaných smykových výrobků většinou ve svých podkladech uvádějí buď radiální nebo semi – tangenciální umístění smykových lišt – viz Obrázek 35.

A 8

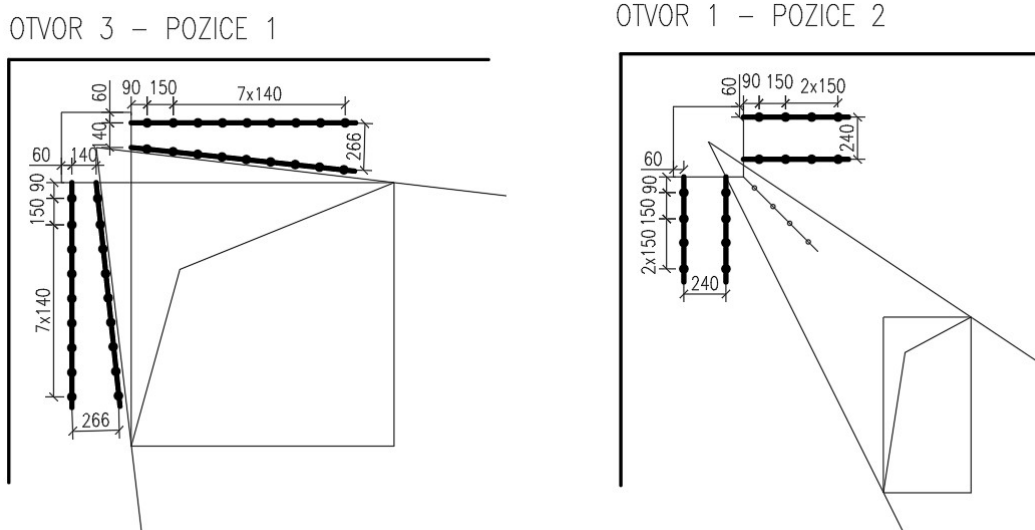


A 12



Obrázek 35 - Schéma radiálního-A8 a tangenciálního-A12 uložení smykových trnů [15]

Dále uvádějí, že se smykové lišty neumísťují do výseče redukující kontrolované obvody. Pokud tedy máme návrh rozmístění a nějaká z lišt se nachází v nepřijatelné oblasti, máme dvě možnosti. Návrh ponecháme a pouze odečteme lištu ležící v oblasti, nebo můžeme nejbližší lištu se smykovými trny natočit tak, že kopíruje rameno výseče a zároveň odstraníme lišty nacházející se v nevyhovující oblasti – viz Obrázek 55.



Obrázek 36 - Přizpůsobení polohy smykových lišt

Na závěr můžeme porovnat výsledky vzešlé z analýzy s výsledkem referenční konstrukce. Pokud se podíváme na výsledky referenční konstrukce a konstrukce s kterýmkoli z otvorů, je na první pohled jasné, že vždy bude z hlediska finančního i konstrukčního jednodušší navrhovat konstrukci bez otvorů.

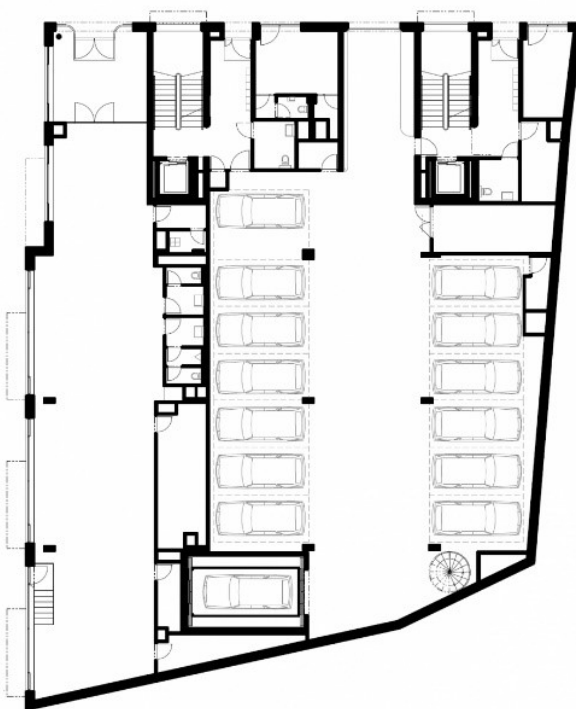
## 4 Analýza konstrukce na reálné stavbě

Poslední část práce je zaměřena na návrh stropní konstrukce vybraného objektu a zaměřením na lokálně podepřenou část s výskytem stopních otvorů.

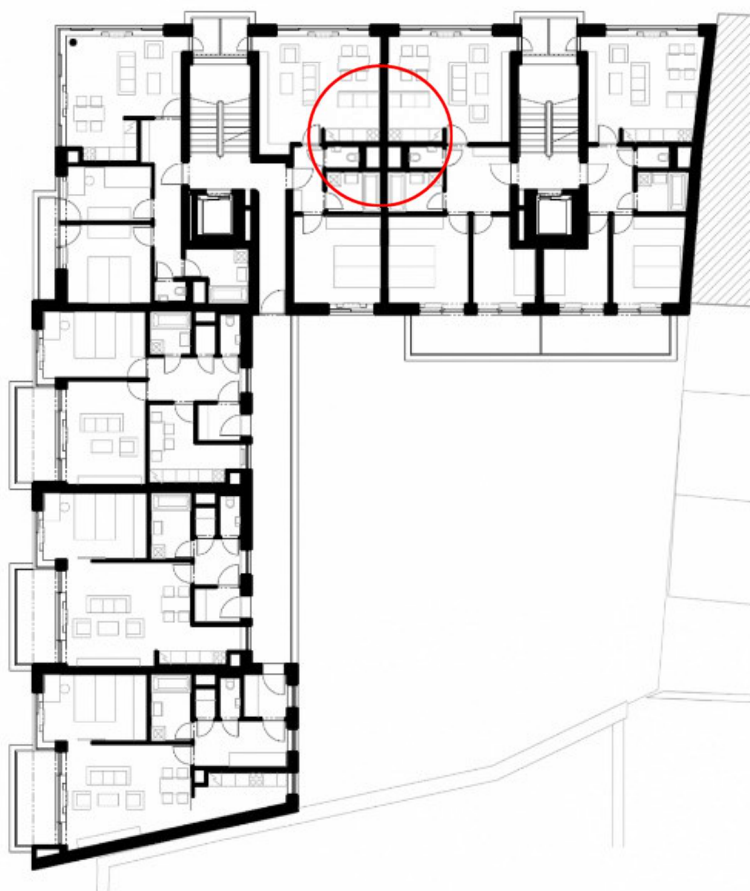
### 4.1 Stručný popis stavby

Jedná se o polyfunkční dům, který je umístěn v ulici Bratislavská v Brně. Stavba je umístěna do stávající zástavby. Polyfunkční dům má tvar písmene L, má celkem 8 nadzemních podlaží a pouze 1 podlaží podzemní. Půdorysné rozměry jsou 36,33x27,87 m. Stavba slouží jako bytový dům, parkoviště a v přízemí se nachází 2 menší obchody. Podzemní podlaží a velká část přízemí jsou využity jako parkoviště. Zbýlá část přízemí byla vyčleněna pro obchody a vchody do domu. Vrchní patra jsou typický bytový dům. V osmém, a tedy nejvyšším patře se nachází střešní byt.

Hlavním nosným prvkem budovy jsou dvě železobetonová jádra v jejichž prostoru se nachází výtahy a schodiště. Konstruktivní systém je kombinovaný. Obvodová stěna v 1.NP stejně jako suterénní stěna, jádra a schodiště jsou železobetonová a tvoří základní kostru objektu společně s vnitřním systémem železobetonových sloupů. Základní půdorys (Obr. 32) se po výšce objektu změní na tvar L – viz Obrázek 37, u střešního bytu potom pouze na obdélník. Konstruktivní výška všech podlaží v objektu je shodně 3,5m.



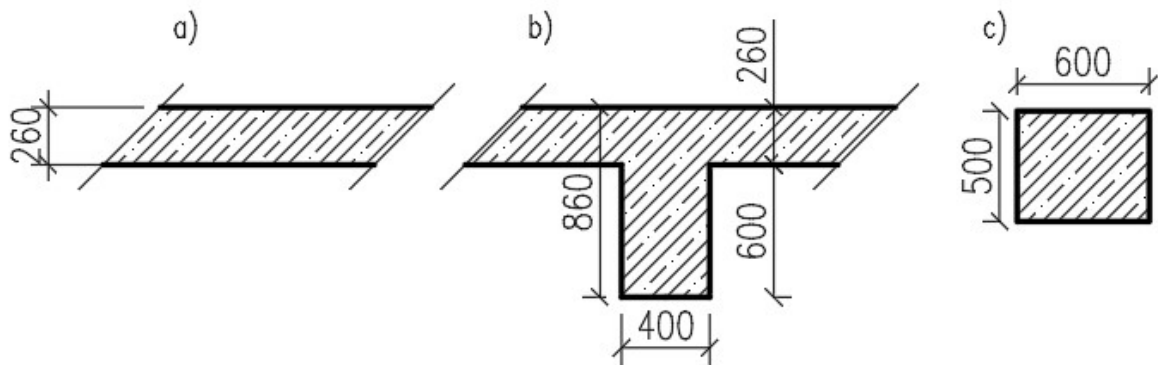
Obrázek 37 – Architektonická studie 1.NP [19]



Obrázek 38 – Architektonická studie typického podlaží [19]

## 4.2 Předběžný návrh nosných prvků

Po určení veškerého zatížení, které na konstrukci působí byly stanoveny v rámci předběžného výpočtu rozměry nosných prvků. Stropní deska byla navržena empiricky i podle ohybové štíhlosti. Následně byl určen odhad rozměru a deska byla posouzena z hlediska ohybové štíhlosti. Výpočet byl proveden ručně bez použití softwaru. Pomocí metody součtových momentů došlo ke stanovení součtového momentu a následně maximálního návrhového momentu, na který byla deska posouzena. O vhodnosti užití metody součtových momentů by se dalo diskutovat, protože konstrukce nemá pravidelné rozměry a nemá ani dostatečný počet polí. Pro předběžný návrh by však přesnost metody měla být dostačující. Po stanovení rozměrů prvků došlo k sumarizaci veškerého zatížení ze všech podlaží do paty sloupu a byly stanoveny rozměry sloupu. Níže je uveden přehled rozměrů všech prvků - viz Obrázek 39. Rozměry a rozpory konstrukce – viz Obrázek 40.

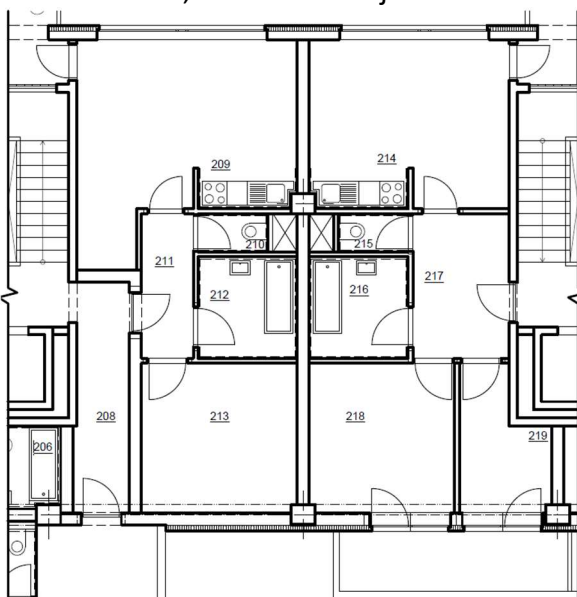


Obrázek 39 - Průřezy nosných prvků konstrukce a) Deska, b) Průvlak, c) Sloup

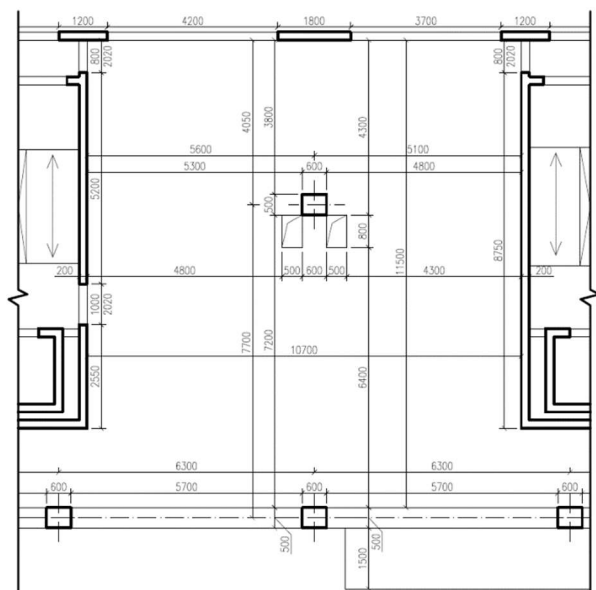
### 4.3 Analýza lokálně podepřené desky v objektu

K podrobné analýze konstrukce bylo vybráno místo v typickém podlaží, které je pro návrh konstrukce kritické z důvodu největšího zatížení. Přesněji řečeno se jedná o stropní desku podepřenou sloupem v místě dělicí mezi bytové akustické stěny a zároveň ohraničené železobetonovými jádry a obvodovými stěnami vyznačeno červeným kroužkem viz. Obrázek 38. O kritické místo se také jedná z toho důvodu, že u rohů sloupu se nachází dva otvory větších rozměrů, které slouží k vedení sítí TZB pro bytové jednotky. Otvory mají rozměry 500x800 mm. Stavební schéma kritického výseku konstrukce je zobrazeno – viz Obrázek 40. Konstruktivní schéma je zobrazeno níže – viz Obrázek 41.

Je patrná poměrně velká zatěžovací plocha sloupu – viz Obrázek 41. Namáhání této části konstrukce navíc zvyšuje přítomnost akustické stěny, která probíhá přímo nad sloupem přesně mezi otvory. Zároveň si můžeme všimnout jasných nepravidelností rozměrů konstrukce ve všech směrech s tím, že ze tří stran jsou kolem řešeného místa stěny a ze čtvrté je sloupová řada.



Obrázek 40 - Stavební schéma kritické oblasti

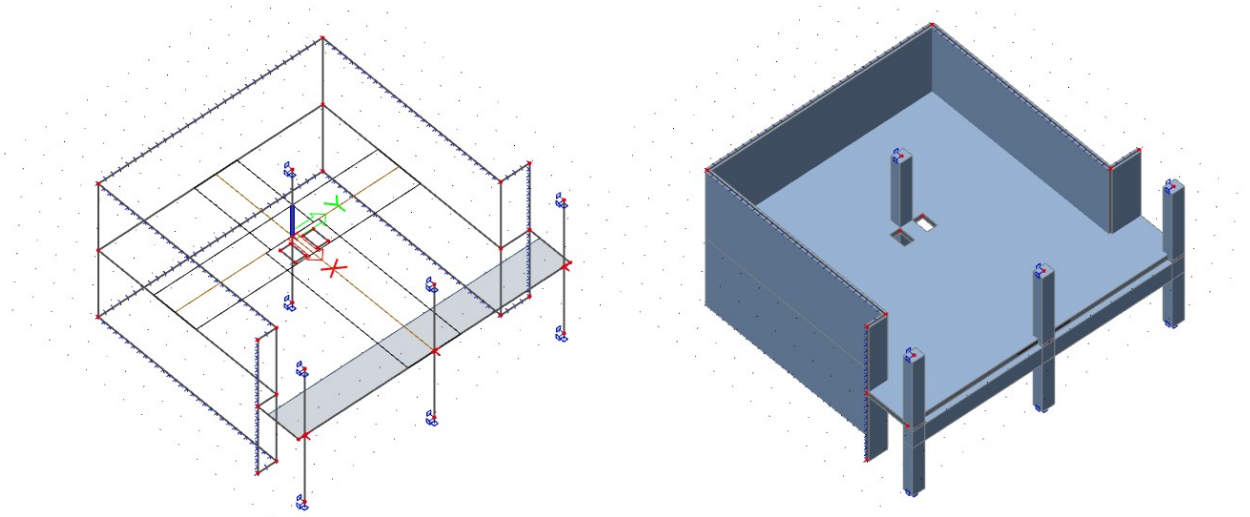


Obrázek 41 – Konstruktivní schéma kritické oblasti



#### 4.3.1 Návrh a posouzení ohybové výztuže desky

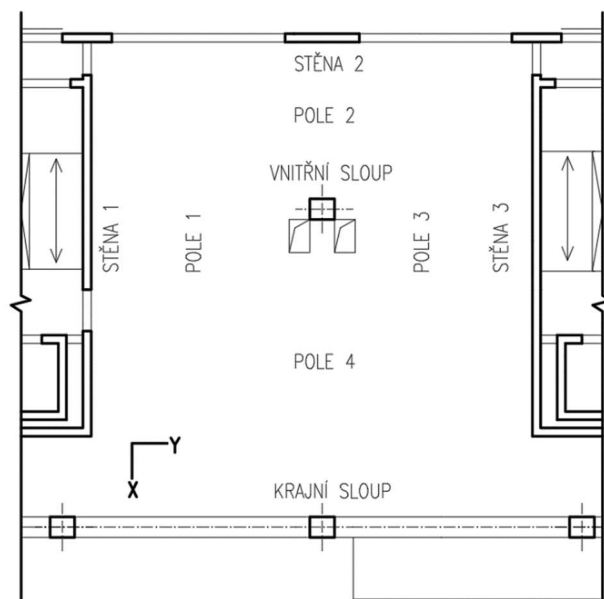
Před ověřením desky na protlačení byl proveden návrh ohybové výztuže, aby byl znám stupeň vyztužení v kritické oblasti. Ke stanovení maximálních návrhových momentů, na které pak byla výztuž navržena, byl vytvořen výpočetní model v programu SCIA – viz Obrázek 42. Jedná se o výsek patra objektu, který zahrnuje řešené místo, přilehlou obvodovou stěnu, stěny železobetonových jader a přilehlou řadu sloupů s průvlakem.



Obrázek 42 - Výpočtový model v programu SCIA

Pomocí průměrovacích pásů byly stanoveny tzv. základní návrhové momenty na horním i spodním povrchu desky v obou směrech ve sloupových pruzích. K návrhu byly použity hodnoty momentů v líci sloupu, které byly odečteny pomocí funkce řez.

Následně byla navržena ohybová výztuž desky v obou směrech. Tím myšleno potřebná plocha výztuže, došlo k návrhu profilu, rozteče a umístění výztuže. Celý návrh ohybové výztuže byl vypracován ručně a postup je uveden ve statickém výpočtu. Níže je uveden pouze finální návrh.



Obrázek 43 - Schéma rozdělení oblastí uvažovaných při návrhu ohybové výztuže

Tabulka 4 - Návrh profilů ohybové výztuže a jejich rozteče

lokace	povrch	směr	Návrh výztuže
Vnitřní sloup	horní	X	Ø 16 á 140 mm
		X mezi	Ocelový profil
		Y	Ø 12 á 140 mm
Krajní sloup		X	Ø 14 á 120 mm
Stěna 1		Y	Ø 12 á 200 mm
Stěna 2		X	Ø 12 á 200 mm
Stěna 3	Y	Ø 12 á 200 mm	
Pole 1	dolní	Y	Ø 12 á 200 mm
Pole 2		X	Ø 12 á 200 mm
Pole 3		Y	Ø 12 á 200 mm
Pole 4		X	Ø 12 á 150 mm

Finální návrh se od původního návrhu vyztužení, který byl spočítán podle ohybové únosnosti, liší v několika případech. Důvodem změn ve vyztužení bylo umístění ocelového profilu. Z toho důvodu není mezi otvory navržena ohybová výztuž. V místě styku s ocelovým svařencem bude výztuž navařena na pásnice. To platí pro oba povrchy výztuže. Průřezová plocha výztuže, která byla přerušena otvory, bude nahrazena příložkami stejných profilů vždy na hraně příslušného otvoru.

### 4.3.2 Výztuž na protlačení

Návrh a posouzení stropní desky na protlačení byly provedeny podle metodiky ČSN EN 1992-1-1. Z důvodu ověření korektnosti výpočetního numerického modelu byly provedeny 2 paralelní výpočty namáhání stropní desky - ruční analytický výpočet kontrolovaných obvodů a smykového napětí v nich a automatické generování délek obvodů i jejich napětí na prostorovém modelu v programu SCIA Engineer. Porovnáním výsledků bylo zjištěno, že výpočetní program neredukuje velikost obvodu  $u_0$  z důvodu výskytu otvorů v okolí sloupu. Následkem toho byly patrné značné rozdíly ve velikostech smykového napětí v tomto obvodě. U základního kontrolovaného obvodu  $u_1$  již výraznější rozdíly patrné nejsou.

Tabulka 5 - Porovnání délek kontrolovaných obvodů a příslušných napětí

Ruční výpočet		SCIA	
$u_0$ [m]	$v_{Ed,0}$ [MPa]	$u_0$ [m]	$v_{Ed,0}$ [MPa]
1,43	3,04	2,2	2,01
$u_1$ [m]	$v_{Ed,1}$ [MPa]	$u_1$ [m]	$v_{Ed,1}$ [MPa]
3,397	1,28	3,339	1,33

Dle normy se dá součinitel nesymetrického zatížení pro vnitřní sloup stanovit na 1,15. Vzhledem k výskytu otvorů nebylo zřejmé, zda lze tuto hodnotu automaticky převzít. Ručním výpočtem byla hodnota stanovena na 1,18, zatímco SCIA určila hodnotu na 1,14. Nutno poznamenat, že ruční výpočet se řídil metodikou dle ČSN 1992-1-1, zatímco výpočetní program metodikou DIN EN. Dále bylo ve výpočtu uvažováno s hodnotou 1,14.

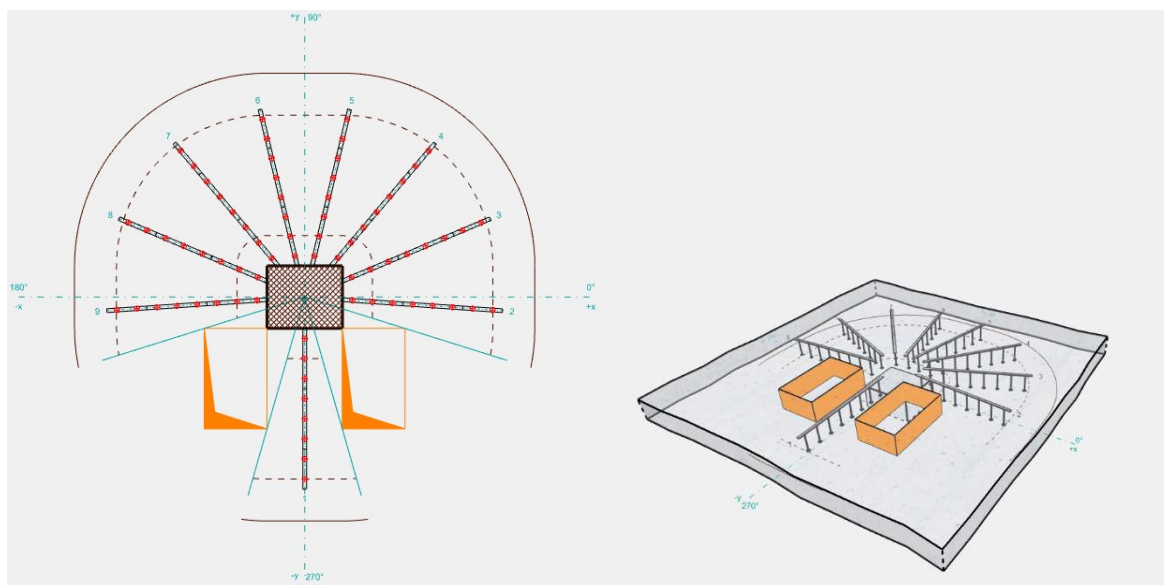
Tabulka 6 - Porovnání hodnot součinitele nesymetrického zatížení

Ruční výpočet	Tabulková hodnota	SCIA
1,18	1,15	1,14

Při návrhu bylo zjištěno, že se deska dle metodiky ČSN EN 1992-1-1 nedá běžnou betonářskou výztuží na protlačení vyztužit. Bylo přistoupeno k návrhu smykových trnů dle metodiky ETA. Návrh smykových trnů byl proveden ručním výpočtem podle postupu uvedeného v příručce výrobce JORDAHL, který byl v jednotlivých krocích porovnán s výpočetním programem od stejného výrobce. Podmínka v prvním kontrolovaném obvodu sice vyhověla, ale při původním vyztužení podélnou výztuží bez výraznější rezervy. Aby vyšla podmínka příznivěji, bylo navrženo zvýšit stupeň vyztužení. Toho bylo dosaženo zvýšením

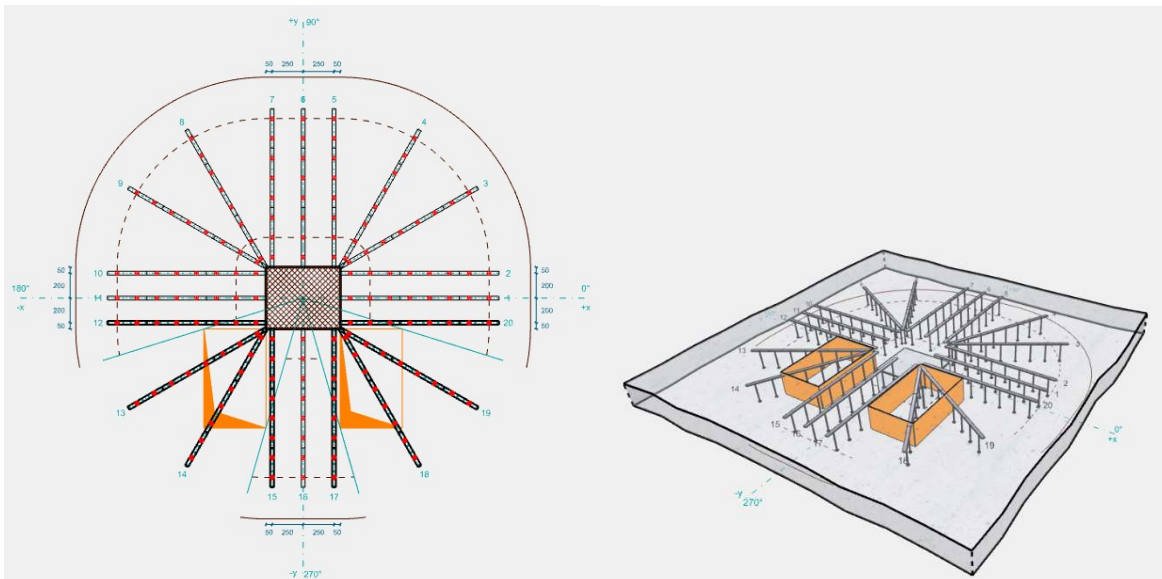
profilu výztuže u horního povrchu ve směru Y nad podporou z *profilu 12 á 140 mm* na *profil 14 á 140 mm*.

Ruční výpočet byl zvolen kvůli nepravidelnosti konstrukce. Ačkoliv se může zdát návrh programu ideální, nedá se použít na celou uvažovanou konstrukci. Hlavním důvodem nefunkčnosti programu je právě již zmiňovaná nepravidelnost konstrukce a přítomnost otvorů. Program tak nedokáže optimalizovat návrh smykových lišt podle míry zatížení jednotlivých oblastí, které není rovnoměrné. Do oblasti mezi otvory, která je kritická, navolil program pouze jednu smykovou lištu při radiálním rozložení, což je nepřijatelné - viz Obrázek 44.



Obrázek 44 - Radiální rozložení smykových lišt podle výpočetního programu JORDAHL

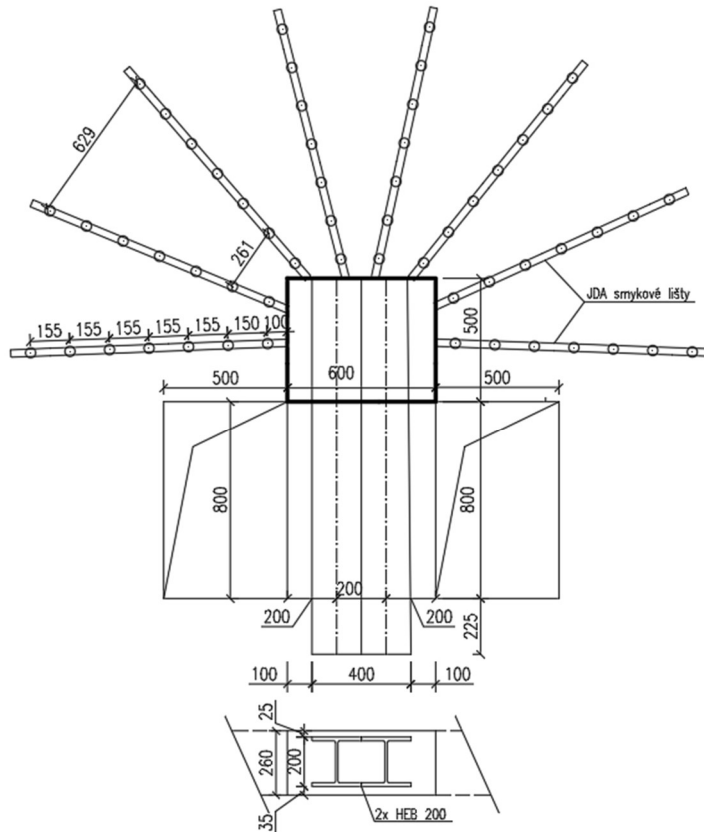
Při semi-ortogonálním rozložení navrhl do tohoto prostoru sice už 3 lišty, ovšem pouze jedna jediná se nacházela ve využitelné oblasti mimo výseč, která má střed v ose sloupu a vede přes vrcholy otvoru dle pravidel o redukci kontrolovaných otvorů, a tím dochází k výraznému snížení využitelné plochy pro umístění smykových lišt mezi otvory – viz Obrázek 45. Kvůli tomu je návrh programu v obou případech nefunkční.



Obrázek 45 - Semi-ortogonální rozložení smykových lišt podle výpočetního programu JORDAHL

Z těchto důvodů se pro návrh výztuže na protlačení dá využít pouze návrh lišt mimo kritickou oblast. Návrh dle programu byl tedy optimalizován podle ručního výpočtu a byla z něj převzata pouze rozmístění jednotlivých lišt dle radiálního uspořádání. Jako finální návrh bylo stanoveno 8 smykových lišt radiálně rozmístěných do půlkruhu. Na každé liště 7 smykových trnů – viz Obrázek 46. První z nich vzdálený vždy 100 mm od líce podpory a další na hranici C oblasti. Zbylé trny jsou 155 mm od sebe, přičemž poslední z nich je umístěn na hranici D oblasti. Smykové trny se dají rozdělit na dvě lišty po dvou trnech a jednu lištu po třech. Celkový výčet výrobků je  $16 \times JDA - 3/14/205-480 + 8 \times JDA-2/14/205-320$ .

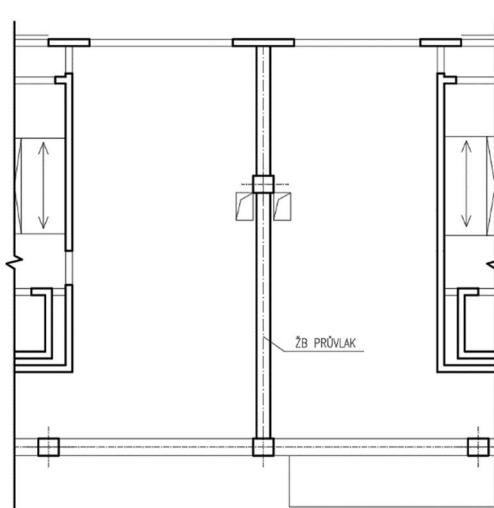
Jako poslední zbývalo vyřešit výztuž mezi otvory. Bylo samozřejmě možné do tohoto prostoru navrhnout regulérní ŽB průvlak, tím by ovšem byla narušena rovinnost podhledu desky. Do této oblasti byl navržen svařenec ze dvou ocelových profilů HEB 200. Dva profily se k sobě srazí pásnicemi a dojde k jejich svaření. Místo styku těchto profilů bude přesně na ose sloupu. Svařenec bude zatažen až na líc sloupu a povede za okraj otvoru. Ocelové profily budou plnit jak funkci výztuže na protlačení, tak výztuže ohybové. V rámci návrhu bylo provedeno uvěření ocelového svařence na smyk a na ohyb dle ČSN EN 1993-1-1: Eurokód 3. Z toho vyplývá, že všechna výztuž navržená mezi otvory je tímto nahrazena. Podélná výztuž ve směru X a Y bude v tomto místě přerušena a jednotlivé pruty budou navařeny na pásnice ocelových profilů.



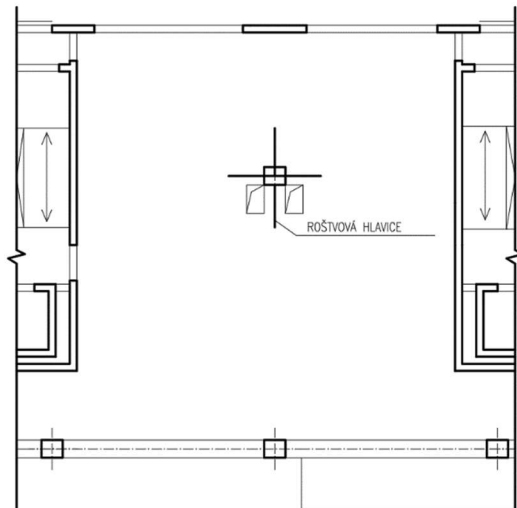
Obrázek 46 - Schéma výztuže na protlačení v kritickém místě konstrukce

#### 4.3.3 Možnosti optimalizace návrhu

Ačkoliv je uvažovaný návrh funkční, jedná se o kombinaci patentovaných prvků a ocelových profilů, což by nemuselo představovat nejlevnější řešení. Konstruktivně daleko jednodušší by bylo ve směru X uvažovat průvlak, který by byl od stěny až po krajní sloup. Průvlak by tak kopíroval polohu akustické mezibytové stěny, což by výrazně napomohlo k přenosu zatížení. Narušilo by to ovšem rovinnost podhledu – viz Obrázek 47.



Obrázek 47 - Schéma umístění průvlaku



Obrázek 48 - Schéma umístění rošťové ocelové hlavičky

Dalším možným způsobem by byl návrh skryté ocelové roštové hlavice s doplněním o výztuž na protlačení ve formě smykových trnů, ohybů či třmínků. Dalo by se využít například stejných profilů HEB200 – viz Obrázek 48.

## 5 Závěr

V rešeršní části práce byla shrnuta základní problematika návrhu lokálně podepřených železobetonových desek s důrazem na namáhání v protlačení. Bylo ukázáno, že volba výpočetního postupu je závislá na konkrétním typu použité výztuže. Vliv otvorů na chování konstrukce není zanedbatelný a zejména jejich tvar, velikost a pozice vůči lokální podpoře hraje významnou roli při navrhování desky.

Z výsledků studie je patrné, že čím blíže bude umístěn prostup ke sloupu, tím bude menší výsledná síla způsobující protlačení a naopak. Geometrie otvoru vždy ovlivní redukci kontrolovaných obvodů a tím i velikost napětí v kontrolovaných obvodech. Pokud umístíme velký otvor do blízkosti podpory, dojde k výraznému zmenšení délek kontrolovaných obvodů a navýšení napětí. S tím také souvisí hodnota stupně vyztužení. Čím méně zredukujeme kontrolovaný obvod, tím menší stupeň vyztužení můžeme při návrhu a posouzení uvažovat. Jinými slovy bude velký otvor pro návrh vždy méně výhodný než menší. Kromě velikosti a umístění otvoru má velký význam na velikost smykového napětí a redukci kontrolovaných obvodů také orientace stran otvoru ke stranám sloupu. Pokud bude delší strana otvoru rovnoběžně se stranou sloupu, dojde k větší redukci kontrolovaných obvodů a zvýšení smykového napětí. Pokud bude otvor umístěn kratší stranou rovnoběžně se stranou sloupu a nebude umístěn přesně na osu sloupu, bude redukce obvodů i velikost smykového napětí nižší. Zároveň je třeba dodat, že pokud umístíme čtvercový a obdélníkový otvor do stejné vzdálenosti a polohy a delší strana obdélníku bude kolmo ke straně sloupu, pak nebude rozdíl ve jednotlivých parametrech tak znatelný. Jelikož nedojde k příliš odlišné redukci kontrolovaných obvodů.

Z hlediska vyztužení jsou nevýhodné otvory velkých půdorysných rozměrů. Při jejich umístění do blízkosti sloupu dochází k navýšení množství výztuže na protlačení a hlavně dochází k redukci plochy, do které lze výztuž umístit tak, aby byla efektivně využita. Tím dochází k omezení možností rozmístění výztuže kolem sloupu. Pokud ovšem umístíme malý otvor do větší vzdálenosti od sloupu, můžeme rozmístit více smykových lišt o menším profilu a tím optimalizovat celý návrh.

Z konstrukční části se dá vyvodit, že řešení konstrukce s dvěma prostupy umístěnými na rohu sloupu je velice složité a konstrukčně zbytečně náročné i z hlediska výsledného vyztužení oblasti. Mezi otvory se nedá použít výztuž na protlačení ve formě smykových trnů ani ohybů,



či třmínků z důvodu malé průřezové plochy na umístění výztuže a musí se najít alternativní řešení. V rámci návrhu také došlo k nárůstu hodnoty stupně vyztužení oproti původní hodnotě, která vycházela z návrhu ohybové výztuže, což značně prodražuje celou stavbu. Pokud by tedy mělo dojít k umístění dvou prostupů v blízkosti sloupu zároveň, bylo by nutné prostupy zmenšit na co nejmenší možné rozměry a umístit je co nejdál od líce styčné plochy sloupu nebo by se mělo přistoupit k jinému konstrukčnímu řešení. Tím myšleno navrhnout velkou skrytou ocelovou hlavicí nebo přistoupit k úplně jinému řešení a navrhnout průvlak nebo ocelový profil.

## 6 Seznam použitých zdrojů a literatury

### Normy, technická pravidla

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI. Listopad 2006
- [2] ČSN EN 731201. Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [3] JORDAHL. ETA – 13/0136. Double headed studs as punching reinforcement for flat slabs and footings. 20 March 2018
- [4] ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Prosinec 2006

### Odborná literatura a Články

- [5] KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jitka VAŠKOVÁ. Navrhování železobetonových konstrukcí: příklady a postupy. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [6] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. Betonové stropní a schodišťové konstrukce. 2018. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06323-1.
- [7] TIPKA, Martin a Jiří NOVÁK. Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek. V Praze: Projekt FRVŠ 905/2011/61. Dostupné z [http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty\\_soubory/FRVS\\_2011/analyza\\_lok\\_pod\\_desek.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2011/analyza_lok_pod_desek.pdf)
- [8] BAŽANT, Zdeněk. Betonové konstrukce I: Modul CS 4 - Betonové konstrukce plošné – část 2. Brno: FAST, 2004. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL05Betonove%20konstrukce%20I/CS4Betonove%20konstrukce%20plosne%20II.pdf>
- [9] VAŠKOVÁ JITKA. Přednáška Betonové a zděné konstrukce 1 – desky – 3. část. ČVUT v Praze, 2017.
- [10] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. Protlačení z pohledu ČSN EN 1992-1-1 a předpisů pro patentovanou smykovou výztuž. *Beton TKS*. 2014, (5), 60-67.
- [11] ŠMEJKAL, Jiří, Jaroslav PROCHÁZKA a Hana HANZLOVÁ. Navrhování na mezní stav porušení protlačení - 2. část. *Beton TKS*. 2011, (6), 78-85.
- [12] ŠMEJKAL, Jiří, Jaroslav PROCHÁZKA a Hana HANZLOVÁ. Navrhování na mezní stav porušení protlačení – část 1. *Beton TKS*. 2011, (5), 66-72.

- [13] KRÁTKÝ, Jiří, Jaroslav PROCHÁZKA. Navrhování betonových konstrukcí do praxe – Mezní stavy únosnosti při porušení smykem, kroucením a protlačením. Beton TKS. 2003, (4), 50-51
- [14] BERAN, Pavel. Zvýšení únosnosti stropní desky s Wünschovými hlavicemi. Beton TKS. 2012. (5) 56-60

### **Webové zdroje**

- [15] HALFEN. Halfen durchstanz- und Querkraftbewehrung produktinformation technik. Dostupné z:  
[z:http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/reinforcementsystems/HDB\\_17.1.pdf](http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/reinforcementsystems/HDB_17.1.pdf)
- [16] HALFEN. Punching shear reinforcement and shear reinforcement technical product information. Dostupné z:  
[http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/reinforcementsystems/HDB\\_17.1-E.pdf](http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/reinforcementsystems/HDB_17.1-E.pdf)
- [17] PEIKKO. Technický manuál. Výztuž proti protlačení desek. Dostupné z:  
<https://media.peikko.com/file/dl/i/HTqPtQ/sWY949oXpKw2dpToIjRXVA/PSBCZ001TMAWeb.pdf>
- [18] JORDAHL. Technické informace. Smyková výztuž proti protlačení JDA. Dostupné z  
[https://jpcz.cz/fileadmin/jordahlbau/microsite\\_cz/downloads/LIT-JDA-B-CZ.pdf](https://jpcz.cz/fileadmin/jordahlbau/microsite_cz/downloads/LIT-JDA-B-CZ.pdf)
- [19] archiweb.cz. Polyfunkční dům Bratislavská.  
Dostupné z:<https://www.archiweb.cz/b/polyfunkcni-dum-bratislavska>
- [20] Scia Engineer. Obrázek výpočetního modelu.  
Dostupné z: <https://www.scia.net/sites/default/files/products/scia-engineer-16-table-results-interactive.jpg>