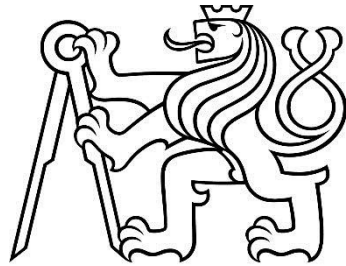


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2020**

**TOMÁŠ JANECKÝ**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

# **Citlivostní analýza smykové únosnosti lokálně podepřené desky v protlačení**

**Bakalářská práce**

Vypracoval: Tomáš Janecký  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Novák  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2020



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Janecký</u>	Jméno: <u>Tomáš</u>	Osobní číslo: <u>460477</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Citlivostní analýza smykové únosnosti lokálně podepřené desky v protlačení</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Sensitive analysis of punching shear resistance of a flat slab</u>	
Pokyny pro vypracování: Předmětem bakalářské práce bude zpracovat následující části: Zásady ověření smykové únosnosti lokálně podepřené desky v protlačení - základní pravidla, metody výpočtu, přehled typů smykové výztuže, konstrukční zásady atd. Předběžný návrh konstrukčního řešení vybraného objektu a podrobný návrh lokálně podepřené desky. Citlivostní analýza únosnosti lokálně podepřené desky v protlačení.	
Seznam doporučené literatury: ČSN EN1992-1-1, Model Code 2010, odborné články PROCHÁZKA, Jaroslav, Jiří ŠMEJKAL a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. Betonové stropní a schodišťové konstrukce. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. Punching of structural concrete slabs, Technical report prepared by the CEB/fib task group	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Josef Novák, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>19.2.2020</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>17.5.2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je 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“.*

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

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem veškerou použitou literaturu a webové zdroje, ze kterých jsem čerpal informace, uvedl v seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že souhlasím se zveřejněním této práce.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval panu Ing. Josefu Novákovi za možnost u něj vypracovat bakalářskou práci, za trpělivost a rady, které vedly k zhotovení práce.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá protlačáním lokálně podepřených stropních desek. Nejdříve je zpracován souhrn obecných poznatků k této problematice, přehled základních druhů výztuže na protlačení a rozbor výpočetních postupů podle ČSN EN 1992-1-1 a Model Code 2010. Následující část práce se zaměřuje na deterministický návrh smykové výztuže desky u vybraného objektu a citlivostní analýza smykové únosnosti desky v protlačení. Ta se zabývá analýzou citlivosti smykové únosnosti desky v protlačení na vybrané vstupní parametry. Součástí citlivostní analýzy je i studie účinků přirozené variability vstupních parametrů. Získané poznatky ukazují, že v předběžném posouzení na protlačení, mají největší vliv parametry třída betonu a rozměry sloupu. V posouzení již se smykovou výztuží mají největší vliv parametry průměr ohybové a smykové výztuže a počet lišt se smykovou výztuží.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Protlačení, lokální podepření, stropní deska, smyk, výztuž, citlivostní analýza, únosnost, deterministický návrh, beton, ohyb.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the punching shear resistance of flat slabs. First, the summary of general findings on the topic, the overview of fundamental types of punching shear reinforcement and computational approaches according to ČSN EN 1992-1-1 and Model Code 2010 are presented. The following part of the thesis focuses on the deterministic design of punching shear reinforcement of the slab of a selected building and the sensitivity analysis of punching shear resistance of the slab to input parameters. The part of the sensitivity analysis is the study on the effect of natural variability of input parameters. The obtained findings show that in the preliminary assessment of the punching, the parameters of the concrete class and the dimensions of the column have the greatest effect. In the assessment already with shear reinforcement, the parameters of the diameter of the bending and shear reinforcement and the number of stud rails of shear reinforcement bars have the greatest effect.

## **KEY WORDS**

Punching, locally supported, slab, shear, reinforcement, sensitivity analysis, load capacity, deterministic design, concrete, bend.

# OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. PARAMETRY LOKÁLNĚ PODEPŘENÉ KONSTRUKCE .....	11
2.1. POPIS KONSTRUKCE.....	11
2.2. DRUHY DESEK.....	11
2.3. DRUHY PODEPŘENÍ.....	12
2.3.1. VIDITELNÉ HLAVICE .....	12
2.3.2. SKRYTÉ HLAVICE.....	14
2.4. STATICKÉ PŮSOBENÍ.....	15
3. PROTLAČENÍ.....	15
3.1. ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ.....	16
3.2. PŘÍHRADOVÁ ANALOGIE .....	16
4. VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ.....	18
4.1. SMYKOVÉ TRNY .....	18
4.2. TŘMÍNKOVÁ VÝZTUŽ .....	20
4.3. SMYKOVÉ KOZLÍKY (OHYBY) .....	20
4.4. PŘÍHRADOVÁ SMYKOVÁ VÝZTUŽ .....	21
4.5. SKRYTÁ OCELOVÁ HLAVICE .....	21
5. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY .....	22
5.1. SMYKOVÁ VÝZTUŽ.....	22
5.2. LOKÁLNĚ PODEPŘENÁ DESKA.....	22
6. NAVRHOVÁNÍ VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ.....	23
6.1. NÁVRH VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ PODLE ČSN EN 1992 – 1 – 1.....	23
6.1.1. KONTROLOVANÉ OBVODY .....	23
6.1.2. SOUČINITEL $\beta$ .....	26
6.1.3. PŘEDBĚŽNÉ OVĚŘENÍ NA PROTLAČENÍ.....	27
6.1.4. NÁVRH OHYBOVÉ VÝZTUŽE.....	29
6.1.5. POSOUZENÍ BEZ VÝZTUŽE.....	29
6.1.6. NAVRŽENÍ VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ .....	30
6.1.7. POSOUZENÍ.....	31
6.2. NÁVRH VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ PODLE MODEL CODE 2010.....	33
6.2.1. KONTROLOVANÉ OBVODY .....	33
6.2.2. SOUČINITEL $K_c$ .....	34
6.2.3. ZÁKLADNÍ PODMÍNKA ÚNOSNOSTI.....	34
6.2.4. 4 VÝPOČTY NATOČENÍ DESKOVÉHO PRVKU.....	35
7. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	37
8. PRAKTICKÁ ČÁST.....	38

8.1.	PŘEDBĚŽNÝ STATICKÝ VÝPOČET .....	38
8.2.	PODROBNÝ VÝPOČET VÝZTUŽE DO DESKY .....	51
8.2.1.	VÝPOČET VÝZTUŽE PRO MOMENT V POLI.....	52
8.2.2.	VÝPOČET VÝZTUŽE NAD LOKÁLNÍMI PODPORAMI .....	55
8.2.3.	VÝPOČET VÝZTUŽE PRO OKRAJE OTVORŮ .....	61
8.2.4.	VÝPOČET POTŘEBNÉ VÝZTUŽE ZA PROTLAČENÍ .....	63
8.3.	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	71
9.	ZÁVĚR .....	88
10.	SEZNAM ZDROJŮ .....	90
11.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	92

# 1. ÚVOD

Lokálně podepřené desky jsou v dnešní době velice oblíbené konstrukční prvky, jelikož skýtají značné výhody oproti stropním konstrukcím, u kterých jsou použity další horizontální podpůrné prvky. Je to sice konstrukce, jejíž nedostatečně správné navržení může vést k celkovému kolapsu budovy, avšak dnešní metodiky výpočtu (jak zjednodušené metody tak i modelace ve výpočetních programech) poskytují dostatečně přesné výstupy, díky kterým lze konstrukci spolehlivě a bezpečně navrhnout.

Mezi zásadní výhody lokálně podepřené konstrukce patří jednoduchost provádění stavby, nejsou zde komplikované detaily napojování nosných prvků a díky tomu lze použít velkoplošné bednění pro zrychlení výstavby. Z hlediska dispozice a jejích změn není tato konstrukce nijak omezena, jelikož jediné svislé nosné prvky jsou tu sloupy. Absence liniových nosných prvků přináší rovný podhled, díky kterému lze vést pod stropem instalační rozvody bez řešení prostupů v již zmíněných liniových prvcích a nabízí to i více možností k prostupům v desce.

Mezi zjednodušené metody patří například: Metoda součtových momentů či Metoda náhradních rámců. Tyto metody se liší jak obtížností, tak i přesností výstupů. V této době jdou zjednodušené metody do pozadí, jelikož jsou k dispozici propracované výpočetní programy, avšak stále zůstávají jako dobrá a rychlá orientační kontrola výsledků. Obecně je dobré při řešení konstrukce zprvu přihlídnout na její obtížnost a podle toho zvolit odpovídající metodiku výpočtu. Těžko si lze představit, že by v dnešní době někdo počítal lokálně podepřenou konstrukci pomocí zjednodušených metod, ale i modelace na PC lze zjednodušit a ne vždy je potřeba modelovat kompletní 3D konstrukci.

Ovšem nic není dokonalé a tato konstrukce má i své nevýhody. Mezi ně patří například menší prostorová tuhost, kvůli které se musí provádět dodatečné ztužení objektu. Jsou zde větší průhyby. A z hlediska koncentrace smykového namáhání v oblasti sloupů, se musí deska posuzovat i na protlačení, což může vést například k zvětšování tloušťky stropní konstrukce, kvůli umožnění použití výztuže na protlačení.

Obsahem této práce bude představit základní parametry lokálně podepřené konstrukce, které se budou týkat krátké definice dané konstrukce a sepsání druhů podepření a desek z hlediska podepření. Dále budou sepsány základní pravidla, jak se pracuje se zatížením či deformacemi a jak se chová konstrukce z hlediska momentů. Součástí práce bude i protlačení - co to je, jak se vyznačuje, jak se mu dá zabránit a případné následky. Poté budou představeny druhy výztuží na protlačení. Možnosti výpočtů a jejich porovnání na protlačení lokálně podepřené konstrukce. Konstrukční zásady. A citlivostní analýza smykové únosnosti lokálně podepřené desky v protlačení, která umožní poukázat na vliv proměnnosti jednotlivých parametrů na smykovou únosnost vybrané stropní konstrukce.

## **2. PARAMETRY LOKÁLNĚ PODEPŘENÉ KONSTRUKCE**

### **2.1. POPIS KONSTRUKCE**

Jedná se o vodorovnou nosnou konstrukci působící v obou směrech, která je podepřena lokálními prvky. Kvůli působení v obou směrech se zde musí počítat i s přetvořením ve směrech na sebe kolmých. Lokálními podporujícími prvky mohou být sloupy a nebo krátká stěna, která svojí délkou zasahuje maximálně do 1/6 rozpětí přilehlého deskového pole [1]. Obecně se jedná o takové podporující prvky, u kterých z hlediska půdorysné velikosti dochází k takové koncentraci smykového namáhání, že hrozí smykový kolaps a protlačení podpory skrz deskovou konstrukci. Jednou z možností, jak zlepšit smykovou únosnost konstrukce je lokálním zesílením desky nebo pomocí nízkého průvlatku na spojnicí podpor.

Uložení desky na podpory lze provádět přímo nebo na hlavice, které zlepšují smykovou únosnost. U hlavic je staticky přívētější, pokud má půdorysně stejný tvar jako podpora. Hlavice se dělí na skryté a viditelné. Podpory mohou mít půdorysně jakékoliv uspořádaní a nejsou v tomhle směru jakkoliv omezeny. Je ovšem lepší, aby se dané uspořádaní drželo a neměnilo se v každém dalším deskovém poli. Stejně tak je dobré, aby se zůstávalo u přibližně stejného rozpětí deskového pole a dané pole byly v každém směru alespoň 3 [3]. Rozpětí bývá většinou u plných desek 5 – 7 metrů. U vylehčených desek (například kazetových) lze dosáhnout rozpětí až 12 metrů [3]. Ukončení desky je ze statického hlediska vhodné řešit překonzolováním, které by se mělo pohybovat v rozmezí 0,15 – 0,25 násobku deskového pole [6].

### **2.2. DRUHY DESEK**

Lokálně podepřené deskové konstrukce se rozlišují podle druhu podepření. Rozhodujícím faktorem je, zda je deska uložena přímo na sloup, pomocí hřibové hlavice či se jedná o zvláštní druh desky.

#### **BEZHŘIBOVÁ DESKA**

Konstrukční řešení bezhřibové desky spočívá v uložení desky přímo na lokální podpory, bez užití viditelných hlavic. Maximálně se do této kategorie dají použít skryté hlavice, jelikož udržují stále rovinný podhled. Tyto desky se nazývají i beztrámové či bezprůvlatkové [1].

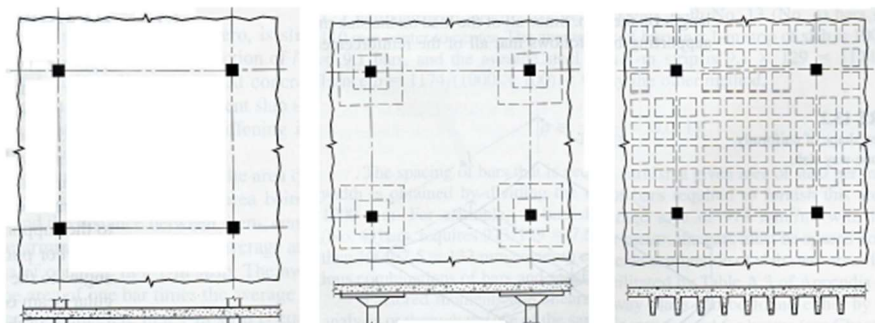
#### **HŘIBOVÁ DESKA**

U této již jsou viditelné hlavice zesilující podpory v místě uložení desky. Napomáhají v přenosu vnitřních sil či k zmenšení světlého rozpětí mezi jednotlivými podpory [1].

#### **KAZETOVÁ DESKA**

Tato deska je vylehčená dutinami, díky čemuž vypadá, jako by měla žebrovou strukturu. Žebra jsou ovšem mezi sebou osově vzdálená do 1 m. Díky tomu je zachováno rovinné působení konstrukce. V místě podpor se tyto žebra vynechávají. Deska kazetová se vyznačuje větší

ohybovou tuhostí, díky které má menší průhyby, ovšem zároveň i horší zvukovou neprůzvučnost. Tento problém se musí řešit následně těžkou plovoucí podlahou nebo zvukově izolačním podhledem [1].



Obr. 1 Druhy lokálně podepřených desek (zdroj: [1])

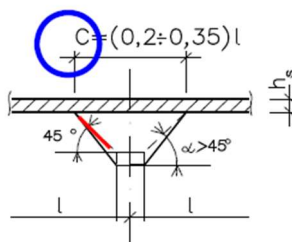
## 2.3. DRUHY PODEPŘENÍ

Desky mohou být podepřeny přímo, či mohou být použity hlavice skryté nebo viditelné. Jejich zásadní a nejdůležitější úkol je rozšířit lokální podporu a tím i poskytnout lepší přenos vnitřních sil z desky do podpory.

### 2.3.1. VIDITELNÉ HLAVICE

Viditelné hlavice mají největší vliv na momenty a stejně tak i zmenšují průhyby, jelikož rozšířením lokální podpory zmenšujeme rozpětí mezi jednotlivými podpory. Statickou účinnost hlavice znázorňuje tzv. účinná část viditelné hlavice, jejíž povrch je vymezen komolým jehlanem či kuželem vepsaným do podporující hlavice. Povrchové přímky zmíněného obrazce svírají s vodorovnou přímkou úhel  $45^\circ$  [2].

Horní podstava tohoto obrazce se nachází v úrovni spodní hrany desky nebo zesilující desky a nazývá se účinná úložná plocha, jejíž rozměr „c“ by se měl pohybovat v rozmezí 20 – 35% rozponu přiléhajících deskových polí [2]. Při přenášení velkých podporových tlaků do lokálních podpor bývá účelně navržena jednoduchá hříbová hlavice nebo kombinovaná se zesilující deskou.

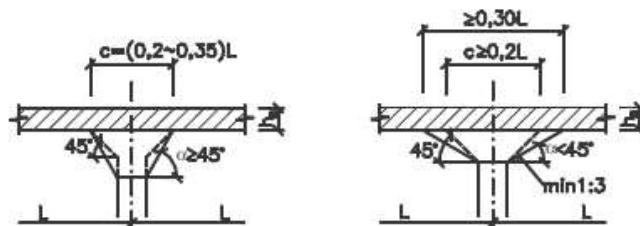


Obr. 2 Účinná část viditelné hlavice (zdroj: [3])



## HŘIBOVÁ HLAVICE JEDNODUCHÁ

Zesílení sloupu ve tvaru komolého jehlanu či kuželu, závisí na tvaru sloupu. Jednoduchá hřibová hlavice se dělí podle úhlu boční hrany. Zda je úhel větší či menší jak  $45^\circ$  s vodorovnou přímkou. V případě, že je úhel menší jak  $45^\circ$ , jedná se o plochou hřibovou hlavici. U této hlavice je maximální sklon boční hrany 1:3 a minimální účinná úložná plocha  $c = 30\%$  rozponu přiléhajících deskových polí [2].



Obr. 3 Hřibová hlavice jednoduchá (zdroj: [2])

## HŘIBOVÁ HLAVICE LOMENÁ

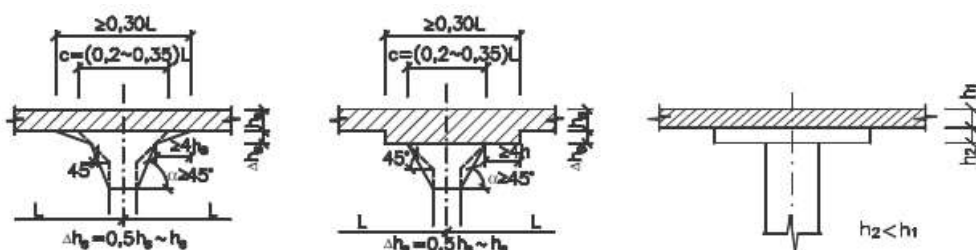
Podporující hlavice ve tvaru dvou či více komolých jehlanů / kuželů, se označuje jako lomená hřibová hlavice.

## HŘIBOVÁ HLAVICE SE ZESILUJÍCÍ DESKOU

Nad hřibovou konstrukcí se ještě přidá zesilující deska, pro kterou stejně jako pro plochou hřibovou hlavici platí, že půdorysný rozměr musí být větší jak 30% rozponu přiléhajících deskových polí a zesilující deska musí mít menší tloušťku jak stropní konstrukce [2].

## ZESILUJÍCÍ DESKA

Lokální podpora obohacena pouze o zesilující desku jejíž tloušťka musí být menší jak stropní konstrukce.



Obr. 4 Hřibová hlavice lomená, se zesilující deskou a zesilující deska (zdroj: [2])

### 2.3.2. SKRYTÉ HLAVICE

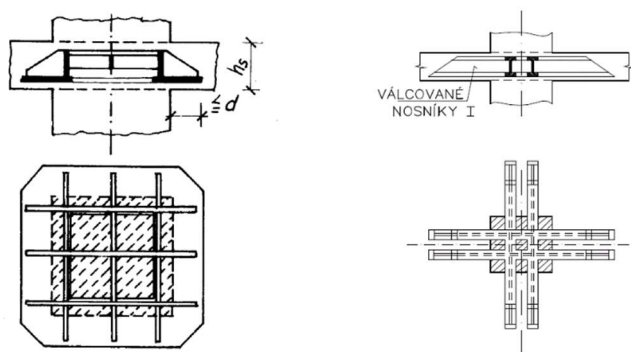
Skryté hlavice mají zásadní vliv na smykové napětí. Tím, že zvětšují kontrolovaný obvod u stropních desek se zmenšuje napětí při kontrole na protlačení. Velice užitečná vlastnost skrytých hlavice oproti viditelných je ta, že zachovávají rovinný pohled u obou povrchů desky.

#### MANŽETOVÁ HLAVICE

Tvoří ji svařovaná, dostatečně tuhá manžeta. Zvětšuje úložnou plochu desky, díky čemuž zlepšuje únosnost v protlačení. K ohybové únosnosti přispívá jen nepatrně. Manžeta musí přesahovat přes okraj podpory o méně, než je účinná výška desky [3].

#### ROŠTOVÁ HLAVICE

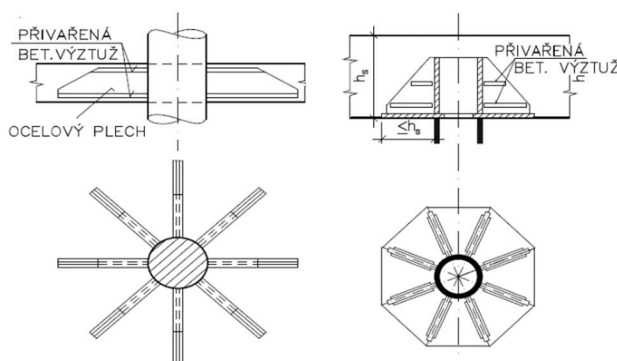
Je tvořena ocelovými, většinou válcovanými profily, které jsou uloženy křížem nad sebe. Zlepšuje únosnost v protlačení i ohybovou únosnost ve sloupovém pruhu.



Obr. 5 Skrytá ocelová hlavice manžetová a roštová (zdroj: [3])

#### ŽEBROVÁ HLAVICE

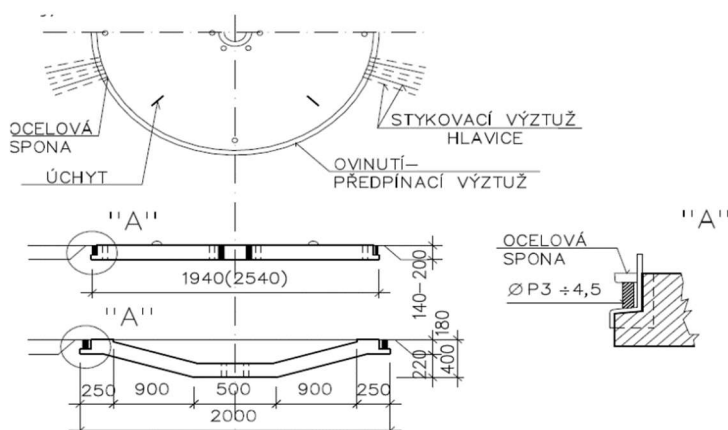
Tvoří ji svařenec z trubky a radiálně uspořádaná žebra. Pokud jsou žebra tvořena z ocelového plechu, musí být opatřeny úzkými přírubami



Obr. 6 Skrytá ocelová hlavice žebrová (zdroj: [3])

## PREFABRIKOVANÁ PŘEDPJATÁ HLAVICE

Kruhová deska ovine předpínací výztuží a následně se do ní vnese předpjetí [6].



Obr. 7 Prefabrikovaná předpjatá hlavice (zdroj: [3])

### 2.4. STATICKÉ PŮSOBENÍ

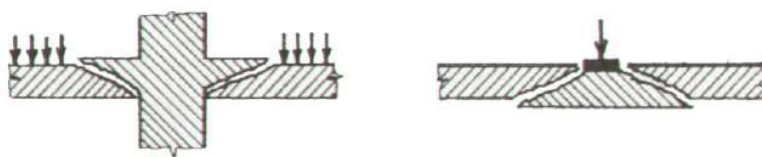
Základní rozdíl mezi přetvořením desek po obvodě podepřených a lokálně podepřených je z hlediska průhybu. Po obvodě podepřené mají výraznější tuhost ve spojnicí podpor, jelikož po celé délce mají v celku tuhou podporu a díky tomu dochází k poklesu průhybu. Avšak lokálně podepřené konstrukce se důsledkem absence liniových podpor prohýbají i ve směru spojnice středů podpor. V důsledku tohoto vznikají výrazné podporové i mezipodporové momenty.

Dále je třeba si uvědomit, že se jedná o konstrukci působící ve dvou směrech a po zatížení vzniká tedy průhybová plocha s dvojitou křivostí [1]. Na rozdíl od desek po obvodě podepřených se tady zatížení nerozděluje do směrů a do obou směrů jde tedy plné zatížení [3]. Výsledná deformace je pak součtovou deformací v obou směrech.

## 3. PROTLAČENÍ

K porušení zvanému protlačení dochází převážně vlivem posouvající síly nebo kombinací posouvající síly s ohybovým momentem. U konstrukcí s liniovým nosným prvkem se oblast uložení prvku na podporu posuzuje běžným způsobem (posouzení smykové únosnosti trámu), ovšem u lokálně podepřených konstrukcí (zvláště bezhřibových) může dojít ke zmíněnému protlačení.

Smykové namáhání vedoucí k porušení deskových konstrukcí protlačením vzniká při koncentraci zatížení na malé ploše nebo u lokálních podpor s malým průřezem. Takto vznikají 2 charakteristické druhy porušení protlačením, které mohou vyvolat štíhlé sloupy podpírající desku nebo například štíhlé sloupy, které leží na desce, pod kterou již podpora není (uskočení sloupů, základy).



Obr. 8 charakteristické druhy porušení protlačením (zdroj: [3])

### 3.1. ÚNOSNOST V PROTLAČENÍ

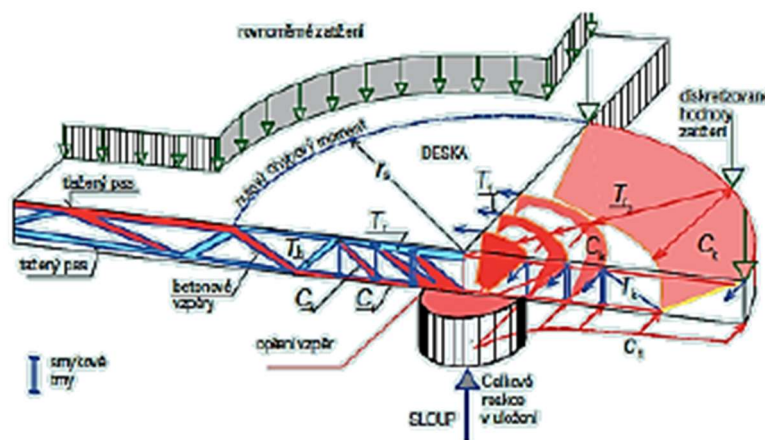
Momentálně se posouzení železobetonových konstrukcí na protlačení provádí podle platné normy ČSN EN 1992 – 1 – 1. Přístup této normy k určení únosnosti vychází z empirického vzorce reflektujícího statisticko-pravděpodobnostní modely [5].

Nyní se však dostává do popředí způsob stanovení únosnosti pomocí přístupu s fyzikálně-mechanickým základem. Tato teorie byla i sepsána do Model Code 2010.

Je uvedena i norma zabývající se zesilováním konstrukce proti protlačení ČSN 73 1201. Tento způsob se však používá spíše na starších konstrukcích, které nejsou navrženy podle dnešních platných předpisů.

### 3.2. PŘÍHRADOVÁ ANALOGIE

Místa, ve kterých dochází k protlačení, nebo jsou jinou specifikací náročnější oproti běžným částem konstrukce se nazývají D oblasti. Tyto D oblasti se vyznačují tím, že klasické metody výpočtu jako pro ohýbanou desku či trám, pro ně použít nejdou a používá se pro ně například zmíněná příhradová analogie. V D oblastí již neplatí předpoklad lineárního rozložení poměrných přetvoření, proto se při návrhu těchto oblastí musí přistupovat k složitějším metodám. Takto může vypadat model příhradové analogie pro řešení protlačení u lokálně podepřené konstrukce:

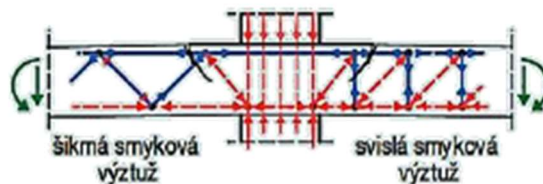


Obr. 9 Obecný model příhradové analogie na lokálně podepřené konstrukci (zdroj: [3])

Je více modelů příhradové analogie pro desky a rozhodnutí, jaká se použije v dané situaci, je v jisté míře na stavebním inženýrovi. Můžeme si sami určit, jak chceme, aby se vnitřní síly (tahové a tlakové) v betonu přenášely a na základě toho pak musíme vhodně zvolit tvar výztuže na protlačení, která bude kopírovat zejména tahové složky v betonu.

Na následujícím obrázku je vidět příhradové analogie podle použití určité výztuže:

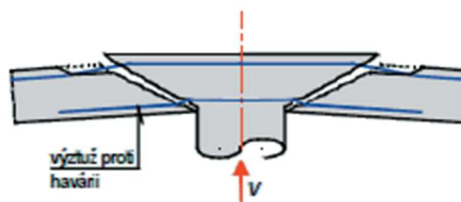
- Nalevo je použita výztuž na protlačení s ohyby. Jedná se o ekonomický návrh, jelikož výztuž je navržena přesně ve směru působícího tahu. Ovšem zápor této varianty je složitost ukládání výztuže
- Napravo jsou proti protlačení použity třmínky, které se ukládají svisle. Chování konstrukce je v obou případech téměř stejná. Tady je oproti předchozí variantě návrh neekonomický, jelikož výztuž není přesně ve směru tahu, ale za to je mnohem snadnější na realizaci z hlediska ukládání výztuže do bednění.



Obr. 10 Modely příhradové analogie v závislosti na využití výztuži (zdroj: [3])

Z takovéto příhradové analogie vycházejí konkrétní výpočetní modely, uvedené v normách, podle kterých se dnes konstrukce proti protlačení navrhují. Postup, který pro danou konstrukci použijeme, rozhoduje například to, jaký typ výztuže proti protlačení chceme navrhnout.

Aby nedocházelo k protlačení a následnému kolapsu konstrukce, je dobré navrhovat mimo jiné i tzv. výztuž proti havárii. U dolního okraje desky musí být výztuž průběžná a u horního povrchu dostatečně zakotvená [3].



Obr. 11 Výztuž proti havárii (zdroj: [3])

## 4. VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Hrozí-li smykové porušení konstrukce protlačením, navrhne se výztuž na protlačení. Tato výztuž brání již výše zmíněnému celkovému kolapsu objektu, způsobeného protlačením lokální podpory deskou a tedy možný pád stropní konstrukce. Přesněji tomu zabrání tím, že přenese tahové namáhání, které by mohlo vyvolat protlačení. Může se samozřejmě i stát, že nám výpočet smykové únosnosti desky ukáže, že by se výztuž na protlačení ani nemusela navrhovat. V takovém případě dokáže smykové namáhání přenést ohybová výztuž v desce.

Výztuže na protlačení lze rozdělit do několika kategorií, které jsou shrnuty v následujících kapitolách. Jedná se o smykové trny, Třmínková výztuž, smykové kozlíky (ohyby), příhradová smyková výztuž a skryté ocelové hlavice.

### 4.1. SMYKOVÉ TRNY

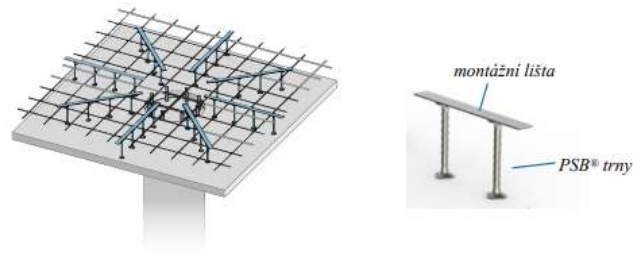
V dnešní době patří pravděpodobně mezi nejpoužívanější druh výztuže na protlačení. Jedná se o dvouhlavé smykové trny, vyráběné z klasické betonářské oceli, které jsou spojeny pomocí ocelové děrované lišty. Tato výztuž je u obou povrchů konstrukce dobře zakotvená a i její ukládání je velice jednoduché i přívětivé. Uložit se totiž dají již po uložení ohybové výztuže desky [6].

Návrh těchto smykových trnů bohužel v normě ČSN EN 1992 – 1 – 1 není definován a je tedy potřeba použít výpočetní nástroje od výrobců jednotlivých typů výztuže. Přesněji jde o to, že smykové trny mají lepší vlastnosti na protlačení než klasická třmínková výztuž, která se navrhuje podle ČSN EN 1992 – 1 – 1. Návrh smykových trnů podle ČSN EN 199 – 1 – 1 tedy lze uskutečnit, ovšem výstupy by byly výrazně předimenzované a jednalo by se o neekonomický návrh [6].

Jak bylo zmíněno, smykové trny patří mezi nejrozšířenější a mezi základní druhy patří: Výztuž na protlačení PSB, JDA a KORN

#### VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ PSB

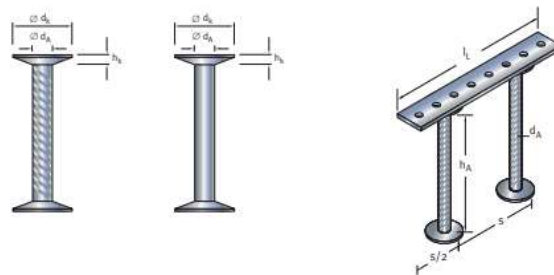
Tato výztuž je schválena podle ETA – 13/0151 a je pro ni volně dostupný software Peikko Designer. Smykové trny lze navrhnout pro desky s tloušťkou větší jak 180 mm. Trny PSB se dělají s průměry: 10, 12, 14, 16, 20 a 25 mm. Vyrábějí se i s průměry 28 a 32 mm, ale ty již nejsou schváleny de ETA – 13/0151. Spojující ocelová děrovaná lišta se vyrábí z materiálu S235JR a trny z klasické betonářské oceli B500B. Distanční prvky pro spodní instalaci trnů se vyrábí z plastu a umožňují vytvářet krytí 15, 20, 25, 30, 35, 40 a 45 mm. Teplota během instalace této výztuže by měla být mezi -30 - +35°C [8].



Obr. 12 Výztuž na protlačení PSB (zdroj: [8])

### VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ JDA

Tato výztuž je schválena podle ETA – 13/0136. Výrobce uvádí, že při správném návržení smykových trnů JDA může vzrůst smyková únosnost v protlačení stropní konstrukce oproti nevyztužení vhodnou výztuží až o 96%. Tyto trny se používají do betonu v rozmezí C20/25 – C50/60. Další parametry jsou již shodné se smykovými trny PSB. Tloušťka stropní konstrukce musí být alespoň 180 mm, trny jsou z klasické betonářské oceli B500B nebo hladké oceli, Průměry trnu jsou 10 – 25 mm [9].



Obr. 13 Výztuž na protlačení JDA (zdroj: [9])

### VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ KORN

Tato výztuž se liší akorát tím, že jednotlivé trny nejsou spojeny pomocí děrované ocelové lišty ale pomocí dvou distančních prutů [10].



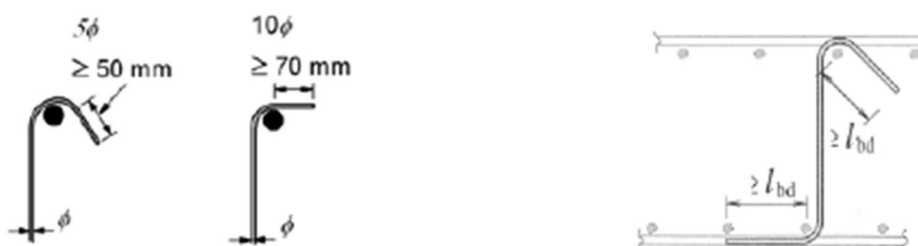
Obr. 14 Výztuž na protlačení KORN (zdroj: [10])

## 4.2. TŘMÍNKOVÁ VÝZTUŽ

Tato výztuž se již navrhuje podle zmíněné normy ČSN EN 1992 – 1 – 1, ovšem již neskýtá výhody smykových trnů a výsledné navržení výztuže může být tedy z hlediska množství výztuže neekonomické a i následné ukládání výztuže do bednění může být pracnější.

Tento typ je tvořen z klasické betonářské výztuže. Snahou je používat pruty menšího průřezu a to z důvodu snadnějšího ohýbání a nižšími nároky na kotvení výztuže. Jedná se sice o třmínkovou výztuž, avšak klasické kotvení jako u třmínků uložených například v trámech z důvodu smykového namáhání zde nelze použít a musí být splněna běžná podmínka kotvení lbd. I z tohoto důvodu je nutné, aby deska měla minimální tloušťku 200 mm, což v porovnání se 180 mm u smykových trnů přináší další zatížení navíc [6].

Třmínková výztuž proti protlačení musí být i provázána s ohybovou výztuží, což může přinášet další komplikace při ukládání výztuže. Provázání se provádí tak, že musí obepínat minimálně jednu vrstvu dolní i horní výztuže.



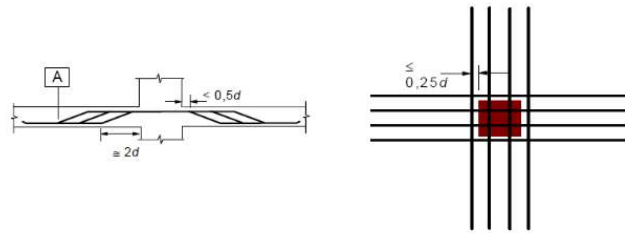
Obr. 15 Třmínková výztuž na protlačení (zdroj: [6])

## 4.3. SMYKOVÉ KOZLÍKY (OHYBY)

Jedná se o klasickou betonářskou výztuž, která je ohýbána do požadovaných úhlů. I tato výztuž má samozřejmě svoje pravidla a omezení při použití. Těmi jsou, že první ohyb u horního povrchu desky musí být maximálně  $0,5d$  od hrany podpory a u dolního povrchu desky přibližně  $2d$  od hrany podpory. Z půdorysného pohledu musí být poslední výztuž vzdálena maximálně  $0,25d$  od hrany podpory [3].

Tato výztuž je z hlediska funkce ideální varianta, jelikož ji můžeme vytvarovat podle svých představ a pnutí výztuže může být tedy téměř kolmé na směr trhliny, což je ideální varianta pro přenos tahového namáhání. Ovšem dnes se výztuž s ohyby již moc nepoužívá zejména z důvodu složitější výroby a pracnějšího ukládání do bednění.





Obr. 16 Výztuž na protlačení – smykové kozlíky (zdroj: [3])

#### 4.4. PŘÍHRADOVÁ SMYKOVÁ VÝZTUŽ

Jedná se o prostorovou příhradovinu se skloněnými diagonálami. Skloněné diagonály jsou vždy jen jedním směrem, jelikož díky tomu jsou veškeré diagonály tažené a nikoliv „půl na půl“ tažené/tlačené. Díky tomuto výztuž efektivně přenáší tahové namáhání vyvolané smykovým napětím.

Příhradová smyková výztuž (Obr. 17) se skládá z prostorové příhradoviny, horního vodorovného prutu a dvou dolních vodorovných prutů. Průměry jednotlivých prutů jsou rozdílné a nejsou na sobě nijak závislé. Jakýkoliv z uvedených prvků příhradové smykové výztuže může mít jedinečný průměr vyplývající ze statického výpočtu [6].



Obr. 17 Příhradová smyková výztuž na protlačení (zdroj: [12])

#### 4.5. SKRYTÁ OCELOVÁ HLAVICE

Jedná se tedy o prvky složené z více ocelových profilů, které se dělí na manžetovou, roštovou a žebrovou. Aplikace skryté ocelové hlavice se navrhuje podle ČSN EN 1993.

Ocelová hlavice není výztuž na protlačení jako taková, protože nepomáhá přenášet tahy vzniklé smykovým porušením. Pouze zvětšuje kontrolované obvody a tím tedy zmenšuje smykové napětí, které může vyvolat protlačení.

Při ukládání ocelové hlavice se musí dbát na to, aby bylo možné umístění vodorovné výztuže do desky i svislé výztuže do lokální podpory. Největší uplatnění mají u vnitřních sloupů, jelikož výsledné zatížení je svislé a tedy rovnoběžné s podporou.



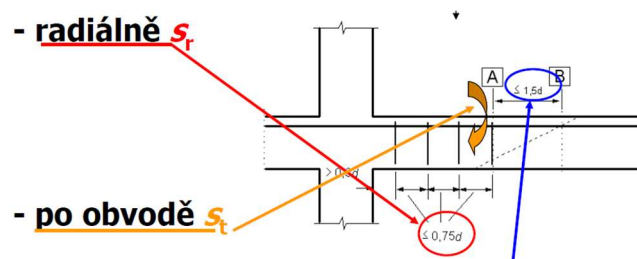
Obr. 18 Skrytá ocelová hlavice (zdroj: [11])

## 5. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

### 5.1. SMYKOVÁ VÝZTUŽ

Pokud je již potřeba tuto výztuž navrhnout, umisťuje se vždy do zatěžované plochy sloupu až do vzdálenosti  $1,5d$  od kontrolovaného obvodu uout, dále již není potřeba. Vždy je třeba navrhnout alespoň 2 obvody spon mezi límcem sloupu a základním kontrolovaným obvodem. Co se týče osových vzdáleností těchto spon, tak v radiálním směru nesmí překročit hodnotu  $0,75d$ . U prvního kontrolovaného obvodu nesmí být osová vzdálenost po obvodě větší jak  $1,5d$  a za prvním kontrolovaným obvodem nesmí překročit hodnotu  $2d$ , pokud se předpokládá, že tato část přispívá ke smykové únosnosti [3].

Podmínky pro použití smykových kozlíků (ohybů) byly již řečeny. Jde zde tedy o to, aby půdorysně nebyly ohyby moc vzdálené od zatěžovací plochy a byly dodrženy vzdálenosti ohybů od hrany podpory. Pokud je navržena pouze jedna řada kozlíků, je možné úhel ohybů zmenšit až na  $30^\circ$ .



Obr. 19 Konstrukční zásady ukládání výztuže (zdroj: [3])

### 5.2. LOKÁLNĚ PODEPŘENÁ DESKA

Z hlediska užitečného zatížení je vhodné používat bezhřibové desky v rozmezí  $1,5 - 5 \text{ kN/m}^2$  a hřibové desky jsou vhodné pro zatížení větší jak  $10 \text{ kN/m}^2$ . Pro mezilehlé hodnoty je vhodné zvážit návrh například ztužujících plochých trámů [1].

Lokálně podepřené konstrukce jsou velice citlivé na intenzivní bodová a liniová zatížení. Z tohoto důvodu je vhodné navrhovat konstrukci schodiště jako samonosnou a ideální je tedy

umísťovat schodiště do ztužujícího jádra. Pokud to ovšem nelze, navrhuje se schodiště co nejlehčí s umístěním co nejbližší ke středu deskového pole [1].

Dále je třeba vytvořit dostatečné ztužení takovéto desky, kterého by bez ztužujícího jádra mohlo být velice náročné dosáhnout. Ideální je umístit ztužující jádro tak, aby při účincích větru, nevznikalo kroucení. U návrhu dvou ztužujících jáder, je třeba vzít v úvahu síly vyvolané objemovými změnami teplotními účinky a to na konstrukci stropu, tak i na ztužující jádro.

## **6. NAVRHOVÁNÍ VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ**

Postupů navrhování výztuže na protlačení je samozřejmě několik. Lišit se mohou například typem použité výztuže, obtížností daného postupu a nebo podrobností výstupních hodnot. Tato práce se bude zabývat dvěma postupy a to podle ČSN EN 1992 – 1 – 1 a podle Model Code 2010.

### **6.1. NÁVRH VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ PODLE ČSN EN 1992–1–1**

Pomocí této metody se daná výztuž navrhuje v české republice a jedná se o klasickou třmínkovou výztuž. Výstupy jsou kvalitní a bezpečný, ovšem na použití lepší výztuže na protlačení (například smykových trnů) by se musela použít jiná metoda výpočtu.

Mezi vstupní hodnoty do výpočtu patří plocha sloupu, tloušťka desky, plocha ohybové výztuže v desce, účinná výška desky a zatížení účinkující z desky na hlavu sloupu. Jsou zde ovšem i faktory, které se musí následně ještě určit, jelikož budou zásadně ovlivňovat výpočet. Jedná se o kontrolované obvody a součinitel  $\beta$

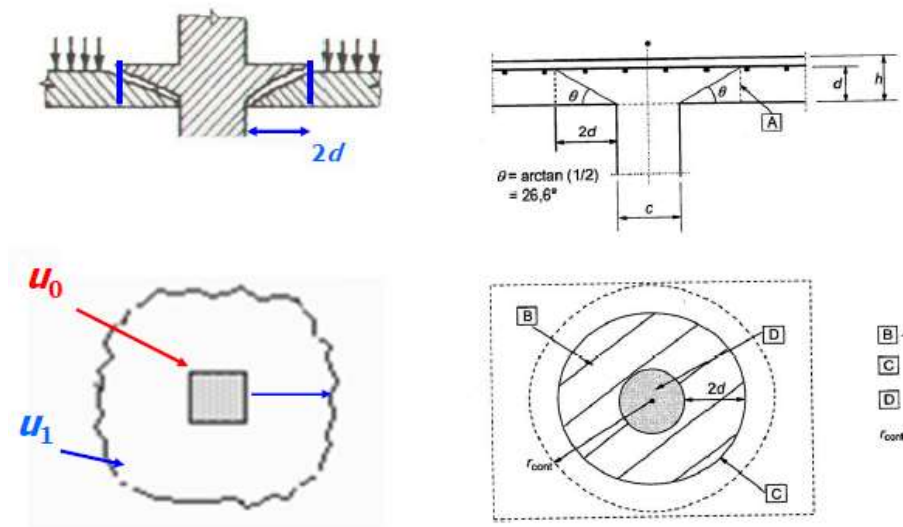
#### **6.1.1. KONTROLOVANÉ OBVODY**

Pro ověření desky v protlačení se posuzuje smyková únosnost ve 3 kontrolovaných obvodech.

- První obvod „u<sub>0</sub>“ je přesný obvod podporujícího prvku. Posouzení na tento obvod říká, zda je vůbec možné danou desku spolehlivě navrhnout [4]. Pokud totiž zde podmínka únosnosti nevyhoví, znamená to, že dojde k rozdrčení betonu po obvodu uložení a dojde k protlačení. V takové situaci se musí provést opatření, aby byla podmínka splněna. Mezi takové opatření patří: zvětšení tloušťky desky – nejméně efektivní, zvětšení zatížení; rozšíření sloupů – efektivnější, ale zmenšení užitého půdorysu; lepší třída betonu; nebo již výše zmíněná možnost použití skryté ocelové hlavice [4].
- Druhý obvod „u<sub>1</sub>“ se nachází ve vzdálenosti 2d od hrany podpory nebo 2d od hrany skryté ocelové hlavice [7]. U tohoto obvodu se posuzuje deska na 2 podmínky. První ověření se provádí ještě před navržením ohybové výztuže desky a říká nám, zda je možné zajistit dostatečné kotvení výztuže na protlačení [4]. Pokud nevyhoví, tak by se musela navrhnout skrytá ocelová hlavice. Druhá, u které se již zahrnuje vliv ohybové výztuže desky nám říká, zda je vůbec potřeba navrhovat výztuž na

protlačení. Pokud nevyhoví, výztuž bude muset být navržena. Pokud by vyhověla, výztuž by teoreticky nemusela být navržena a veškeré smykové namáhání by byla schopna přenést ohybová výztuž. Ale jelikož jde o kritické místo objektu, je dobré navrhnout alespoň konstrukční výztuž na protlačení. Ta je v každé straně 2 ohyb nad sloupem [4]. Na vzdálenost  $2d$  od podpory se tento obvod navrhuje z důvodu, že trhлина při protlačení vzniká přibližně pod úhlem  $30^\circ$ .  $\sin(30^\circ)$  se rovná 0,5 a proto je tedy obvod  $u_1$  vzdálený téměř na 2 tloušťky desky [3].

- Třetí obvod „uout“ se nachází přibližně ve vzdálenosti  $1,5d$  od konce výztuže na protlačení. V tomto posouzení je již započítán i vliv výztuže na protlačení a pokud podmínka únosnosti nevyhoví, bylo výztuže navrženo málo.

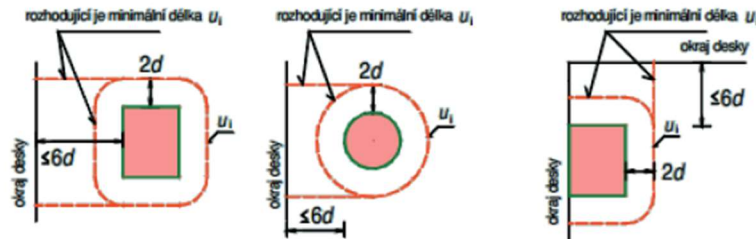


Obr. 20 Kontrolované obvody (zdroj: [3])

Kontrolované obvody se samozřejmě dají určit u jakéhokoli tvaru podpory. Ať je to kruh, obdélník či složený obrazec z více tvarů. Kontrolovaný obvod se tvoří tak, že ze spojnice dvou nejbližších rohů podpory (je důležité, aby spojnice tvořila pouze tečnu podpory a neprotínala ji) se vynesou rovnoběžky ve vzdálenosti  $2d$  a zbylá místa se doplní částí kružnice o poloměru  $2d$  z daného rohu. Účinná výška desky se předpokládá jako konstantní, tedy zprůměrovaná z obou směrů [2]. Pár příkladů, jak se tvoří kontrolovaný obvod:



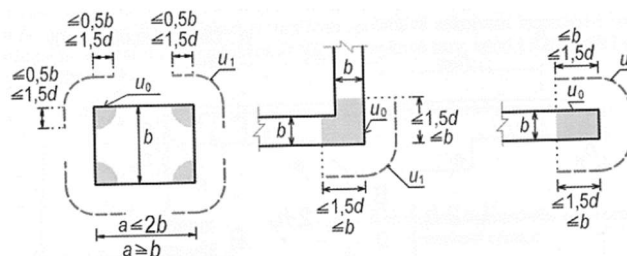
Může ovšem dojít i k případu, že podpora bude ležet jen poblíž okraje desky. Pokud je okraj desky vzdálený o více jak  $6d$ , nemusí se řešit a kontrolovaný obvod se nemění. Pokud se ovšem nachází blíže jak  $6d$ , z dané hrany desky se vynese kolmice tak, aby byla zároveň tečnou kontrolovaného obvodu a výsledný kontrolovaný obvod bude ten menší [7].



Obr. 24 Kontrolované obvody poblíž hran desky (zdroj: [7])

Lokální podpora, u které hrozí protlačení, samozřejmě nemusí být jen sloup. Může se jednat o roh stěny, konec stěny a nebo o sloup o velké půdorysné ploše. Zde se konstruuje kontrolovaný obvod následujícím postupem:

U velkého sloupu se od rohů hran vynesou úsečky o délce menší z  $(1,5d$  a  $0,5b)$   $b$  je délka menší hrany. Tyto úsečky se pak odsadí od hrany podpory o  $2d$  a spojí se částí oblouku. U rohu stěny se postupuje stejným postupem až na změnu, že úsečky mají délku  $1,5d$  a  $1b$ . U konce stěny se postupuje stejně jako u rohu stěny [6].

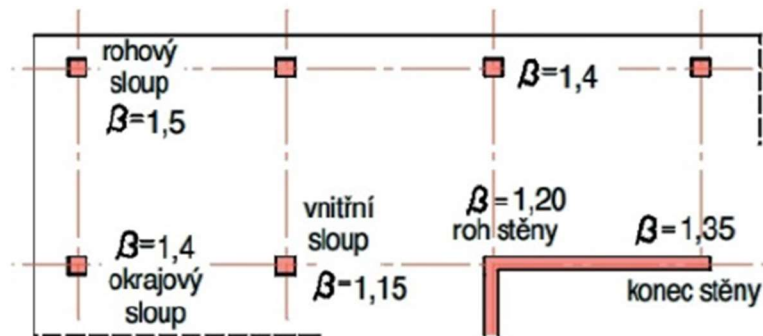


Obr. 25 Kontrolovaný obvodu u velkého sloupu, rohu stěny a ukončení stěny (zdroj: [6])

### 6.1.2. SOUČINITEL $\beta$

Tento součinitel se navrhuje z důvodu, že zatížení na konstrukci (na lokální podporu) nemusí být symetrické a na jednu stranu podpory může tedy působit větší smykové napětí než na druhou. Součinitel  $\beta$  tedy zvětšuje působící zatížení na lokální podporu

Pro konstrukci lze užít přibližné hodnoty součinitele  $\beta$ , pokud jsou splněny následující podmínky: Nepřenáší vodorovné zatížení, má ztužující prvky a rozpětí sousedních deskových polí se liší o méně jak 25% [6].



Obr. 26 Přibližné hodnoty součinitele  $\beta$  (zdroj: [7])

### 6.1.3. PŘEDBĚŽNÉ OVĚŘENÍ NA PROTLAČENÍ

Nejprve se musí provést toto opatření, které se provádí ještě před navržením ohybové výztuže desky a skládá se ze dvou kroků.

- V prvním kroku se posuzuje únosnost v kontrolovaném obvodu  $u_0$  a ověřuje se tím únosnost tlačené diagonály. Musí zde být splněna podmínka  $V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$ . Pokud tato podmínka není splněna musí dojít k jedné z úprav, které jsou rozepsané výše u kontrolovaného obvodu  $u_0$ . [4]

$$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max} \quad (6.1)$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_0 * d} = 0,4 * v * f_{cd} \quad (6.2)$$

$$v = 0,6 * \left(\frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (6.3)$$

$V_{Ed}$  tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

$\beta$  součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$u_0$  kontrolovaný obvod  $u_0$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$v$  redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem

$f_{cd}$  návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v kPa

$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v MPa

- Druhý krok ověření vychází z experimentů a ověřuje, zda je v konstrukci možné zajistit dostatečné krytí výztuže na protlačení [4]. Musí být splněna podmínka  $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$ . Pokud tato podmínka nevyhoví, musí se vložit skrytá ocelová hlavice, či uskutečnit jiné opatření.

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max} \quad (6.4)$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} = k_{max} * C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}} \quad (6.5)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (6.6)$$

$V_{Ed}$  tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

$\beta$  součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$u_1$  kontrolovaný obvod  $u_1$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$\rho_1$  stupeň vyztužení – uvažuje se 0,005

$k_{max}$  1,45 při tloušťce desky  $h = 200$  mm  
1,70 při tloušťce desky  $h > 700$  mm  
při hodnotách mezi se interpoluje

$C_{Rd,c}$  uvažujeme  $1,8/\gamma_c = 1,8/1,5 = 1,2$

$k$   $d$  dosazujeme v mm

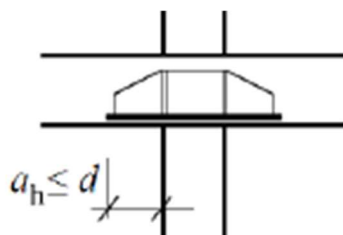
$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v MPa

Pokud obě podmínky vyhoví, znamená to, že je tloušťka desky vyhovující. Pokud i jen jedna nevyhoví, desku nelze navrhnout a musí se provést nějaká úprava. Existuje několik možností úprav, které již byly okrajově zmínil u kontrolovaných obvodů, ale budou zmíněny i zde:

- Zvětšení tloušťku desky – jedná se o velice neefektivní způsob, protože tím sice zvětšujeme účinnou výšku, která zmenšuje kontrolované napětí, ale zároveň zvětšuje zatížení
- Zvětšení rozměru sloupu – jedná se již o efektivnější způsob, ale zmenšuje uživatelskou půdorysná plocha objektu
- Zlepšení třídy betonu – výsledná únosnost se sice zvýší, ale toto opatření může být velice drahé a nemusí být dostatečné
- Deska s plochými průvlaky nebo zesílením v oblasti sloupu
- Navržení konstrukce s viditelnými či skrytými hlavicemi – jedná se asi o nejefektivnější způsob opatření [4]

U skryté ocelové hlavice je důležité dbát na to, že přesah hlavice přes okraj lokální podpory nesmí být větší jak „d“





Obr. 27 Přesah ocelové hlavice (zdroj: [3])

#### 6.1.4. NÁVRH OHYBOVÉ VÝZTUŽE

Dále dojde k návrhu ohybové výztuže desky jednou z metod v normách nebo počítačovým softwarem. Tyto kroky v práci nebudou uváděny, jelikož nepatří do předmětu této práce.

#### 6.1.5. POSOUZENÍ BEZ VÝZTUŽE

Ve chvíli kdy je již pevně stanovena geometrie a je i navržena ohybová výztuž v desce se může začít s posouzením na protlačení. Nejprve se však posoudí konstrukce za podmínky, že výztuž na protlačení nebude přítomna a veškeré smykové namáhání bude přebírat ohybová výztuž v desce. Musí být splněna podmínka  $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$ . V případě nesplnění podmínky se musí navrhnout výztuž na protlačení. Pokud vyhoví, tak jak už bylo zmíněno výše, měla by být navržena alespoň konstrukční výztuž na protlačení [4].

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} \quad (6.7)$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} = \max (C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}}) \quad (6.8)$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1c} * \rho_{13}} \quad (6.9)$$

$$\rho_{1c} = \frac{a_{s,c}}{1000 * d_c} \quad (6.10)$$

$$\rho_{13} = \frac{a_{s,3}}{1000 * d_3} \quad (6.11)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (6.6)$$

$V_{Ed}$  tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

$\beta$  součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$u_1$  kontrolovaný obvod  $u_1$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$\rho_1$  stupeň vyztužení

$k_{max}$  1,45 při tloušťce desky  $h = 200$  mm  
1,70 při tloušťce desky  $h > 700$  mm  
při hodnotách mezi se interpoluje

$C_{Rd,c}$  uvažujeme  $1,8/\gamma_c = 1,8/1,5 = 1,2$

$k, \rho_{1c,3}$   $d$  dosazujeme v mm

$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v MPa

$a_{s,c}$  plocha horní ohybové výztuže na šířku 1m běžný pásu C – dosazuje se v  $mm^2$

$a_{s,3}$  plocha horní ohybové výztuže na šířku 1m běžný pásu C – dosazuje se v  $mm^2$

V případě nevyhovění, se tedy musí navrhnout výztuž na protlačení.

### 6.1.6. NAVRŽENÍ VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ

Ve chvíli, když už se navrhuje výztuž na protlačení, je potřeba určit kontrolovaný obvod  $u_{out}$  a následně i poloměr  $r_{out}$ , díky čemuž se zjistí, kam až má výztuž na protlačení dosahovat.

$$u_{out} = \frac{V_{Ed} * \beta}{V_{Rd,c} * d} \quad (6.12)$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{2 * \pi} \quad (6.13)$$

$V_{Ed}$  tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

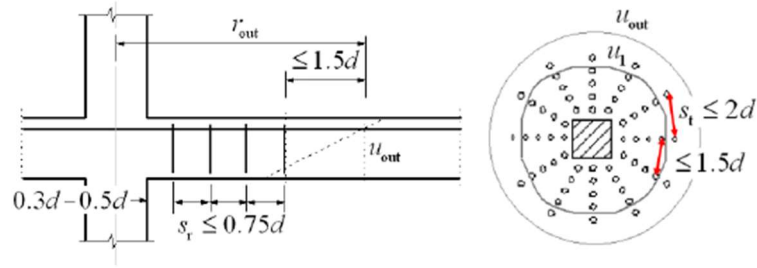
$\beta$  součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$V_{Rd,c}$  smyková únosnost bez výztuže na protlačení – dosazuje se v kPa

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

Nyní se může navrhnout uspořádání výztuže (počet třmíneků v jedné liště) podle následujících pravidel:

- Poslední třmínek nesmí být od konce kontrolovaného obvodu  $u_{out}$  vzdálený více jak  $1,5d$
- Vzdálenost mezi jednotlivými třmínky „Sr“ musí být menší jak  $0,75d$
- Vzdálenost prvního třmínku od podpory musí být v rozmezí  $0,3d - 0,5d$
- Vzdálenost lišt v tangenciálním směru nesmí překročit hodnotu  $2d$
- Vzdálenost lišt v tangenciálním směru v obvodu  $u_1$  nesmí překročit hodnotu  $1,5d$



Obr. 28 Zásady pro umístění třmínkové výztuže na protlačené (zdroj: [4])

Dále se navrhne počet lišt podle následujícího vzorce. Konstrukci je výhodnější navrhovat symetricky, takže počet lišt je vhodnější zaokrouhlovat nahoru na první sudé číslo [4].

$$n \geq \max \left( \frac{2 * \pi * (r_{out} - 1,5 * d)}{2 * d} ; \frac{u_1}{1,5 * d} \right) \quad (6.14)$$

$R_{out}$  poloměr kontrolovaného obvodu  $u_{out}$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$u_1$  kontrolovaný obvod  $u_1$  – dosazuje se v m

### 6.1.7. POSOUZENÍ

Na závěr je potřeba provést 2 posouzení. V jednom se bude počítat s kontrolovaným obvodem  $u_1$  s již započítanou výztuží na protlačení a v druhém se bude počítat s kontrolovaným obvodem  $u_{out}$  s vlivem pouze ohybové výztuže desky.

#### KONTROLOVNÝ OBVOD $u_1$

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cS} \quad (6.15)$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} = 0,75 * V_{Rd,c} + \frac{1,5 * d}{S_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \quad (6.16)$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d \leq f_{ywd} \quad (6.17)$$

$V_{Ed}$  tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

$\beta$  součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$u_1$  kontrolovaný obvod  $u_1$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$V_{Rd,c}$  smyková únosnost betonu bez vlivu výztuže na protlačení – dosazuje se v kPa

$S_r$  Vzdálenost mezi jednotlivými třmínky – dosazuje se v m

$\alpha$  úhel mezi smykovou výztuží a rovinou desky –  $90^\circ$

$A_{sw} = n * A_{sw,l}$  plocha smykové výztuže – dosazuje se v  $m^2$

$n$  počet lišt

$A_{sw,l}$  plocha výztuže jednoho třmínku

$f_{ywd,ef}$  efektivní návrhová mez kluzu výztuže na protlačení – dosazuje se v kPa

$f_{ywd}$  skutečná návrhová hodnota meze kluzu výztuže na protlačení, uvažuje se 435 MPa – dosazuje se v kPa

### KONTROLOVANÝ OBVOD $u_{out}$

$$\mathcal{V}_{Ed,out} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} \quad (6.18)$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_{out} * d} = \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}}) \quad (6.19)$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1c} * \rho_{13}} \quad (6.9)$$

$$\rho_{1c} = \frac{a_{s,c}}{1000 * d_c} \quad (6.10)$$

$$\rho_{13} = \frac{a_{s,3}}{1000 * d_3} \quad (6.11)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (6.6)$$

$V_{Ed}$  Tlaková síla působící na lokální podporu – dosazuje se v kN

$\beta$  Součinitel zohledňující nesymetrické zatížení

$u_{out}$  kontrolovaný obvod  $u_{out}$  – dosazuje se v m

$d$  účinná výška desky – dosazuje se v m

$\rho_1$  stupeň vyztužení

$k_{max}$  1,45 při tloušťce desky  $h = 200$  mm  
1,70 při tloušťce desky  $h > 700$  mm  
při hodnotách mezi se interpoluje

$C_{Rd,c}$  uvažujeme  $1,8/\gamma_c = 1,8/1,5 = 1,2$

$k, \rho_{1c,3}$   $d$  dosazujeme v mm

$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v MPa

$a_{s,c}$  plocha horní ohybové výztuže na šířku 1m běžný pásu C – dosazuje se v  $mm^2$

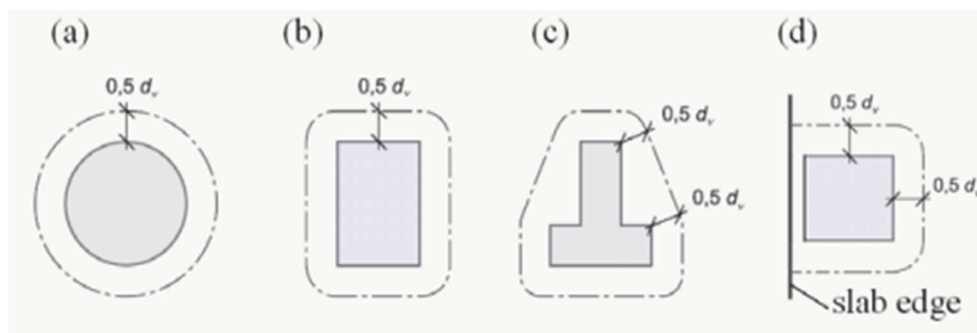
$a_{s,3}$  plocha horní ohybové výztuže na šířku 1m běžný pásu C – dosazuje se v  $mm^2$

Pokud obě podmínky vyhoví, výztuž na protlačení je navržena správně. Pokud nevyhoví první podmínka, znamená to, že výztuž na protlačení je nedostatečná a musí se ji navrhnout více. Nedoporučuje se navrhovat menší rozestup mezi třmínky jak 100 mm [4]. Pokud nevyhoví druhá podmínka, znamená to, že je potřeba lišty udělat delší.

## 6.2. NÁVRH VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ PODLE MODEL CODE 2010

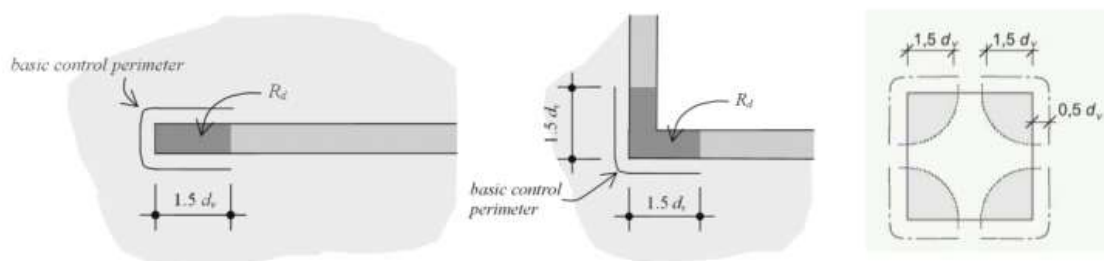
### 6.2.1. KONTROLOVANÉ OBVODY

Kontrolované obvody je hned první parametr, kde se Model Code 2010 poměrně dost liší od ČSN EN 1992-1-1 (dále jen ČSN). Zde se kontrolovaný obvod  $b_1$  nachází ve vzdálenosti  $0,5d$  od líce podpory [13].



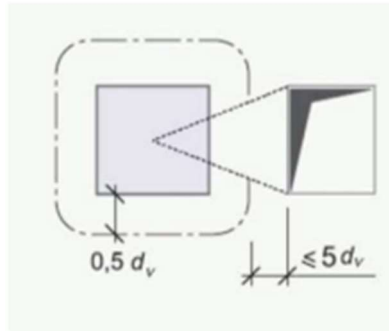
Obr. 29 Kontrolovaný obvod  $b_1$  (zdroj: [14])

Pokud se nejedná o sloupovou lokální podporu, ale například konec, roh stěny nebo velký sloup, kontrolovaný obvod  $b_1$  se vynáší od hrany podpory pouze do vzdálenosti  $1,5d$  od rohu podpory [13]. V tomto případě je vytváření kontrolovaného obvodu shodné s ČSN.



Obr. 30 Kontrolovaný obvod  $b_1$  u rohu stěny, konce stěny a velkého sloupu (zdroj: [14])

V případě umístění otvoru v blízkosti lokální podpory se musí ověřit podmínka, zda se nachází otvoru blíže jak  $5d$  od hrany podpory. V případě, že se nachází dále, otvor se nemusí brát v potaz. Pokud je ovšem blíže než  $5d$ , při vytváření kontrolovaného obvodu se postupuje stejně jako v ČSN. Rozdíl mezi ČSN je, že tam je požadovaná vzdálenost otvoru  $6d$  od hrany podpory.



Obr. 31 Obvod  $b_1$  s otvorem v desce (zdroj: [14])

### 6.2.2. SOUČINITEL $k_e$

Součinitel  $k_e$  je něco jako součinitel  $\beta$  při návrhu pomocí ČSN. Avšak zásadní rozdíl mezi těmito součiniteli je, že  $\beta$  se zvětšoval při nevýhodném umístění sloupu (vznik excentrického namáhání), jelikož přenásoboval působící sílu na podporu. Kdežto  $k_e$  se se vznikem excentricity zmenšuje, jelikož redukuje délku kontrolovaného obvodu. Pokud konstrukce splňuje podmínky, že musí být prostorově ztužena a sousední pole se neliší o více jak 25%, lze použít tabulkové hodnoty součinitele  $k_e$ . Lze ho ale navrhnout i přesněji a to podle vzorce: [13]

$$k_e = \frac{1}{1 + e/b} \quad (6.20)$$

$e$  excentricita působící na sloup ( $M_{ed}/V_{ed}$ )

$b$  průměr kruhu o stejné ploše jako styčná plocha

Součinitel $k_e$	Umístění sloupu
0,90	Vnitřní sloup
0,70	Sloup u okraje
0,65	Sloup v rohu desky

Obr. 32 Tabulkové hodnoty součinitele  $k_e$  (zdroj: [13])

### 6.2.3. ZÁKLADNÍ PODMÍNKA ÚNOSNOSTI

$$V_{ed} \leq V_{Rd}$$

Při posouzení protlačení musí být na rozdíl od ČSN splněna podmínka pro posouvající síly nikoliv napětí.

Únosnost v protlačení je definována rovnicí:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} \quad (6.21)$$

$$V_{Rd,c} = k_{\psi} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} * b_0 * d \quad (6.22)$$

$k_{\Psi}$  součinitel závisející na deformační kapacitě deskového prvku v oblasti styčné plochy

$f_{ck}$  charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku – dosazuje se v MPa

$b_0$  délka základního kontrolovaného obvodu včetně redukce  $k_e$  a prostupů

#### SOUČINITEL $k_{\Psi}$

$$k_{\Psi} = \frac{1}{1,5 + 0,6 * \Psi * d * k_{dg}} \leq 0,6 \quad (6.23)$$

$$k_{dg} = 48/(16 + d_g) \geq 1,15 \quad (6.24)$$

$k_d$  velikost zrna kameniva

$\Psi$  úhel natočení deskového prvku v oblasti styčné plochy vně poruchové smykové plochy

$V_{Rd,s}$  únosnost smykové výztuže

#### $V_{Rd,s}$

$$V_{Rd,s} = \Sigma A_{sw} * k_e * \sigma_{sd} * \sin \alpha \quad (6.25)$$

$$\sigma_{sd} = \frac{E_s * \Psi}{6} \leq f_{ywd} \quad (6.26)$$

$\Sigma A_{sw}$  celková plocha smykové výztuže

$\alpha$  úhel mezi smykovou výztuží a rovinou deskového prvku

$\sigma_{sd}$  napětí ve smykové výztuži

$f_{ywd}$  návrhová pevnost smykové výztuže

$E_s$  modul pružnosti smykové výztuže

Pro stanovení natočení deskového prvku „ $\Psi$ “ za poruchovou trhlinou lze v Model Code 2010 použít 4 základní výpočty. Rozlišují podle přesnosti výstupů

### 6.2.4. 4 VÝPOČTY NATOČENÍ DESKOVÉHO PRVKU

#### ÚROVEŇ 1

V této úrovni se navrhují pravidelné desky, které byly navrženy pomocí lineárně pružné analýzy a nebyly provedeny nijak zásadní redistribuce vnitřních sil

$$\Psi = 1,5 \frac{r_s * f_{yd}}{d * E_s} \quad (6.27)$$

$r_s$  vzdálenost místa nulového momentu v radiálním směru od osy sloupu

Tento výpočet však nezohledňuje vliv ztužení průřezu a je tedy vhodné postupovat spíše podle následujícího postupu (Úroveň 2) [13].

#### ÚROVEŇ 2

I v této úrovni se navrhuje pravidelné desky, které byly navrženy pomocí lineárně pružné analýzy. Ovšem oproti Úrovně 1 se zde předpokládá již významnější redistribuce vnitřních sil

$$\Psi = 1,5 * \frac{r_s * f_{yd}}{d * E_s} * \left( \frac{m_{sd}}{m_{Rd}} \right)^{1,5} \quad (6.28)$$

$m_{sd}$  průměrný ohybový moment ve sloupovém pruhu uvažován na jednotku délky

- Vnitřní sloup:  $V_{Ed} / 8$
- Okrajový sloup:  $V_{Ed} / 4$  pro směr rovnoběžný s okrajem,  $V_{Ed} / 8$  pro výztuž kolmou k okraji
- Rohový sloup  $V_{Ed} / 2$

$m_{Rd}$  návrhová únosnost v ohybu ve sloupovém pruhu

### ÚROVEŇ 3

V této úrovni je již přesnější výpočet. Dá se použít za předpokladu, že k zjištění  $r_s$  (vzdálenost místa nulového momentu) je použit lineárně pružný model MKP (metoda konečných prvků) a pokud  $m_{sd}$  (průměr ohybového momentu) je taktéž stanoven pomocí modelu MKP [13].

$$\Psi = 1,5 * \frac{r_s * f_{yd}}{d * E_s} * \left( \frac{m_{sd}}{m_{Rd}} \right)^{1,2} \quad (6.29)$$

### ÚROVEŇ 4

Jedná se o nejpresnější postup výpočtu. Postup totiž předpokládá nelineární analýzu MKP se zahrnutým vlivem trhlin a i se zpevněním tažené výztuže. Maximální únosnost v protlačení se představuje jako porušení tlačené betonové diagonály [13].

$$V_{Rd,max} = k_{sys} * k_{\Psi} * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} * b_0 * d \leq \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} * b_0 * d \quad (6.29)$$

$k_{sys}$  součinitel účinnosti smykové výztuže = 2

$k_{\Psi}$  součinitel stanovený pro smykově nevyztuženou oblast

$\sigma_{sd}$  napětí ve smykové výztuži

Tento vztah omezuje omezuje smykovou únosnost průřezu v obvodě  $b_0$  a to na maximálně dvojnásobek smykové únosnosti nevyztuženého průřezu. Pro zajištění dostatečné únosnosti je tedy nezbytné aby smyková výztuž přenesla více jak 50% celkového zatížení [13].



## 7. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Citlivostní analýza je proces, při kterém se zkoumá vliv vstupních parametrů a na výstupy. V této práci se bude citlivostní analýza zaměřovat na protlačení. Bude se zkoumat, jaký dopad mají vstupní parametry na konečnou únosnost desky v protlačení. Bude zaměřená na to, jaký faktor (vstupní parametr) je nejkritičtější a který má procentuálně největší vliv na únosnost desky v protlačení.

Tato práce se bude zabývat citlivostní analýzou ve fázi, kdy jsou již spočteny vnitřní síly objektu. Faktory ovlivňující zatížení tu tedy nebudou hrát roli. Bude se brát v úvahu třída betonu, třída oceli, krytí betonu, průměr ohybové výztuže, průměr smykové výztuže, počet prutů ohybové výztuže, počet lišt se smykovou výztuží a rozměr sloupu.

Bude provedena jak deterministická, tak i stochastická analýza. Deterministická analýza se zaměřuje na parametry, které je možné v průběhu návrhu konstrukce určit a výsledky tedy ukáží, jaký vliv na výslednou únosnost bude mít například zvětšení průměru výztuže. Stochastická analýza se zaměřuje na parametry, které nelze přesně určit a dá se u nich předpokládat, že budou mít určité odchylky od předpokládaných hodnot. Ideální parametr pro tuto analýzu je například pevnost betonu. Při navrhování konstrukcí se počítá běžně s 5% kvantilem a zde budou výsledky ukazovat na výslednou únosnost i při jiných kvantilech.

## 8. PRAKTICKÁ ČÁST

### 8.1. PŘEDBĚŽNÝ STATICKÝ VÝPOČET

Předběžný návrh Tomáš Janecký 1.

C 30/37

B 500 B

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,15 = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$$

1.) Deska - 1. NP

$$L_{max} = 7,8 \text{ m}$$

• Empirie

$$h_{d1} = \frac{1}{30} \cdot L_n = \frac{1}{30} \cdot 7800 \\ = \underline{\underline{260 \text{ mm}}}$$

• Stíhlost

$$h_{d2} = d + \frac{e}{2} + C_{nom}$$

$$\lambda = \frac{R}{d} \leq \lambda_{ed} = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{ed,tab}$$

$$d \geq \frac{R}{\kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{ed,tab}} = \frac{7800}{1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 24,6} \\ \geq \underline{\underline{254 \text{ mm}}}$$

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$C_{min} = \max ( C_{min,b} ; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y} - C_{dur,ct} - \\ - C_{dur,add} ; 10 ) \\ = \max ( 10 ; 15 + 0 - 0 - 0 ; 10 ) \\ = 15 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 15 + 10 = \underline{\underline{25 \text{ mm}}}$$

$$h_{d2} = 254 + \frac{12}{2} + 25 \\ = \underline{\underline{285 \text{ mm}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{h_d = 280 \text{ mm}}}$$

• Zatížení - podlaží

Zatížení	char. [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrh. [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha	7	1,35	9,45
Ost. stálo'	0,8 + 0,8	1,35	2,16
$\Sigma$	8,6	1,35	11,61
Užitné'	2,5	1,5	3,75
$\Sigma$	<u>11,1 = S<sub>k,p</sub></u>	-	<u>15,36 = S<sub>d,p</sub></u>

=> podlaha + příčky

VI. tíha =  $g \cdot h_d = 25 \cdot 0,28 = 7 \text{ kN/m}^2$

• Zatížení - střecha

Zatížení	char. [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrh. [kN/m <sup>2</sup> ]
VI. tíha	7	1,35	9,45
Ost. stálo'	0,9	1,35	1,215
$\Sigma$	7,9	1,35	10,67
Užitné'	0,75	1,5	1,125
Sníh	0,56	1,5	0,84
$\Sigma$	1,31	1,5	1,97
$\Sigma$	<u>9,21 = S<sub>k,s</sub></u>	-	<u>12,64 = S<sub>d,s</sub></u>

sníh :  $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$

• Příčka Knauf W 112

hmotnost :  $0,5 \text{ kN/m}^2$

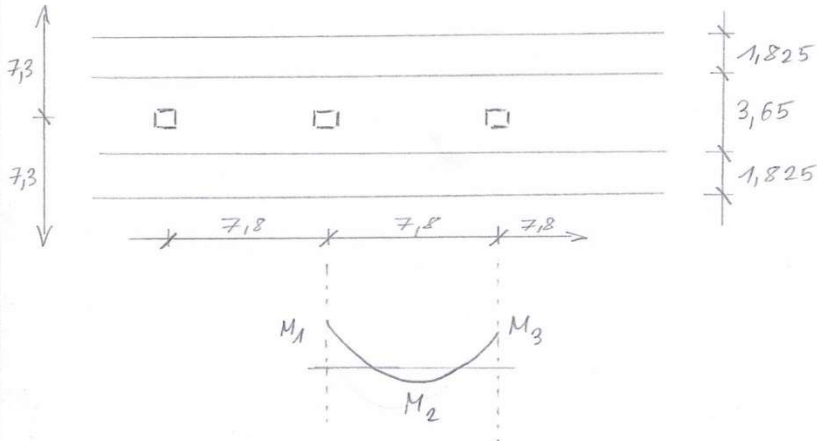
$g = (k_v - h_d) \cdot 0,5 = (3,8 - 0,28) \cdot 0,5 = 1,76 \text{ kN/m} \leq 2 \text{ kN/m}$

=> dle normy uvažuji  $0,8 \text{ kN/m}^2$

• Ověření

$$M_{\text{tot}} = \frac{1}{8} \cdot s_{d,p} \cdot b \cdot L_n^2 = \frac{1}{8} \cdot 15,36 \cdot 7,3 \cdot 7,8^2$$

$$= 852 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$M_1 = \eta_1 \cdot M_{\text{tot}} = 0,65 \cdot 825 = 536 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_2 = \eta_2 \cdot M_{\text{tot}} = 0,35 \cdot 825 = 288 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_3 = M_1 = 536 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{\text{skut}}$ : Soupový pruh:

$$M_{1w} = M_1 \cdot w_1 = 536 \cdot 0,75$$

$$= 402 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M = \frac{M_{1w}}{3,65} = \frac{402}{3,65} = \underline{\underline{110 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

$$d = h_d - c - \phi$$

$$= 280 - 25 - 12$$

$$= 243 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{\text{Ed,max}}}{b \cdot d^2 \cdot s_{cd}} = \frac{110}{1 \cdot 0,243^2 \cdot 20\,000} = 0,093$$

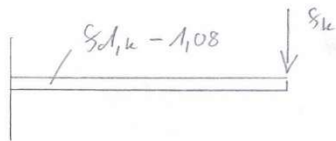
$$\Rightarrow \xi = 0,12$$

## 2.) Vykonzoloovaná deska - 1. NP

$$L = 2,1 \text{ m}$$

→ zde neuvažují plošné zatížení příčky.

Uvažují lineové zatížení na konci konzoly  
o velikosti  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}$



$$\begin{aligned} M_{Ed, \max} &= \frac{1}{2} \cdot (s_{d,p} - 1,08) \cdot L^2 + s_k \cdot 1,35 \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot (15,36 - 1,08) \cdot 2,1^2 + 2,5 \cdot 1,35 \cdot 2,1 \\ &= 38,6 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed, \max}}{b \cdot d^2 \cdot s_{cd}} = \frac{38,6}{1 \cdot 0,243^2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,033$$

$$\Rightarrow \xi = 0,041 \leq 0,1$$

⇒ VYHOVUJE

## 3.) Sloup - 1. NP

• Zatížení

Zatížení	návrh [ $\text{kN/m}^2$ ]	z. s.	n [-]	návrh [kN]
Podlaží	15,36	7,8.7,3	3	2 624
Střecha	12,64	7,8.7,3	1	720
Sloup (celhod)	-	-	4	76
$\Sigma$				<u>3 420 = F<sub>d</sub></u>

$$\begin{aligned} \text{Sloup} &= s \cdot a^2 \cdot v \cdot \gamma \cdot n = 25 \cdot 0,4^2 \cdot (3,8 - 0,28) \cdot 1,35 \cdot 4 \\ &= 76 \text{ kN} \end{aligned}$$

46°

- Ověření konzoly z hlediska štíhlosti

$$h_{cl} = d + \frac{s}{2} + C_{nom}$$

$$d \geq \frac{R}{\kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \eta_{d,deb}} = \frac{2 \cdot 100}{1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 8}$$

$$\geq 210$$

$$h_{cl} \geq 210 + \frac{12}{2} + 25 =$$

$$\geq 241 \text{ mm} \leq 280 \text{ mm (deska)}$$

⇒ VYHOVUJE

• Ověření

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + \rho_s \cdot \sigma} = \frac{3420}{0,8 \cdot 20 \cdot 10^3 + 0,02 \cdot 400000}$$

$$\geq 0,1425 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{A_c} = \sqrt{0,1425} = 0,38 \text{ m}$$

$\Rightarrow$  z hlediska tlakové únosnosti by bylo možné navrhnout sloup o rozměrech  $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ .

Kvůli možnosti momentového namáhání navrhuji sloup o rozměrech  $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ .

$$A_c = 0,5^2 = \underline{\underline{0,25 \text{ m}^2}} \geq 0,1425$$

$\Rightarrow$  VYHOVUJE

4.) Předběžné ověření na protlačení

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$a) V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed,0} = \frac{S_{d,p} \cdot a \cdot b \cdot \beta}{u_0 \cdot d} = \frac{15,36 \cdot 7,8 \cdot 7,3 \cdot 1,15}{0,5 \cdot 4 \cdot 0,243}$$

$$= 2069 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$= 4224 \text{ kPa}$$

$$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$$

$$2069 \leq 4224 \text{ kPa}$$

$\Rightarrow$  VYHOVUJE

$$b) V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} \cdot k_{max}$$

$$V_{Ed,1} = \frac{S_{cd} \cdot a \cdot b \cdot \beta}{u_1 \cdot d} = \frac{15,36 \cdot 7,8 \cdot 7,3 \cdot 1,5}{(4 \cdot 0,5 + 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,243) \cdot 0,243}$$

$$= 819 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,c} \cdot k_{max} = k_{max} \cdot C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot S_1 \cdot s_{0k}}$$

$$= 1,49 \cdot 0,12 \cdot 1,907 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,005 \cdot 30}$$

$$= 841 \text{ kPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{243}} = 1,907 \leq 2$$

$$k_{max} : h_d = 280 \text{ mm} \Rightarrow k_{max} = 1,49$$

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

$$819 \leq 841 \text{ kPa}$$

$\Rightarrow$  VYHOVUJE



## 5.) Schodiště 1 - 1. NP

→ prefabrikované schodiště na monolitickou podestu a mezipodestu

• Návrh stupňů

$$k_v = 3,8 \text{ m}$$

$$\frac{3800}{170} = 22,3$$

$$\frac{3800}{20} = 190 \text{ mm}$$

$$\bar{s} = 600 - 2 \cdot v = 600 - 2 \cdot 190 = 220$$

$$\bar{s} = 215 \text{ mm}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{190}{215}\right) = 41,46^\circ \Rightarrow \text{STRMÉ SCHODIŠTĚ}$$

$$t_l = 200 \text{ mm}$$

• Zatížení

$$g_1 = \text{úprava schodů} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 = \text{stupeň} = 25 \cdot \frac{0,19}{2} = 2,375 \text{ kN/m}^2$$

$$g_3 = \text{rameno} = 25 \cdot \frac{0,2}{\cos 41,46} = 6,67 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3 \text{ kN/m}^2$$

Stálé	char. [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrh. [kN/m <sup>2</sup> ]
$g_1$	0,4	1,35	0,54
$g_2$	2,375	1,35	3,21
$g_3$	6,67	1,35	9
$\Sigma$	9,445	1,35	12,75
Proměnné	-	-	-
$q$	3	1,5	4,5
$\Sigma$	12,445 = $s_{k,SA}$	-	17,25 = $s_{d,SA}$

• Overeni!

$$M_{ed, max} = \frac{1}{8} \cdot s_{d, s_1} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 17,25 \cdot 2,6^2$$

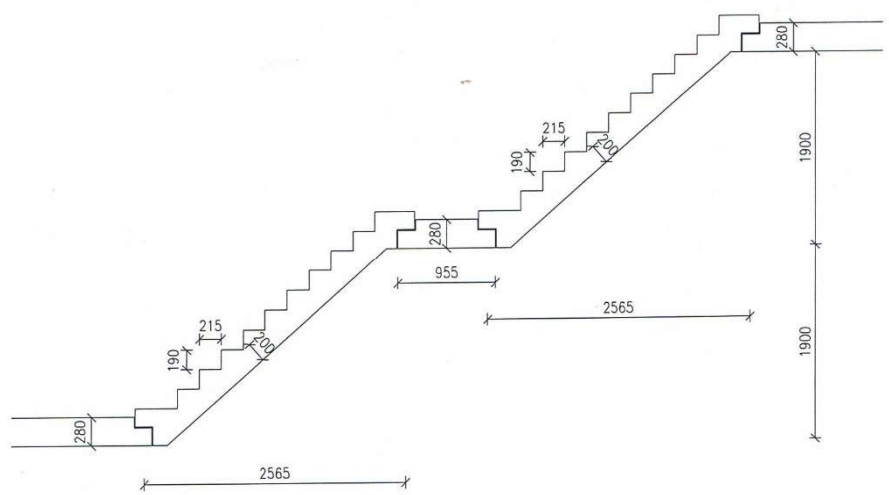
$$= 14,58 \text{ kN.m}$$

h = 200  
 ϕ = 12  
 c = 25  
 d = 169mm

$$\mu = \frac{M_{ed, max}}{b \cdot d^2 \cdot s_{cd}} = \frac{14,58}{1 \cdot 0,169^2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0255$$

$$\Rightarrow \xi = 0,032 \leq 0,1$$

=> VYHOVUJE



## 6.) Schodiště 2 - 1. NP

→ prefabrikované schodiště na monolitickou podestu a mezipodestu

## • Návrh stupně

$$k_v = 3,8 \text{ m}$$

$$\frac{3800}{170} = 22,3$$

$$\frac{3800}{20} = 190 \text{ mm} = v$$

$$\begin{aligned} \bar{s} &= 630 - 2 \cdot v = 630 - 2 \cdot 190 = 250 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left( \frac{190}{240} \right) = 38,37^\circ \Rightarrow \text{STRMÉ SCHODIŠTĚ}$$

$$t_l = 210 \text{ mm}$$

## • Zatížení

$$g_1 = \text{úprava schodů} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 = \text{stupně} = 25 \cdot \frac{0,19}{2} = 2,375 \text{ kN/m}^2$$

$$g_3 = \text{rameno} = 25 \cdot \frac{0,21}{\cos 38,37} = 6,7 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3 \text{ kN/m}^2$$

Stupeň	char. [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrh. [kN/m <sup>2</sup> ]
$g_1$	0,4	1,35	0,54
$g_2$	2,375	1,35	3,21
$g_3$	6,7	1,35	9,045
$\Sigma$	9,475	1,35	12,79
Prohýbné	—	—	
$q$	3	1,5	4,5
$\Sigma$	$12,475 = s_{k,s_2}$	—	$17,29 = s_{d,s_2}$

• Ověření

$$M_{Ed, \max} = \frac{1}{8} \cdot s_{d, s_2} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 17,29 \cdot 2,8^2$$

$$= 16,94 \text{ kN.m}$$

$$h = 200$$

$$\varnothing = 12$$

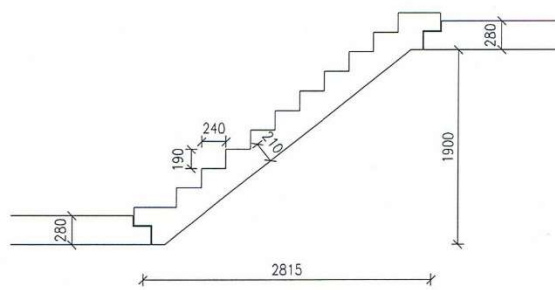
$$c = 25$$

$$d = 179 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed, \max}}{b \cdot d^2 \cdot s_{cd}} = \frac{16,94}{1 \cdot 0,179^2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,026$$

$$\Rightarrow \xi = 0,033 \leq 0,1$$

$\Rightarrow$  VYHOVUJE



7.7 Stěna 1,2 - 1. NP

Vzhledem k počtu pouze čtyř podlaží, je zbytečné ověřovat stěny tl. 250 a 200 mm na tlakovou únosnost.

### Schodiště 3 - 1.NP

→ prefabrikované lomené schodiště na monolitické podesty

• Návrh stupňů

$lv. = 3,8 \text{ m}$

$\frac{3800}{170} = 22,35$

$\frac{3800}{22} = 172,72 = v$

$\bar{s} = 630 - 2 \cdot v = 630 - 2 \cdot 172,72 = 284,6 \text{ mm}$   
 $= 280 \text{ mm}$

$\alpha = \text{tg}^{-1} \left( \frac{172,72}{280} \right) = 31,67^\circ \Rightarrow \text{BĚŽNÉ SCHODIŠTĚ}$

$tl. = 225 \text{ mm}$

• Zatížení

$g_1 = \text{úprava schodů} = 0,4 \text{ kN/m}^2$

$g_2 = \text{stupně} = 25 \cdot \frac{0,173}{2} = 2,16 \text{ kN/m}^2$

$g_3 = \text{rameno} = 25 \cdot \frac{0,225}{\cos 31,67} = 6,6 \text{ kN/m}^2$

$q = 3 \text{ kN/m}^2$

Stálé	char. [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	návrh. [kN/m <sup>2</sup> ]
$g_1$	0,4	1,35	0,54
$g_2$	2,16	1,35	2,916
$g_3$	6,6	1,35	8,91
$\Sigma$	9,16	1,35	12,366
Průměnné	-	-	-
$q$	3	1,5	4,5
$\Sigma$	$12,16 = S_{kP3}$	-	<u><u>16,86 = S_{d1, S3}</u></u>

• Ověření

12.

$$h = 225$$

$$\varnothing = 12$$

$$c = 25$$

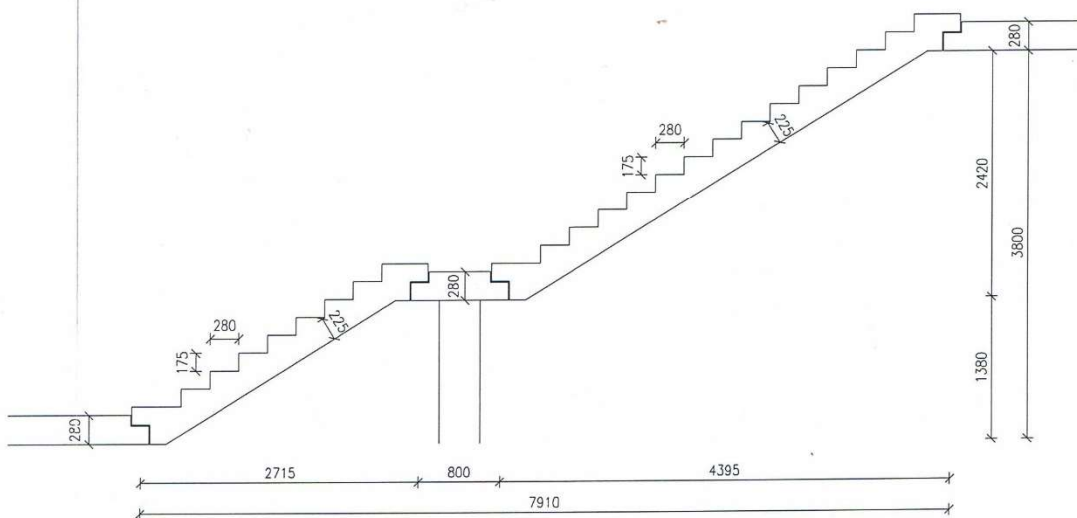
$$d = 194 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot s_{d, s_3} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 16,86 \cdot 4,4^2$$
$$= 40,8 \text{ kN.m}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot s_{d,d}} = \frac{40,8}{1 \cdot 0,194^2 \cdot 20\,000} = 0,054$$

$$\Rightarrow \xi = 0,069 \leq 0,1$$

$\Rightarrow$  VYHOVUJE



## 8.2. PODROBNÝ VÝPOČET VÝZTUŽE DO DESKY

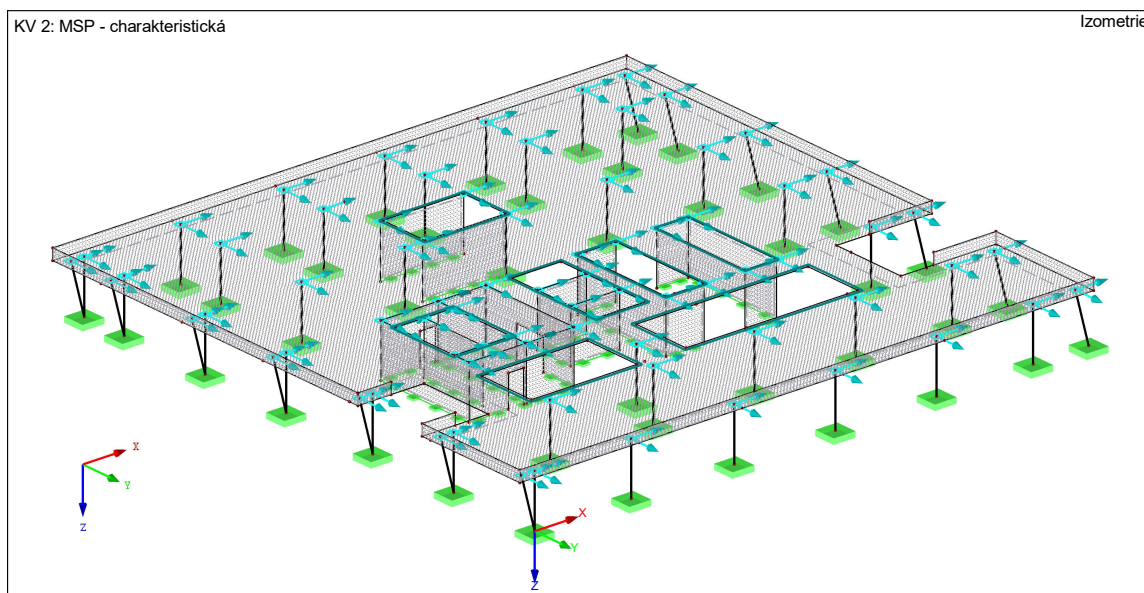
Na základě výpočetního modelu bylo zjištěno, že v místě schodiště číslo 3 byly mnohem větší průhyby desky, než v jiných místech. Proto byl přidán jeden sloup. Průhyb desky byl ověřen jen posouzením dle zkušeností a to tak, že charakteristický průhyb 5,5 mm byl přenásoben čtyřmi a porovnán s limitním průhybem pro desku o rozponu pole 7,3 m.

$$\lambda_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{7300}{250} = 29,2 \text{ mm} \geq \lambda = 4 * 5,5 = 22 \text{ mm}$$

### POSTUP VÝPOČTU

1. Bude vypočtena potřebná plocha výztuže pro moment v poli ve směru „x“ a „y“, díky čemuž bude vytvořen základní rastr výztuže pro celou stropní konstrukci (daná výztuž bude tedy vložena i k hornímu povrchu desky).
2. Místa, ve kterých dochází k lokálnímu vzrůstu momentového namáhání (nejčastěji v místech lokálních podpor), budou rozdělena do určitého počtu skupin podle velikosti momentového namáhání tak, aby výsledné vyztužení bylo ekonomické a zároveň i smysluplné (aby u každé lokální podpory nebylo jiné množství výztuže).
3. Pomocí výstupů z citlivostní analýzy bude navržena případná výztuž na protlačení.

### SCHÉMA MODELU VE VÝPOČETNÍM PROGRAMU RFEM



Obr. 33 Schéma modelu ve výpočetním programu RFEM

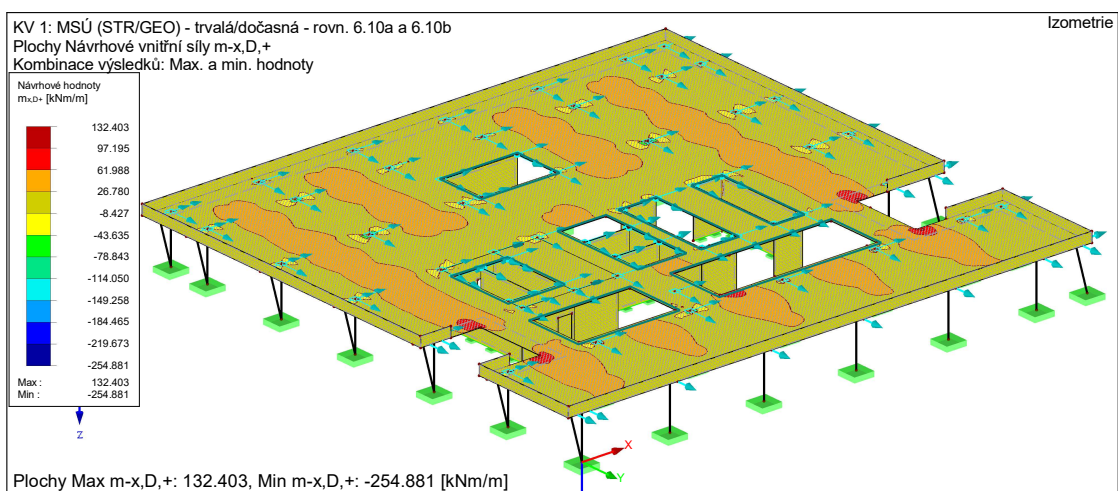


## ZATĚŽOVACÍ STAVY

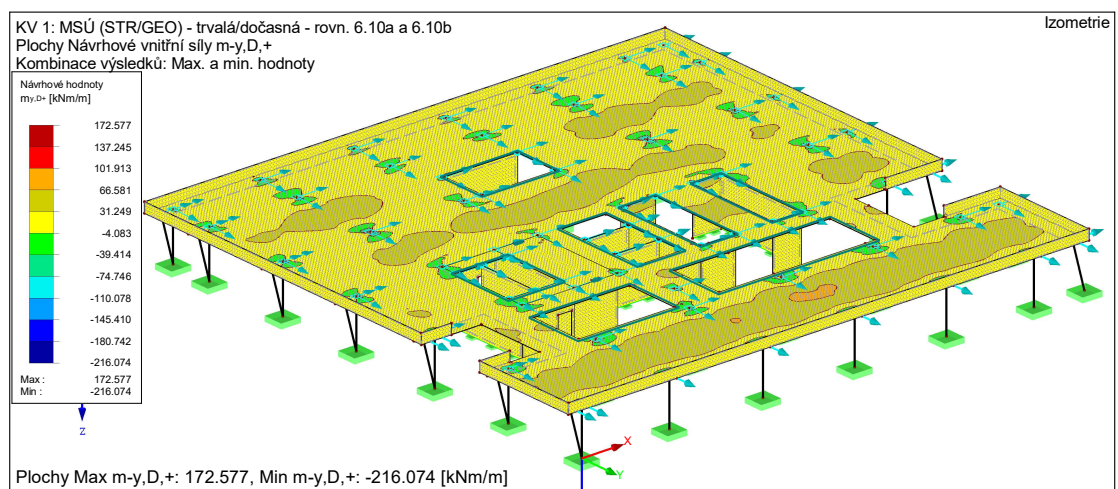
1. Vlastní tíha konstrukce
2. Ostatní stálé zatížení
3. Užité zatížení celkové
4. Užité zatížení šachovnicové 1
5. Užité zatížení šachovnicové 2
6. Užité zatížení schodiště

### 8.2.1. VÝPOČET VÝZTUŽE PRO MOMENT V POLI

#### MOMENTY V POLI



Obr. 34 Momenty v poli ve směru osy x

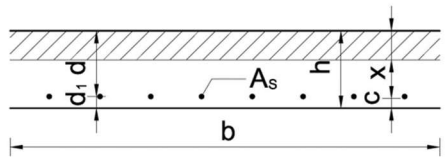
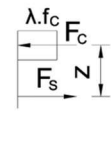
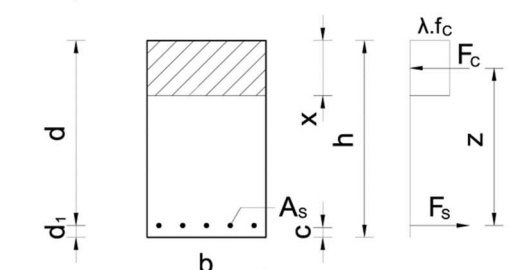


Obr. 35 Momenty v poli ve směru osy y



Maximální moment v poli se nachází ve směru osy y (obr. 35) o velikosti 72 kN.m. na tento moment bude navržen základní rastr výztuže pro oba směry u dolního povrchu desky.

### Únosnost základního rastru výztuže u dolního povrchu desky

<b>Materiály:</b>			
Třída betonu:	<b>C 30/37</b>	=> char. hodnota pevnosti	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Výztuž:	<b>10 505 R</b>	=> char. hodnota pevnosti	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Materiálové součinitele:	beton: $\gamma_c = 1,5$	ocel: $\gamma_s = 1,15$	
Návrhové hodnoty:	beton: $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20,0 \text{ MPa}$	$\eta = 1$	
	$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,9 \text{ MPa}$	$\lambda = 0,8$	
	$f_{ctk0,05} = 1,3 \cdot f_{ctm} = 2,0 \text{ MPa}$		
	$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3} = 33,0 \text{ GPa}$		
	ocel: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,78 \text{ MPa}$		
<b>Zatížení:</b>			
Ohybový moment: $M_{Ed} =$	<b>72 kNm</b>		
			
<b>Geometrie:</b>			
Výška průřezu: $h = 280 \text{ mm}$	Krytí: $c = 25 \text{ mm}$	Účinná výška průřezu: $d = 242 \text{ mm}$	
Šířka průřezu: $b = 1000 \text{ mm}$			
<b>Návrh ohybové výztuže:</b>			
Profil výztuže: $\varnothing = 14 \text{ mm}$	počet profilů: $p = 5 \text{ ks}$	Osová vzdálenost: $s = 200 \text{ mm}$	
Plocha výztuže: $A_s = 770 \text{ mm}^2$		Světlá vzdálenost: $s = 186 \text{ mm}$	
Minimální plocha výztuže: $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \bar{\sigma}_s) =$			
	$A_{s,min} = 419,6764 \text{ mm}^2$		
Maximální plocha výztuže $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$			
$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow$	$420 \leq 770 \leq 11200$	$[\text{mm}]^2$	$\Rightarrow$ Vyhovuje
$k_1 = 1,5$	$k_2 = 5 \text{ mm}$	Průměr zrna kameniva: $d_g = 16 \text{ mm}$	
Minimální vzdálenost:	$s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 21 \text{ mm} \leq s$	$\Rightarrow$ Vyhovuje	
Maximální vzdálenost:	$s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s$	$\Rightarrow$ Vyhovuje	
<b>Posouzení:</b>			
$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 20,9 \text{ mm}$	$\xi = \frac{x}{d} = 0,086 \leq \xi_{lim} = 0,45$	$\Rightarrow$ Vyhovuje	
$z = d - \lambda/2 \cdot x = 233,6 \text{ mm}$			
Moment únosnosti:			
$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 78,19 \text{ KNm}$	$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$72,00 \text{ kNm} \leq 78,19 \text{ KNm}$	
<b><math>\Rightarrow</math> Navržený průřez vyhovuje</b>			

Umístit tento rastr výztuže i k hornímu povrchu desky by bylo již neekonomické a budou tedy umístěny pruty o průměru 12 mm s roztečí stejně jako u dolního povrchu 200 mm.

## Únosnost základního rastru výztuže u horního povrchu desky

### Materiály:

Třída betonu: **C 30/37** => char. hodnota pevnosti  $f_{ck} = 30$  MPa

Výztuž: **10 505 R** => char. hodnota pevnosti  $f_{yk} = 500$  MPa

Materiálové součinitele: beton:  $\gamma_c = 1,5$  ocel:  $\gamma_s = 1,15$

Návrhové hodnoty: beton:  $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20,0$  MPa  $\eta = 1$

$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,9$  MPa  $\lambda = 0,8$

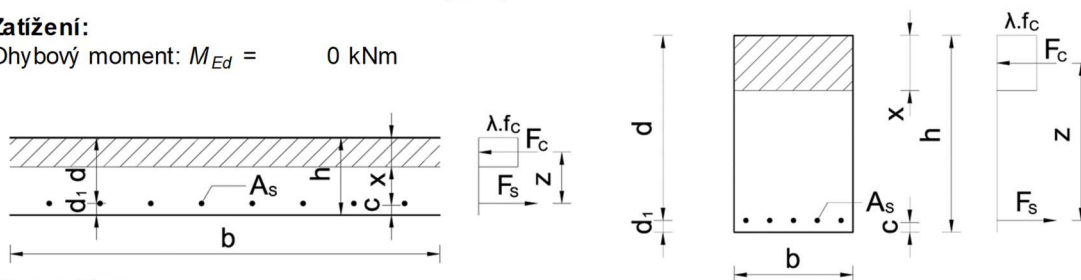
$f_{ctk0,05} = 1,3 \cdot f_{ctm} = 2,0$  MPa

$E_{cm} = 22 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3} = 33,0$  GPa

ocel:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,78$  MPa

### Zatížení:

Ohybový moment:  $M_{Ed} = 0$  kNm



### Geometrie:

Výška průřezu:  $h = 280$  mm Krytí:  $c = 25$  mm

Účinná výška průřezu:  $d = 243$  mm

Šířka průřezu:  $b = 1000$  mm

### Návrh ohybové výztuže:

Profil výztuže:  $\varnothing = 12$  mm počet profilů:  $p = 5$  ks Osová vzdálenost:  $s = 200$  mm

Plocha výztuže:  $A_s = 565$  mm<sup>2</sup> Světlá vzdálenost:  $s = 188$  mm

Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s) =$

$$A_{s,min} = 421,4106 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200$  mm<sup>2</sup>

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 421 \leq 565 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$k_1 = 1,5$   $k_2 = 5$  mm Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16$  mm

Minimální vzdálenost:  $s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2 \cdot 20) = 21 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

### Posouzení:

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 15,4 \text{ mm} \quad \xi = \frac{x}{d} = 0,063 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$z = d - \lambda/2 \cdot x = 236,9 \text{ mm}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 58,23 \text{ KNm} \quad M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad 0,00 \text{ kNm} \leq 58,23 \text{ KNm}$$

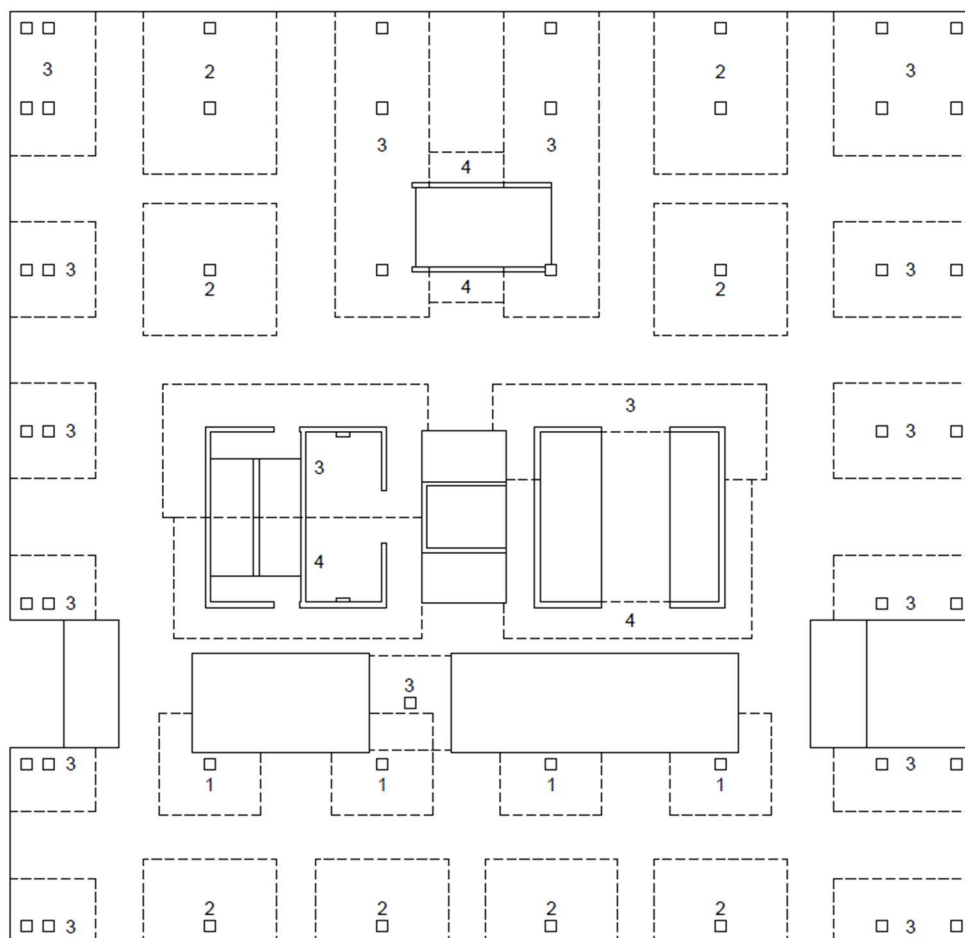
**=> Navržený průřez vyhovuje**

## 8.2.2. VÝPOČET VÝZTUŽE NAD LOKÁLNÍMI PODPORAMI

Aby byla v dané situaci zohledněna únosnost i základního rastru výztuže, tak od kontrolovaného momentu bude vždy únosnost daného rastru odečtena. Ukázán bude vždy moment se skutečnou velikostí (pouze ve směru, ve kterém je větší) a do výpočtu bude vkládán moment již zmenšený o únosnost rastru. U horního povrchu se bude od momentového namáhání odečítat únosnost 58 kN.m.

### SCHÉMA OZNAČENÍ LOKÁLNÍCH PODPOR

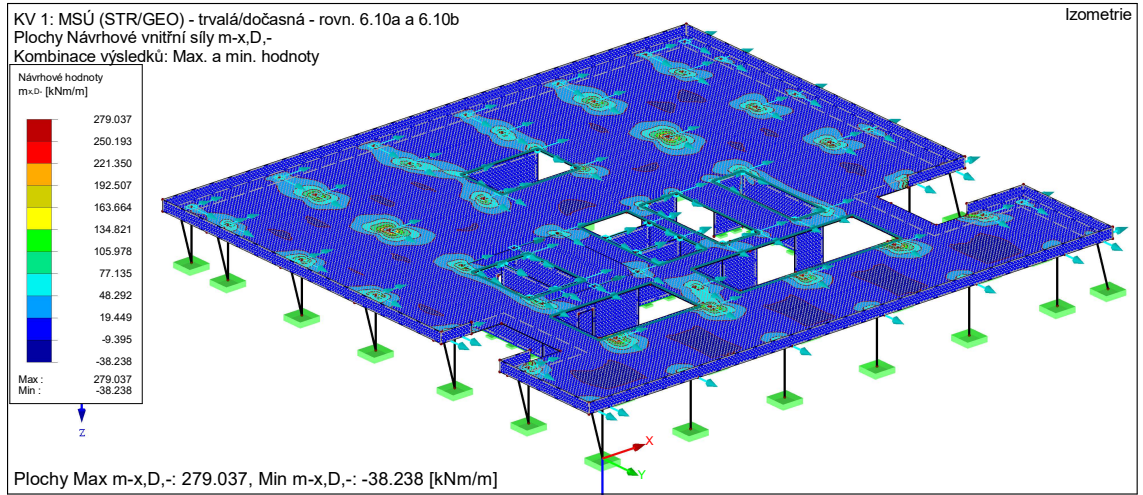
V daném schématu bude znázorněno umístění lokálních podpor, na které bude níže počítána výztuž.



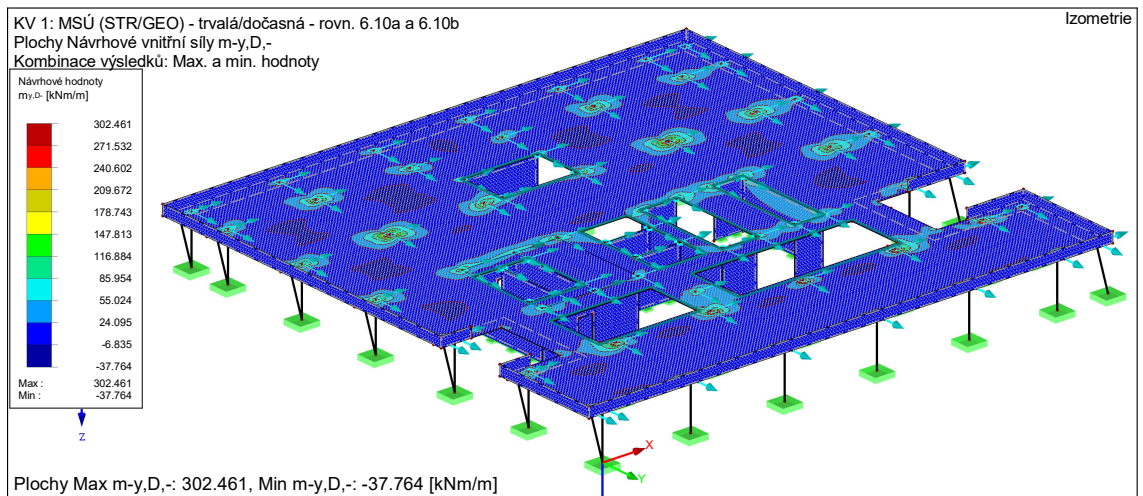
Obr. 36 Schéma rozložení nadpodporových výztuží

## NADPODPOROVÉ MOMNETY

Zde jsou zobrazeny nadpodporové momenty v obou směrech u kterých bude následně vždy zobrazen detail na jednotlivé momenty, které budou posuzovány



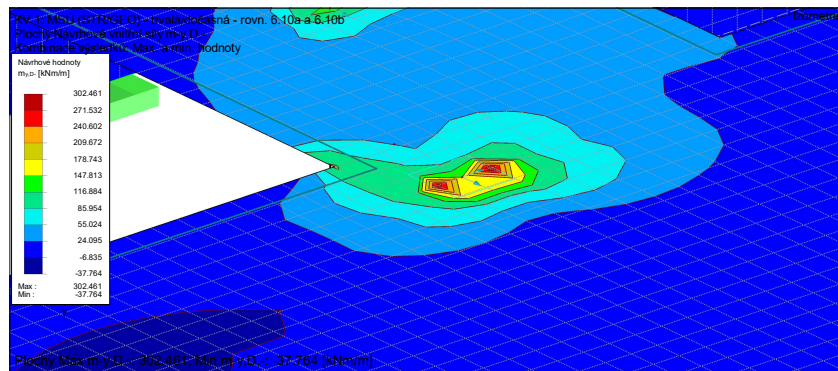
Obr. 37 Nadpodporové momenty ve směru osy x



Obr. 38 Nadpodporové momenty ve směru osy y



## POSOUZENÍ LOKÁLNÍCH MOMENTŮ Č. 1



Obr. 39 Nadpodporový moment č. 1

**Zatížení:**  
 Ohybový moment:  $M_{Ed} = 245 \text{ kNm}$

**Geometrie:**  
 Výška průřezu:  $h = 280 \text{ mm}$     Krytí:  $c = 25 \text{ mm}$     Účinná výška průřezu:  $d = 239 \text{ mm}$   
 Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

**Návrh ohybové výztuže:**  
 Profil výztuže:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$     počet profilů:  $p = 10 \text{ ks}$     Osová vzdálenost:  $s = 100 \text{ mm}$   
 Plocha výztuže:  $A_s = 3142 \text{ mm}^2$     Světlá vzdálenost:  $s = 80 \text{ mm}$   
 Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s) =$   
 $A_{s,min} = 612,61057 \text{ mm}^2$   
 Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$   
 $A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 613 \leq 3142 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $k_1 = 1,5$      $k_2 = 5 \text{ mm}$     Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16 \text{ mm}$   
 Minimální vzdálenost:  $s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 30 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

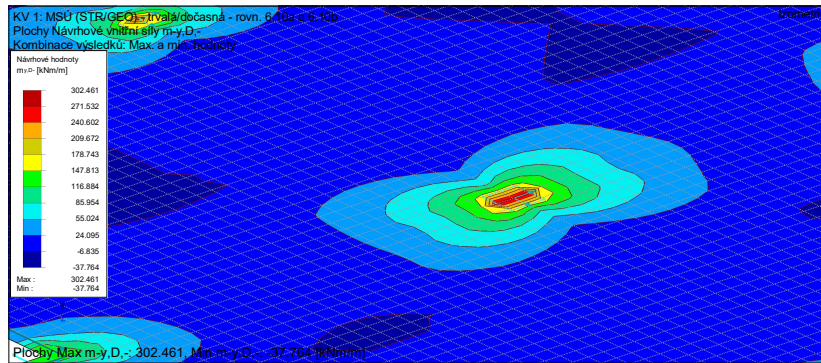
**Posouzení:**  
 $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 102,4 \text{ mm}$      $\xi = \frac{x}{d} = 0,429 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $z = d - \lambda/2 \cdot x = 198,0 \text{ mm}$   
 Moment únosnosti:  
 $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 270,48 \text{ KNm}$      $M_{Ed} \leq M_{Rd}$      $245,00 \text{ kNm} \leq 270,48 \text{ KNm}$

**$\Rightarrow$  Navržený průřez vyhovuje**

Oblast navržené výztuže musí sahat minimálně do vzdálenosti 1,5 m od osy lokální podpory + kotvení výztuže. Vzhledem k průměru výztuže bude celková délka prutů 4,6 m.

$$L = 2 \cdot 1500 + 2 \cdot 40 \cdot \varnothing = 2 \cdot 1250 + 2 \cdot 40 \cdot 20 = 4600 \text{ mm}$$

## POSOUZENÍ LOKÁLNÍCH MOMENTŮ Č. 2



Obr. 40 Nadpodporový moment č. 2

**Zatížení:**  
 Ohybový moment:  $M_{Ed} = 225 \text{ kNm}$

**Geometrie:**  
 Výška průřezu:  $h = 280 \text{ mm}$     Krytí:  $c = 25 \text{ mm}$     Účinná výška průřezu:  $d = 240 \text{ mm}$   
 Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

**Návrh ohybové výztuže:**  
 Profil výztuže:  $\varnothing = 18 \text{ mm}$     počet profilů:  $p = 10 \text{ ks}$     Osová vzdálenost:  $s = 100 \text{ mm}$   
 Plocha výztuže:  $A_s = 2545 \text{ mm}^2$     Světlá vzdálenost:  $s = 82 \text{ mm}$   
 Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \bar{\sigma}_s) =$   
 $A_{s,min} = 496,21456 \text{ mm}^2$   
 Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$   
 $A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 496 \leq 2545 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $k_1 = 1,5$      $k_2 = 5 \text{ mm}$     Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16 \text{ mm}$   
 Minimální vzdálenost:  $s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 27 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

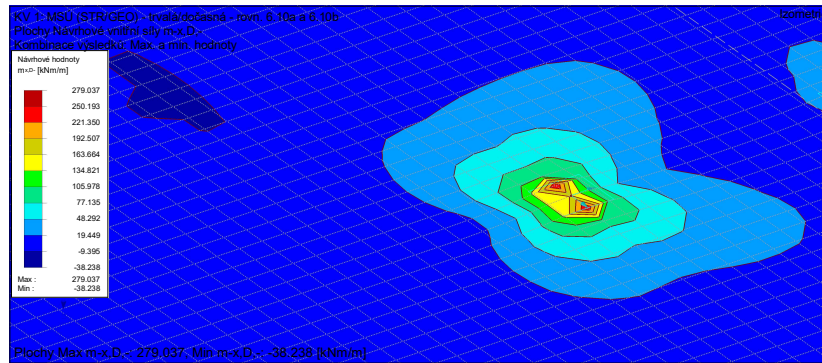
**Posouzení:**  
 $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 83,0 \text{ mm}$      $\xi = \frac{x}{d} = 0,346 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $z = d - \lambda/2 \cdot x = 206,8 \text{ mm}$   
 Moment únosnosti:  
 $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 228,81 \text{ KNm}$      $M_{Ed} \leq M_{Rd}$      $225,00 \text{ kNm} \leq 228,81 \text{ KNm}$

**=> Navržený průřez vyhovuje**

Oblast navržené výztuže musí sahat minimálně do vzdálenosti 1,75 m od osy lokální podpory + kotvení výztuže. Vzhledem k průměru výztuže bude celková délka prutů 5 m.

$$L = 2 \cdot 1750 + 2 \cdot 40 \cdot \varnothing = 2 \cdot 1750 + 2 \cdot 40 \cdot 18 = 5000 \text{ mm}$$

## POSOUZENÍ LOKÁLNÍCH MOMENTŮ Č. 3



Obr. 41 Nadpodporový moment č. 3

**Zatížení:**  
Ohybový moment:  $M_{Ed} = 182 \text{ kNm}$

**Geometrie:**  
Výška průřezu:  $h = 280 \text{ mm}$     Krytí:  $c = 25 \text{ mm}$     Účinná výška průřezu:  $d = 241 \text{ mm}$   
Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

**Návrh ohybové výztuže:**  
Profil výztuže:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$     počet profilů:  $p = 10 \text{ ks}$     Osová vzdálenost:  $s = 100 \text{ mm}$   
Plocha výztuže:  $A_s = 2011 \text{ mm}^2$     Světlá vzdálenost:  $s = 84 \text{ mm}$   
Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \bar{\sigma}_s) =$   
 $A_{s,min} = 392,07076 \text{ mm}^2$   
Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$   
 $A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 392 \leq 2011 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $k_1 = 1,5$      $k_2 = 5 \text{ mm}$     Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16 \text{ mm}$   
Minimální vzdálenost:  $s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 24 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

**Posouzení:**  
 $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 65,6 \text{ mm}$      $\xi = \frac{x}{d} = 0,272 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $z = d - \lambda/2 \cdot x = 214,8 \text{ mm}$   
Moment únosnosti:  
 $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 187,75 \text{ KNm}$      $M_{Ed} \leq M_{Rd}$      $182,00 \text{ kNm} \leq 187,75 \text{ KNm}$

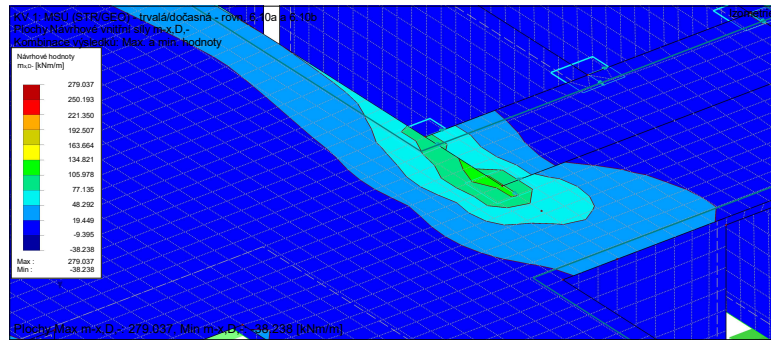
**=> Navržený průřez vyhovuje**

Oblast navržené výztuže musí sahat minimálně do vzdálenosti 1,5 m od osy lokální podpory + kotvení výztuže. Vzhledem k průměru výztuže bude celková délka prutů 4,3 m.

$$L = 2 \cdot 1500 + 2 \cdot 40 \cdot \varnothing = 2 \cdot 1500 + 2 \cdot 40 \cdot 16 = 4300 \text{ mm}$$



## POSOUZENÍ LOKÁLNÍCH MOMENTŮ Č. 4



Obr. 42 Nadpodporový moment č. 4

**Zatížení:**  
 Ohybový moment:  $M_{Ed} = 67 \text{ kNm}$

**Geometrie:**  
 Výška průřezu:  $h = 280 \text{ mm}$  Krytí:  $c = 25 \text{ mm}$  Účinná výška průřezu:  $d = 241 \text{ mm}$   
 Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

**Návrh ohybové výztuže:**  
 Profil výztuže:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$  počet profilů:  $p = 5 \text{ ks}$  Osová vzdálenost:  $s = 200 \text{ mm}$   
 Plocha výztuže:  $A_s = 1005 \text{ mm}^2$  Světla vzdálenost:  $s = 184 \text{ mm}$   
 Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s) =$   
 $A_{s,min} = 374,7068 \text{ mm}^2$   
 Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$   
 $A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 375 \leq 1005 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $k_1 = 1,5$   $k_2 = 5 \text{ mm}$  Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16 \text{ mm}$   
 Minimální vzdálenost:  $s_{mn,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 24 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

**Posouzení:**  
 $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 32,8 \text{ mm}$   $\xi = \frac{x}{d} = 0,136 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $z = d - \lambda/2 \cdot x = 227,9 \text{ mm}$   
 Moment únosnosti:  
 $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 99,61 \text{ KNm}$   $M_{Ed} \leq M_{Rd}$   $67,00 \text{ kNm} \leq 99,61 \text{ KNm}$

**=> Navržený průřez vyhovuje**

Oblast navržené výztuže musí sahat minimálně do vzdálenosti 1 m od osy lokální podpory + kotvení výztuže. Vzhledem k průměru výztuže bude celková délka prutů 3,3 m.

$$L = 2 \cdot 1000 + 2 \cdot 40 \cdot \varnothing = 2 \cdot 1000 + 2 \cdot 40 \cdot 16 = 3300 \text{ mm}$$

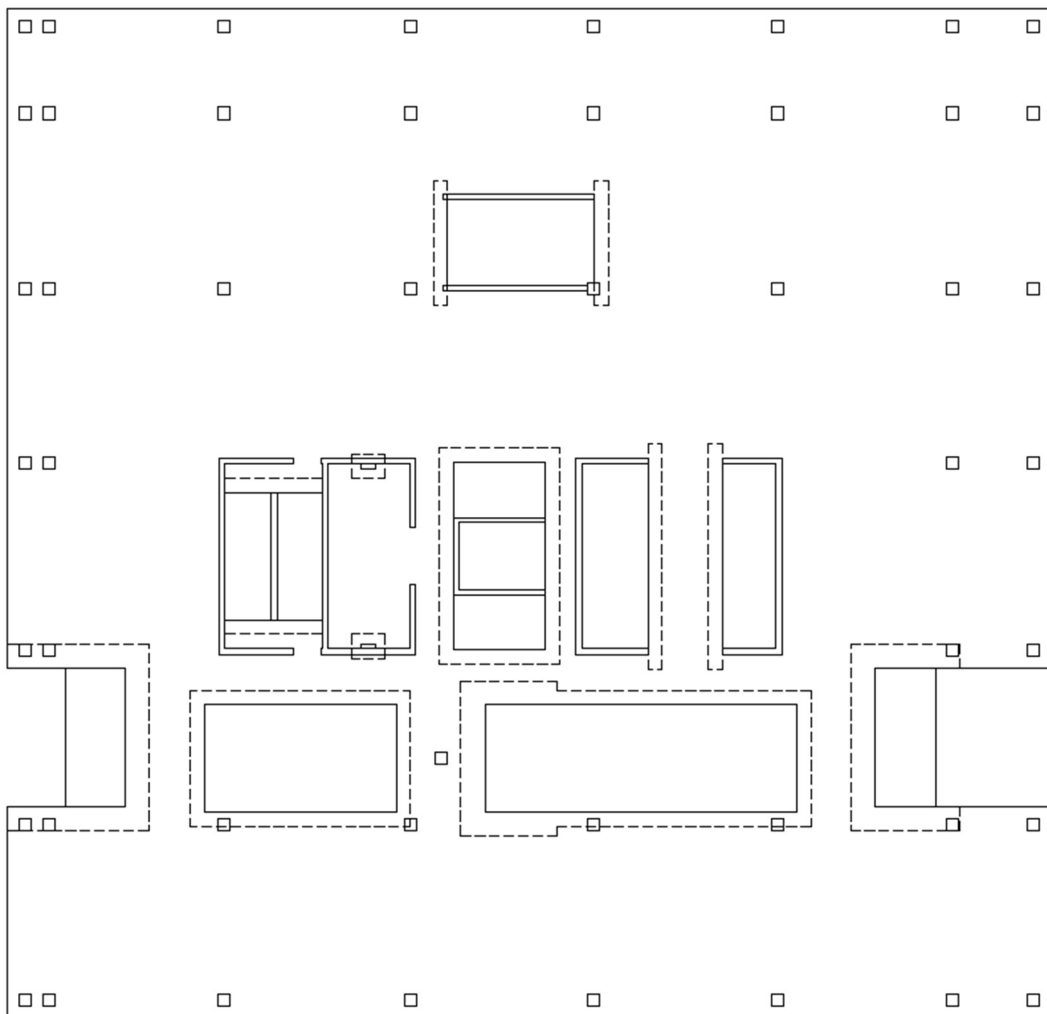


### 8.2.3. VÝPOČET VÝZTUŽE PRO OKRAJE OTVORŮ

Aby byla v dané situaci zohledněna únosnost i základního rastru výztuže, tak od kontrolovaného momentu bude vždy únosnost daného rastru odečtena. Ukázán bude vždy moment se skutečnou velikostí (pouze ve směru, ve kterém je větší) a do výpočtu bude vkládán moment již zmenšený o únosnost rastru. U dolního povrchu se bude od momentového namáhání odečítat únosnost 78 kN.m. Detailní zobrazení momentů bude vyňato z momentů v poli. (obr. 34)

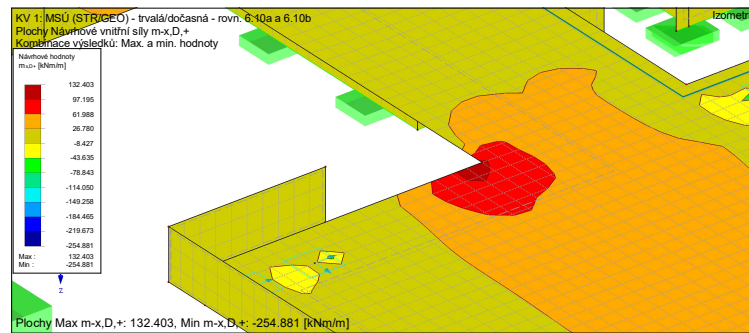
#### SCHÉMA OZNAČENÍ OTVORŮ

V daném schématu bude znázorněno umístění otvorů, na které bude níže počítána výztuž.



Obr. 43 Schéma rozložení výztuží kolem otvorů

## POSOUZENÍ MOMENTŮ U OTVORŮ Č. 1



Obr. 44 Moment v místě otvoru desky č. 1

**Zatížení:**  
 Ohybový moment:  $M_{Ed} = 42 \text{ kNm}$

**Geometrie:**  
 Výška průřezu:  $h = 280 \text{ mm}$     Krytí:  $c = 25 \text{ mm}$     Účinná výška průřezu:  $d = 242 \text{ mm}$   
 Šířka průřezu:  $b = 1000 \text{ mm}$

**Návrh ohybové výztuže:**  
 Profil výztuže:  $\varnothing = 14 \text{ mm}$     počet profilů:  $p = 5 \text{ ks}$     Osová vzdálenost:  $s = 200 \text{ mm}$   
 Plocha výztuže:  $A_s = 770 \text{ mm}^2$     Světlá vzdálenost:  $s = 186 \text{ mm}$   
 Minimální plocha výztuže:  $A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yd}; k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s) =$   
 $A_{s,min} = 376,2616 \text{ mm}^2$   
 Maximální plocha výztuže  $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 11200 \text{ mm}^2$   
 $A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max} \Rightarrow 376 \leq 770 \leq 11200 \text{ [mm]}^2 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $k_1 = 1,5$      $k_2 = 5 \text{ mm}$     Průměr zrna kameniva:  $d_g = 16 \text{ mm}$   
 Minimální vzdálenost:  $s_{min,slabs} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20) = 21 \text{ mm} \leq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 Maximální vzdálenost:  $s_{max,slabs} = \min(2 \cdot h; 250) = 250 \text{ mm} \geq s \Rightarrow \text{Vyhovuje}$

**Posouzení:**  
 $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 25,1 \text{ mm}$      $\xi = \frac{x}{d} = 0,104 \leq \xi_{lim} = 0,45 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$   
 $z = d - \lambda/2 \cdot x = 232,0 \text{ mm}$   
 Moment únosnosti:  
 $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 77,63 \text{ KNm}$      $M_{Ed} \leq M_{Rd}$      $42,00 \text{ kNm} \leq 77,63 \text{ KNm}$

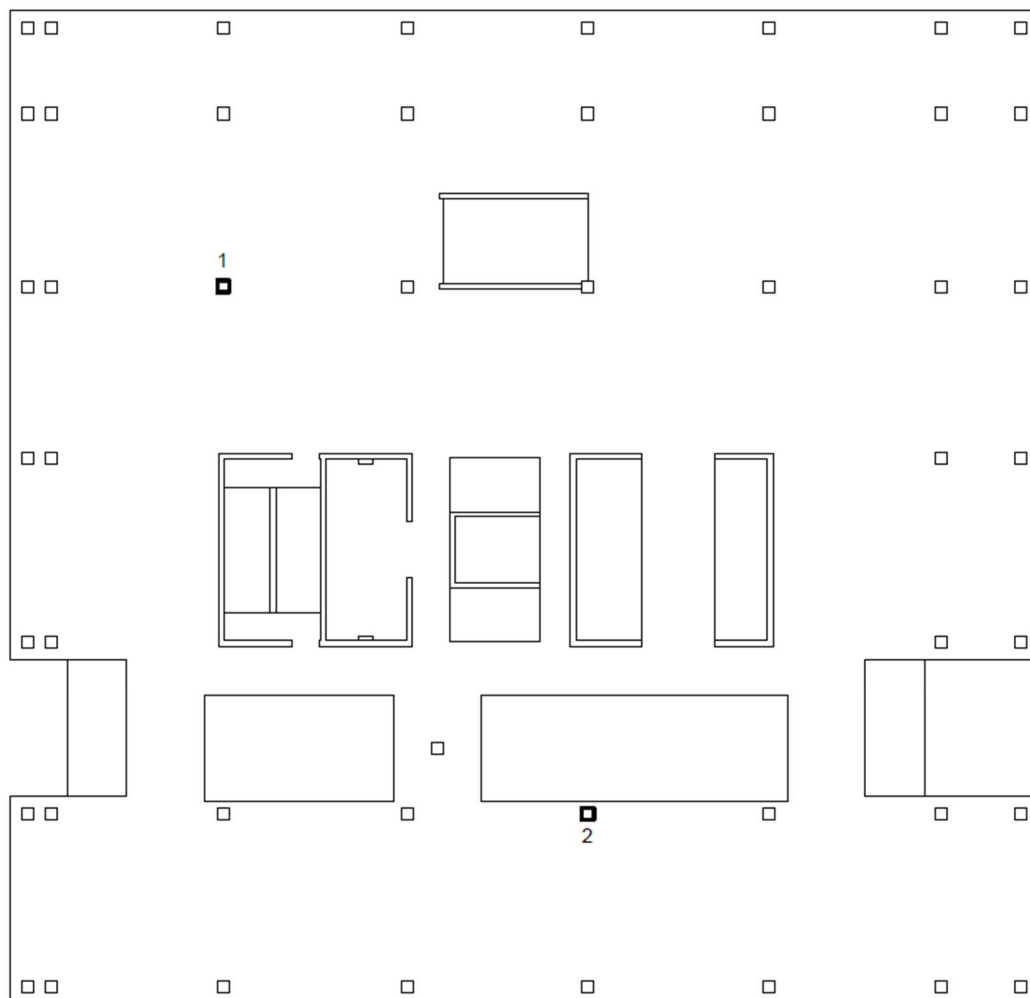
**$\Rightarrow$  Navržený průřez vyhovuje**

Z výpočtu je vidět, že bude stačit pouze přidat do základního rastru prutů 14 mm s roztečí 200 mm další pruty 14 mm s roztečí 200 mm. V místech, kde je znatelně zvýšené momentové namáhání v rozích otvorů (obr. 34), bude umístěno minimálně 5 dalších prutů o průměru 14 mm.

### 8.2.4. VÝPOČET POTŘEBNÉ VÝZTUŽE ZA PROTLAČENÍ

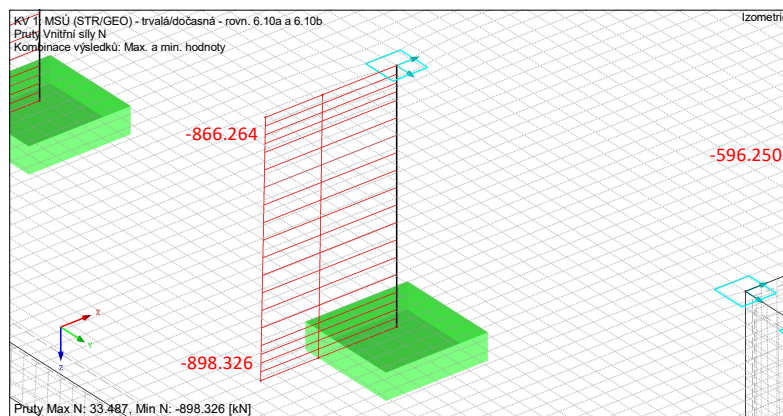
Posuzovat na protlačení se budou pouze 2 lokální podpory. Jedna ve středu desky se zatížením 866 kN a druhá u otvoru se zatížením 485 kN

#### SCHÉMA OZNAČENÍ POSUZOVANÝCH PODPOR



*Obr. 45 Označení posuzovaných podpor*

## POSOUZENÍ LOKÁLNÍ PODPORY Č. 1



Obr. 46 Posuzovaná podpora č. 1

Vstupní údaje:

Beton C30/37:	$f_{ck} =$	30	MPa
	$f_{cm} =$	38	MPa
Ocel B500B:	$f_{yk} =$	500	MPa
Výška desky:	$h_d =$	280	mm
Zatížení:	$F_{ed} =$	866	kN
Krycí vrstva:	$c =$	25	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{1,a} =$	18	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{1,b} =$	12	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{2,a} =$	18	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{2,b} =$	12	mm
Průměr třmínků:	$\varnothing_{tr} =$	12	mm
Účinná výška 1:	$d_1 =$	247	mm
Účinná výška 2:	$d_2 =$	232	mm
Účinná výška:	$d =$	239,5	mm
Počet výztuže 1,a:	$n_{1,a} =$	10	
Počet výztuže 1,b:	$n_{1,b} =$	5	
Počet výztuže 2,a:	$n_{2,a} =$	10	
Počet výztuže 2,b:	$n_{2,b} =$	5	
Plocha výztuže 1:	$A_{s,1} =$	3110	mm <sup>2</sup>
Plocha výztuže 2:	$A_{s,2} =$	3110	mm <sup>2</sup>
Rozměry sloupu:	$a =$	500	mm

Předběžné ověření na protlačení:

a)  $V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_0 * d} \leq 0,4 * v * f_{cd}$$

$$\frac{866 * 1,15}{2 * 0,239} \leq 0,4 * 0,528 * 20\ 000$$

2079	≤	4224	kPa
------	---	------	-----

**VYHOVUJE**

$\beta = 1,15$

$u_0 = 4 * a = 4 * 0,5$   
2 m

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

$v = 0,528$

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

$f_{cd} = 20$  MPa

b)  $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq k_{max} * C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,01 * 0,239} \leq 1,49 * 0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,005 * 30}$$

830	≤	844	kPa
-----	---	-----	-----

**VYHOVUJE**

$\beta = 1,15$

$u_1 = 4 * a + 2 * \pi * 2 * d = 4 * 0,5 + 2 * \pi * 2 * 0,239$   
5,01 m

$k_{max} = 1,49$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{239}}$$

$k = 1,91$

$C_{Rd,c} = 0,12$

$\rho_1 = 0,005$

Únosnost desky bez smykové výztuže:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}})$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,01 * 0,239} \leq \max(0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,013 * 30}; 0,035 * \sqrt{1,91^3 * 30})$$

$$830 \leq 779 ; 508 \text{ kPa}$$

830	≤	779	kPa
-----	---	-----	-----

**NEVYHOVUJE**

Musí se navrhnout smyková výztuž na protlačení

$$\rho_{11} = \frac{A_{s,1}}{1000 * d_1} = \frac{3110}{1000 * 247}$$

$$\rho_{11} = 1,26E-02$$

$$\rho_{12} = \frac{A_{s,2}}{1000 * d_1} = \frac{3110}{1000 * 232}$$

$$\rho_{12} = 1,34E-02$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{11} * \rho_{12}} = \sqrt{0,0126 * 0,0134}$$

$$\rho_1 = 1,30E-02$$

Navržení smykové výztuže

$$u_{out} = \frac{V_{Ed} * \beta}{V_{Rd,c} * d} = \frac{866 * 1,15}{779 * 0,239}$$

$$u_{out} = 5,34 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{2 * \pi} = \frac{5,34}{2 * \pi}$$

$$r_{out} = 0,85 \text{ m}$$

$$n \geq \max\left(\frac{2 * \pi * (r_{out} - 1,5 * d)}{2 * d}; \frac{u_1}{1,5 * d}\right) = \max\left(\frac{2 * \pi * (0,85 - 1,5 * 0,239)}{2 * 0,239}; \frac{5,01}{1,5 * 0,239}\right)$$

$$n \geq 6,44 ; 13,94$$

n =	14
-----	----

## Posouzení

### a) Kontrolovaný obvod $u_1$

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq 0,75 * V_{Rd,c} + \frac{1,5 * d}{S_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin\alpha$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,01 * 0,239} \leq 0,75 * 779 + \frac{1,5 * 0,239}{0,15} * 0,001583 * 309\,875 * \frac{1}{5,01 * 0,239} * \sin 90$$

830	≤	1563	kPa
-----	---	------	-----

VYHOVUJE

$$S_r \leq 0,75 * d = 0,75 * 0,239$$
$$0,179625 \text{ m}$$

$$S_r = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{sw} = \pi * (\varnothing/2)^2 * n = \pi * (12/2)^2 * 14$$
$$1583 \text{ mm}^2$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d = 250 + 0,25 * 239$$
$$309,875 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa}$$

### b) Kontrolovaný obvod $u_{out}$

$$V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_{out} * d} \leq \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}})$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,34 * 0,239} \leq \max(0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,013 * 30}; 0,035 * \sqrt{1,91^3 * 30})$$

$$576 \leq 779 ; 508 \text{ kPa}$$

576	≤	779	kPa
-----	---	-----	-----

VYHOVUJE

$$u_{out,2} : \quad r_{out} - 1,5*d = 0,85 - 1,5*0,239$$

$$0,49 \text{ m}$$

$$0,49 - 0,5*d - 0,5*a = 0,49 - 0,5*0,239 - 0,5*0,5$$

$$0,12 \text{ m}$$

$$0,12/Sr = 0,12/0,15$$

$$0,81 \quad \underline{2 \text{ smykové výztuže v jedné liště}}$$

$$r_{out,2} = \quad 0,5*a + 0,5*d + 2*Sr + 2*d = 0,5*0,5 + 0,5*0,239 + 4*0,15 + 2*0,239$$

$$1,15 \text{ m}$$

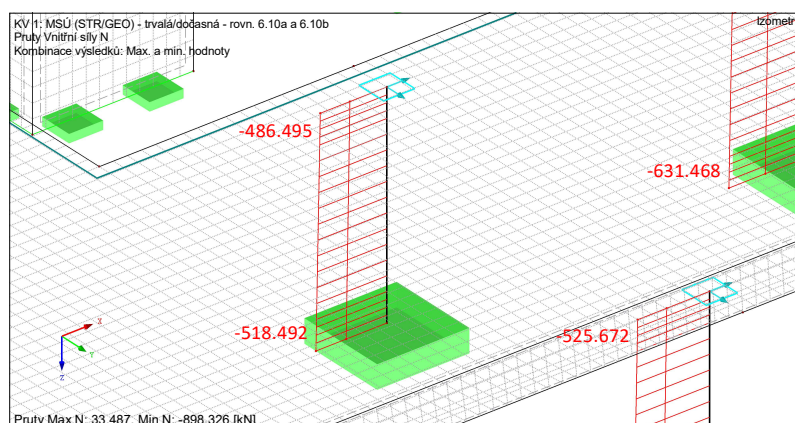
$$u_{out,2} = \quad 2*\pi*r_{out,2} = 2*\pi*1,46$$

$$7,22 \text{ m}$$

**Bude navrženo 14 smykových lišt. Každá bude mít 3 smykové výztuže.**



## POSOUZENÍ LOKÁLNÍ PODPORY Č. 2



Obr. 47 Posuzovaná podpora č. 2

Vstupní údaje:

Beton C30/37:	$f_{ck} =$	30	MPa
	$f_{cm} =$	38	MPa
Ocel B500B:	$f_{yk} =$	500	MPa
Výška desky:	$h_d =$	280	mm
Zatížení:	$F_{ed} =$	485	kN
Krycí vrstva:	$c =$	25	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{1,a} =$	20	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{1,b} =$	12	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{2,a} =$	20	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_{2,b} =$	12	mm
Průměr třmínků:	$\varnothing_{tr} =$	12	mm
Účinná výška 1:	$d_1 =$	246	mm
Účinná výška 2:	$d_2 =$	230	mm
Účinná výška:	$d =$	238	mm
Počet výztuže 1,a:	$n_{1,a} =$	10	
Počet výztuže 1,b:	$n_{1,b} =$	5	
Počet výztuže 2,a:	$n_{2,a} =$	10	
Počet výztuže 2,b:	$n_{2,b} =$	5	
Plocha výztuže 1:	$A_{s,1} =$	3707	mm <sup>2</sup>
Plocha výztuže 2:	$A_{s,2} =$	3707	mm <sup>2</sup>
Rozměry sloupu:	$a =$	500	mm

Předběžné ověření na protlačení:

a)  $V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_0 * d} \leq 0,4 * v * f_{cd}$$

$$\frac{485 * 1,4}{2 * 0,238} \leq 0,4 * 0,528 * 20\ 000$$

1424	≤	4224	kPa
------	---	------	-----

VYHOVUJE

β = 1,4  
 u<sub>0</sub> = 4\*a = 4\*0,5  
           2 m

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

v = 0,528

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

f<sub>cd</sub> = 20 MPa

b)  $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$

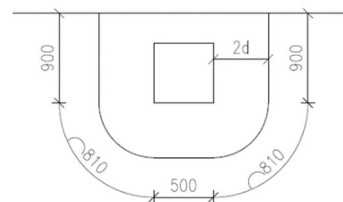
$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq k_{max} * C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}$$

$$\frac{485 * 1,4}{3,92 * 0,238} \leq 1,49 * 0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,005 * 30}$$

727	≤	845	kPa
-----	---	-----	-----

VYHOVUJE

β = 1,4  
 u<sub>1</sub> = 3,92 m  
 k<sub>max</sub> = 1,49  
 $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{239}}$   
 k = 1,92  
 C<sub>Rd,c</sub> = 0,12  
 ρ<sub>1</sub> = 0,005



### Únosnost desky bez smykové výztuže:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}})$$

$$\frac{485 * 1,4}{3,92 * 0,238} \leq \max(0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,0156 * 30}; 0,035 * \sqrt{1,91^3 * 30})$$

$$727 \leq 828 ; 508 \text{ kPa}$$

727	≤	828	kPa
-----	---	-----	-----

VYHOVUJE
----------

$$\rho_{11} = \frac{A_{s,1}}{1000 * d_1} = \frac{3707}{1000 * 246}$$

$$\rho_{11} = 1,50E-02$$

$$\rho_{12} = \frac{A_{s,2}}{1000 * d_1} = \frac{3707}{1000 * 230}$$

$$\rho_{12} = 1,61E-02$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{11} * \rho_{12}} = \sqrt{0,015 * 0,161}$$

$$\rho_1 = 1,56E-02$$

**Tato lokální podpora i všechny ostatní nebudou muset být opatřeny smykovou výztuží na protlačení**

### **8.3. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA**

V rámci této citlivostní analýzy bude proveden jeden základní deterministický výpočet, na kterém bude vidět postup výpočtu a následně při změně vstupních parametrů už budou představeny pouze výsledky. V průběhu výpočtu výztuže do desky se ukázalo, že je vyžadováno veliké množství ohybové výztuže a u dvou jediných lokálních podpor, kde výztuž na protlačení byla potřeba, stačilo dát jen minimální množství. Navíc se v obou směrech vyskytují různé druhy průměrů výztuží. Z tohoto důvodu bude provedena citlivostní analýza na lokální podporu č. 1 (obr. 42) a ohybová výztuž bude uvažována jako  $\varnothing 12/100$  mm.

Dle výpočtového modelu působí na sloup o rozměrech 500 x 500 mm zatížení o velikosti 866 kN. Cílem tohoto výpočtu je provést citlivostní analýzu smykové únosnosti v protlačení desky v místě lokální podpory.

#### A. ZÁKLADNÍ DETERMINISTICKÝ VÝPOČET

Vstupní údaje:

Beton C30/37:	$f_{ck} =$	30	MPa
	$f_{cm} =$	38	MPa
Ocel B500B:	$f_{yk} =$	500	MPa
Výška desky:	$h_d =$	280	mm
Zatížení:	$F_{ed} =$	866	kN
Krycí vrstva:	$c =$	25	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_1 =$	12	mm
Průměr výztuže:	$\varnothing_2 =$	12	mm
Průměr smyk. výztuže:	$\varnothing_{tr} =$	12	mm
Účinná výška 1:	$d_1 =$	249	mm
Účinná výška 2:	$d_2 =$	237	mm
Účinná výška:	$d =$	243	mm
Počet výztuže 1:	$n_1 =$	10	
Počet výztuže 2:	$n_2 =$	10	
Plocha výztuže 1:	$A_{s,1} =$	1131	mm <sup>2</sup>
Plocha výztuže 2:	$A_{s,2} =$	1131	mm <sup>2</sup>
Rozměry sloupu:	$a =$	510	mm

Předběžné ověření na protlačení:

$$a) \quad V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_0 * d} \leq 0,4 * v * f_{cd}$$

$$\frac{866 * 1,15}{2 * 0,243} \leq 0,4 * 0,528 * 20\ 000$$

2009	≤	4224	kPa
------	---	------	-----

VYHOVUJE
----------

$$\beta = 1,15$$

$$u_0 = 4 * a = 4 * 0,5 \\ 2,04 \text{ m}$$

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

$$v = 0,528$$

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

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

b)  $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq k_{max} * C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,05 * 0,243} \leq 1,49 * 0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,005 * 30}$$

805	≤	841	kPa
-----	---	-----	-----

VYHOVUJE

$$\beta = 1,15$$

$$u_1 = 4 * a + 2 * \pi * 2 * d = 4 * 0,5 + 2 * \pi * 2 * 0,243$$

$$5,09 \text{ m}$$

$$k_{max} = 1,49$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{243}}$$

$$k = 1,91$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$\rho_1 = 0,005$$

Únosnost desky bez smykové výztuže:

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}})$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,05 * 0,243} \leq \max(0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,00466 * 30}; 0,035 * \sqrt{1,91^3 * 30})$$

805	≤	551	;	505	kPa
-----	---	-----	---	-----	-----

805	≤	551	kPa
-----	---	-----	-----

NEVYHOVUJE

Musí se navrhnout smyková výztuž na protlačení

$$\rho_{11} = \frac{A_{s,1}}{1000 * d_1} = \frac{1131}{1000 * 249}$$

$$\rho_{11} = 4,54E-03$$

$$\rho_{12} = \frac{A_{s,2}}{1000 * d_1} = \frac{1131}{1000 * 237}$$

$$\rho_{12} = 4,77E-03$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{11} * \rho_{12}} = \sqrt{0,00454 * 0,00477}$$

$$\rho_1 = 4,66E-03$$

### Navržení smykové výztuže

$$u_{out} = \frac{V_{Ed} * \beta}{V_{Rd,c} * d} = \frac{866 * 1,15}{551 * 0,243}$$

$$u_{out} = 7,44 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{2 * \pi} = \frac{7,44}{2 * \pi}$$

$$r_{out} = 1,18 \text{ m}$$

$$n \geq \max\left(\frac{2 * \pi * (r_{out} - 1,5 * d)}{2 * d}; \frac{u_1}{1,5 * d}\right) = \max\left(\frac{2 * \pi * (1,18 - 1,5 * 0,243)}{2 * 0,243}; \frac{5,05}{1,5 * 0,243}\right)$$

$$n \geq 10,59 \quad ; \quad 13,97$$

$$\boxed{n = 14}$$

### Posouzení

#### a) Kontrolovaný obvod $u_1$

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c,s}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_1 * d} \leq 0,75 * V_{Rd,c} + \frac{1,5 * d}{S_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin\alpha$$

$$\frac{866 * 1,15}{5,05 * 0,243} \leq 0,75 * 551 + \frac{1,5 * 0,243}{0,15} * 0,001583 * 310 750 * \frac{1}{5,05 * 0,243} * \sin 90$$

$$\boxed{805 \leq 1379 \text{ kPa}}$$

**VYHOVUJE**

$$S_r \leq 0,75 * d = 0,75 * 0,243$$

$$0,18225 \text{ m}$$

$$S_r = 0,15 \text{ m}$$

$$A_{sw} = \pi * (\varnothing/2)^2 * n = \pi * (12/2)^2 * 14$$

$$1583 \text{ mm}^2$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d = 250 + 0,25 * 243$$

$$310,75 \text{ MPa} \leq 435 \text{ MPa}$$

### b) Kontrolovaný obvod $u_{out}$

$$V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$$

$$\frac{V_{Ed} * \beta}{u_{out,2} * d} \leq \max(C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_1 * f_{ck}}; 0,035 * \sqrt{k^3 * f_{ck}})$$

$$\frac{866 * 1,15}{9,16 * 0,243} \leq \max(0,12 * 1,91 * \sqrt[3]{100 * 0,00466 * 30}; 0,035 * \sqrt{1,91^3 * 30})$$

$$446 \leq 551 ; 505 \text{ kPa}$$

446	≤	551	kPa
-----	---	-----	-----

VYHOVUJE

$$u_{out,2} : r_{out} - 1,5 * d = 1,18 - 1,5 * 0,243$$

$$0,82 \text{ m}$$

$$0,82 - 0,5 * d - 0,5 * a = 0,82 - 0,5 * 0,243 - 0,5 * 0,5$$

$$0,44 \text{ m}$$

$$0,45 / s_r = 0,45 / 0,15$$

$$2,95 \gg 4$$

$$r_{out,2} = 0,5 * a + 0,5 * d + 4 * s_r + 2 * d = 0,5 * 0,5 + 0,5 * 0,243 + 4 * 0,15 + 2 * 0,243$$

$$1,46 \text{ m}$$

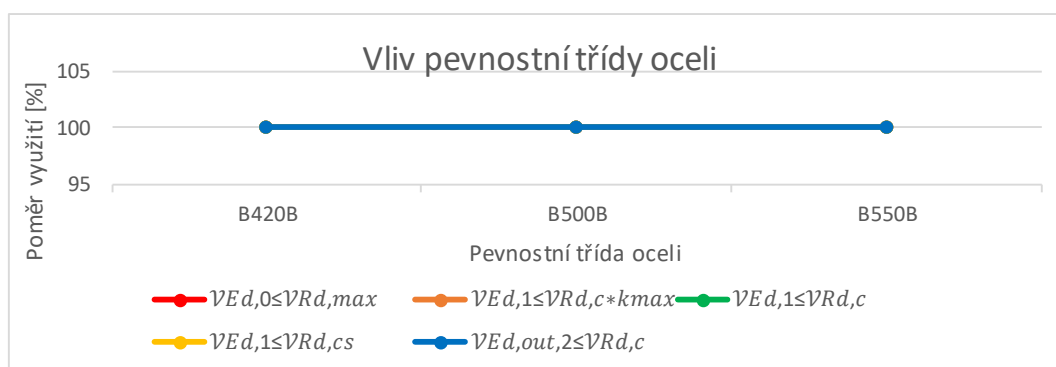
$$u_{out,2} = 2 * \pi * r_{out,2} = 2 * \pi * 1,46$$

$$9,19 \text{ m}$$

## B) DETERMINISTICKÁ CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Cílem tohoto výpočtu je vyzorovat, jak velký mají vliv určité vstupní parametry na celkovou únosnost stropní konstrukce v protlačení. Mezi vstupní parametry bude patřit třída betonu, třída oceli, krycí vrstva, průměr ohybové výztuže v desce, průměr třmínků, počet ohybové výztuže, počet lišt s třmínky a rozměr sloupu.

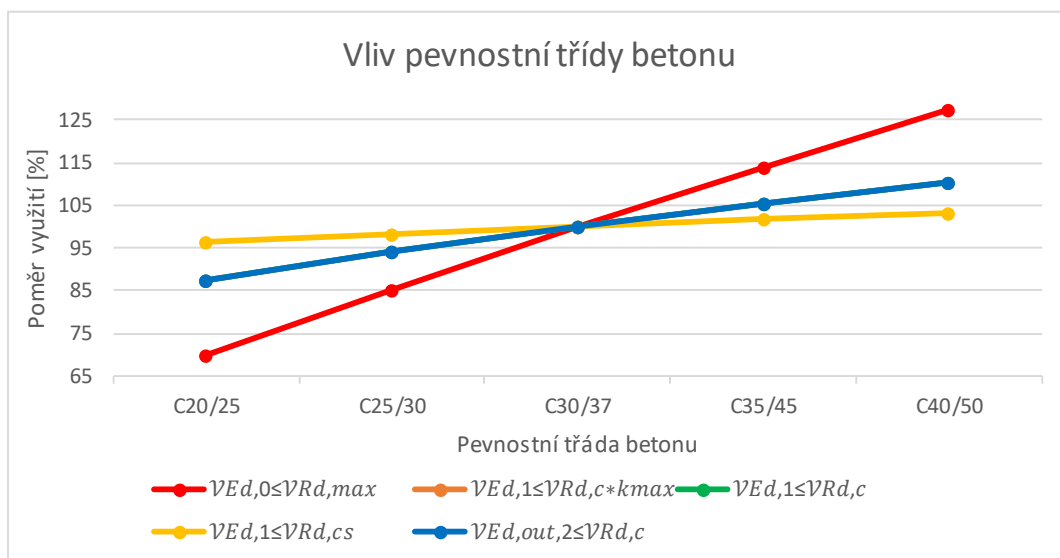
Pevnostní třída oceli			B420B	B500B	B550B	
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]		2049	2049	2049	
	[kPa]		4224	4224	4224	
	[%]		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]		811	811	811	
	[kPa]		841	841	841	
	[%]		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]		811	811	811	
	[kPa]		551	551	551	
	[%]		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]		811	811	811	
	[kPa]		1387	1387	1387	
	[%]		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]		448	448	448	
	[kPa]		551	551	551	
	[%]		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	



Z grafu pro jednotlivé poměry využití je patrné, že pevnostní třída oceli nemá na návrh žádný vliv. A to z důvodu, že u ohybové výztuže se vyskytuje pouze plocha výztuže a u smykové se návrhová únosnost počítá pomocí vzorce " $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 * d \leq f_{yd}$ ". Pokud se dosadí za  $f_{ywd,ef}$  hodnotu 365 MPa (hodnota  $f_{yd}$  pro ocel B420B) a hledá se hodnota "d", zjistí se, že pevnostní třída oceli se na návrhu projeví, pokud bude  $d \geq 460$  mm.

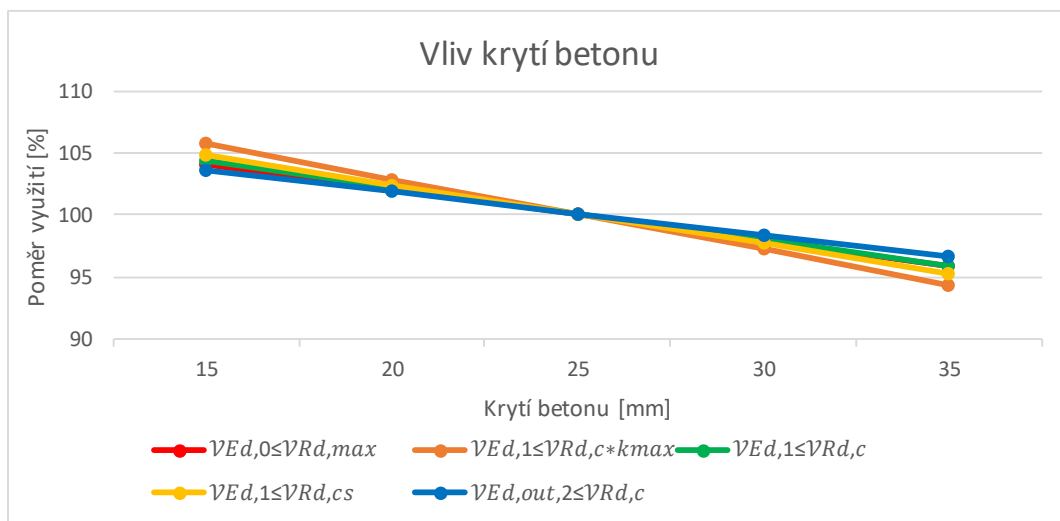


Pevnostní třída betonu		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$	[kPa]	2049	2049	2049	2049	2049
	[kPa]	2944	3600	4224	4816	5376
	[%]	<b>70</b>	<b>85</b>	<b>100</b>	<b>114</b>	<b>127</b>
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	735	791	841	885	926
	[%]	<b>87</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	481	519	551	580	607
	[%]	<b>87</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cs}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	1335	1363	1387	1409	1429
	[%]	<b>96</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>102</b>	<b>103</b>
Obvod $u_{out,2}$ $V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	448	448	448	448	448
	[kPa]	481	519	551	580	607
	[%]	<b>87</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>



Pevnostní třída betonu má největší vliv při předběžném posouzení na protlačení v kontrolovaném obvodu  $u_0$ . A to z důvodu, že pevnost betonu v tlaku  $f_{cd}$  se tam vyskytuje v plné hodnotě. Naopak nejmenší vliv má při posouzení již s výztuží na protlačení v kontrolovaném obvodu  $u_1$ . V tomto případě se totiž hodnota pevnosti betonu v tlaku  $f_{ck}$  vyskytuje pouze v  $V_{Rd,c}$ , kde je pod třetí odmocninou a hodnota  $V_{Rd,c}$  je ještě přenásobena konstantou 0,75.

Krytí betonu "c" [mm]		15	20	25	30	35
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	1968	2008	2049	2092	2137
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>104</b>	<b>102</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>96</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	760	785	811	838	867
	[kPa]	833	837	841	845	849
	[%]	<b>106</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>94</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	760	785	811	838	867
	[kPa]	539	545	551	558	565
	[%]	<b>104</b>	<b>102</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>96</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	760	785	811	838	867
	[kPa]	1362	1374	1387	1400	1414
	[%]	<b>105</b>	<b>102</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>95</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	423	435	448	461	475
	[kPa]	539	545	551	558	565
	[%]	<b>104</b>	<b>102</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>97</b>



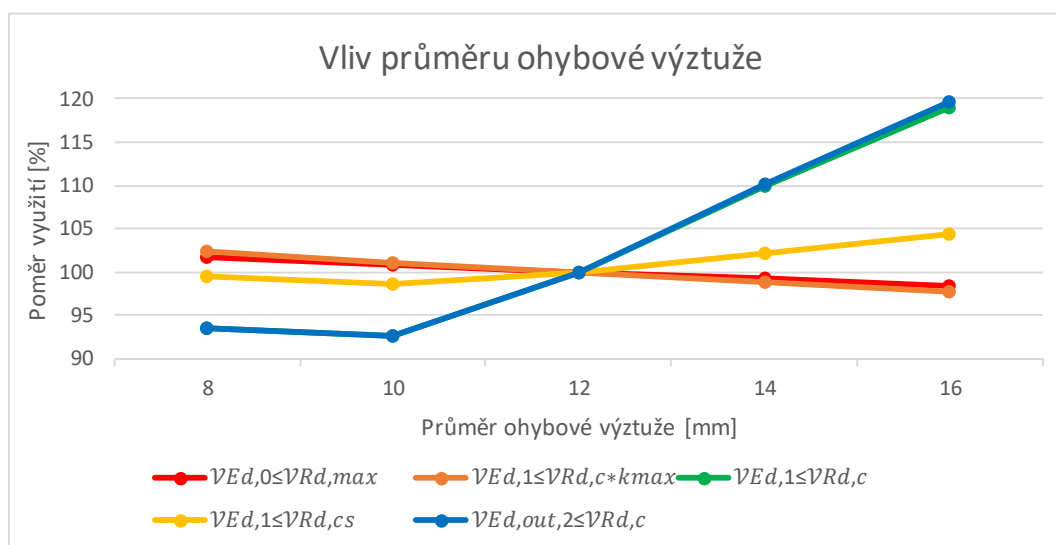
U krytí betonu je patrné, že má na návrh jen nepatrný vliv. Je ovšem zajímavé, že v problematice protlačení se se snížením krytí betonu, sníží i výsledná pevnost v protlačení. Ale téměř ve stejném poměru se snižuje i napětí, které na konstrukci působí. A při vytvoření poměru využití je potom vidět, že snížení krytí betonu únosnosti pomáhá.

#### Vysvětlení výpočtu poměru využití:

Jedná se o poměr využití konstrukce se základním parametrem ( v tomto případě pro  $c = 25$  mm) a využití konstrukce se změněným parametrem (například pro  $c = 15$  mm)

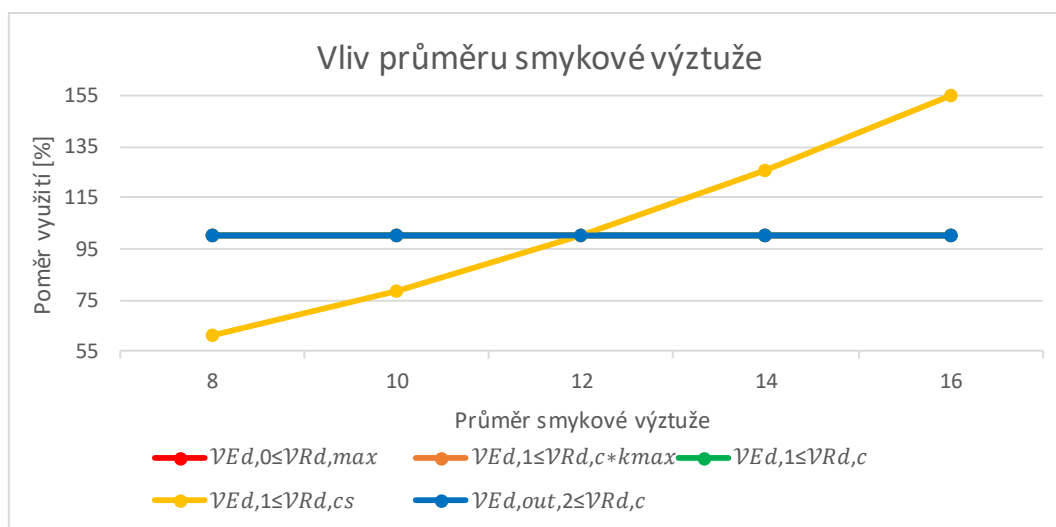
$$\text{Poměr využití} = \frac{2049/4224}{1968/4224} * 100 = 104 \%$$

Průměr ohybové výztuže [mm]		8	10	12	14	16
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	2016	2032	2049	2066	2083
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>102</b>	<b>101</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>98</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	790	800	811	822	833
	[kPa]	838	839	841	843	844
	[%]	<b>102</b>	<b>101</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>98</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	790	800	811	822	833
	[kPa]	502	503	551	614	674
	[%]	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>119</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	790	800	811	822	833
	[kPa]	1344	1348	1387	1437	1486
	[%]	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>102</b>	<b>104</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	437	442	448	453	458
	[kPa]	502	503	551	614	674
	[%]	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>



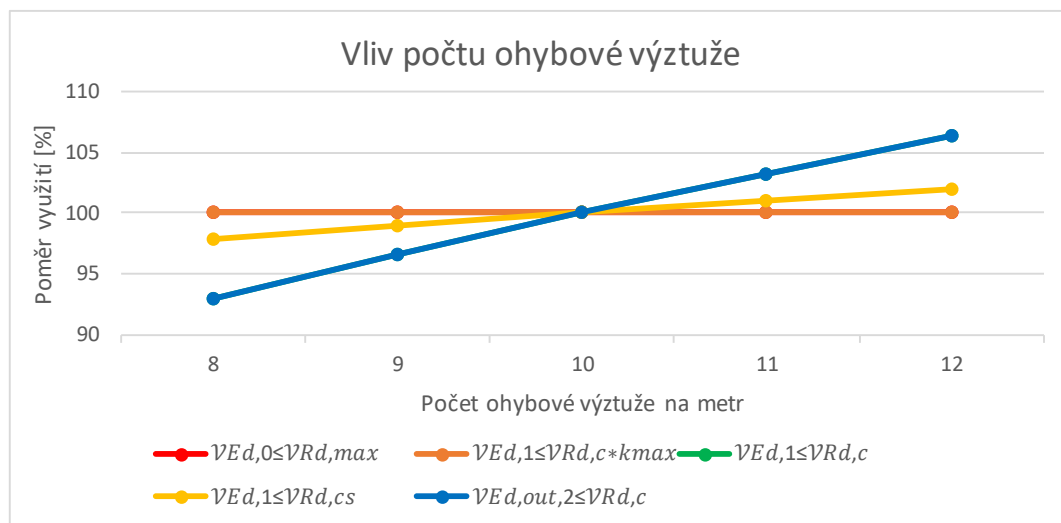
Při změně parametru průměru výztuže se poprvé stalo, že při větším průměru (teoreticky příznivější podmínka pro konstrukci) došlo ke snížení poměru využití. Došlo k tomu ovšem pouze u předběžného posouzení na protlačení. V tomto posouzení totiž nehraje plocha výztuže roli, ale počítá se zde s účinnou výškou, která při větším průměru výztuže klesá a klesá tedy i výsledná únosnost. Naopak při posouzení únosnosti desky v obvodě  $u_1$  bez smykové výztuže a v obvodě  $u_{out,2}$ , hraje poměrně zásadní roli a poměr využití se tu pohybuje po jakési kombinaci kvadratické a lineární funkce. A to kvůli tomu, že díky většímu průměru stoupá plocha výztuže (kvadratická funkce), ale klesá účinná výška průřezu (lineární funkce). Kvůli tomuto se stalo, že u průměru 8 mm je poměr využití větší než u průměru 10 mm.

Průměr smykové výztuže [mm]		8	10	12	14	16
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	2049	2049	2049	2049	2049
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	841	841	841	841	841
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	846	1089	1387	1739	2144
	[%]	<b>61</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>155</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	448	448	448	448	448
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



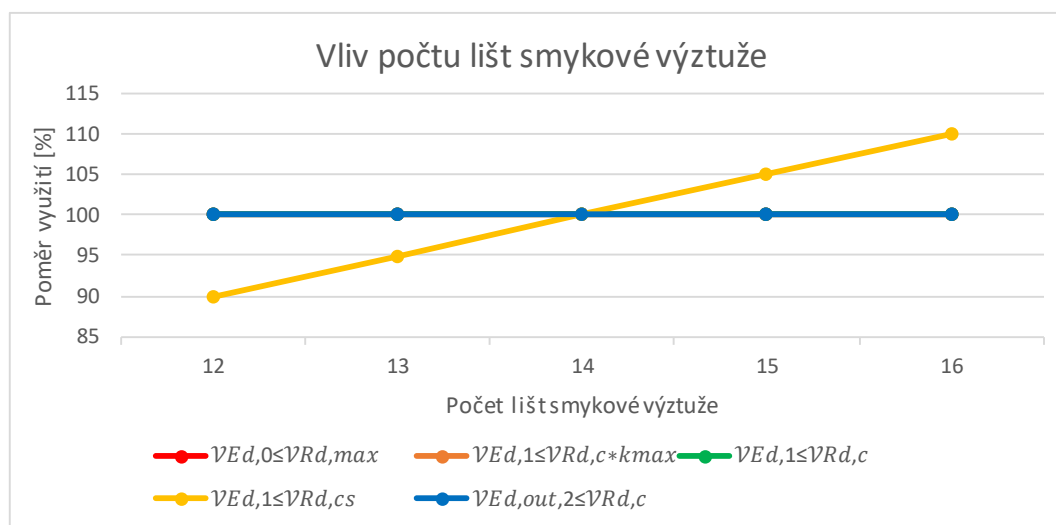
Vliv smykové výztuže se projevuje pouze při posouzení únosnosti desky se smykovou výztuží u kontrovaného obvodu  $u_1$  a hraje tu naprosto zásadní roli. Z grafu je vidět, že poměr využití stoupá velice rychle a pokud bude tedy potřeba zlepšit únosnost v protlačení v tomto obvodu  $u_1$ , měl by se měnit právě tento parametr.

Počet ohybové výztuže na metr		8	9	10	11	12
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	2049	2049	2049	2049	2049
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	841	841	841	841	841
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	512	532	551	569	586
	[%]	<b>93</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>103</b>	<b>106</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	1357	1373	1387	1400	1413
	[%]	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	448	448	448	448	448
	[kPa]	512	532	551	569	586
	[%]	<b>93</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>103</b>	<b>106</b>



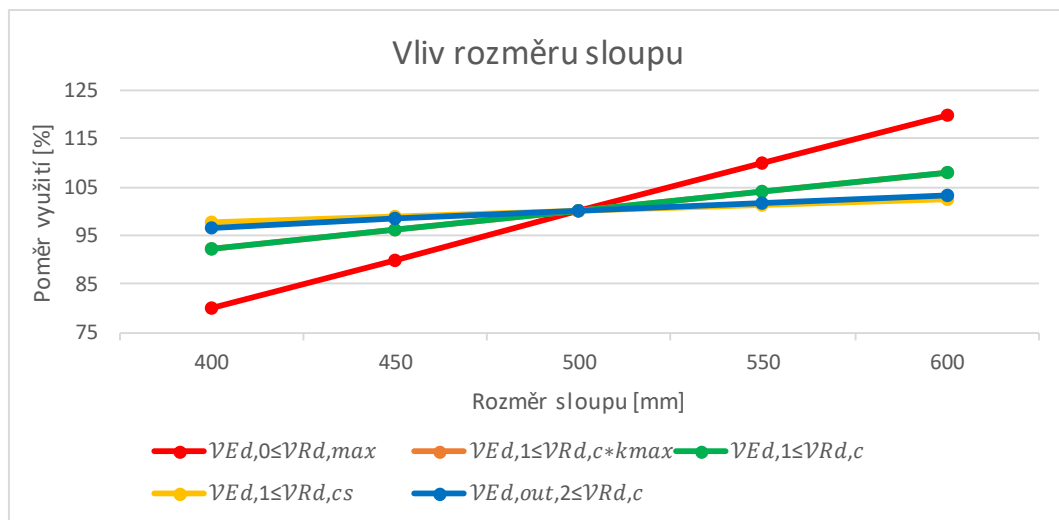
Tento parametr opět nemá nijak zásadní vliv na návrh. Největší vliv má při posouzení desky v obvodě  $u_1$  bez smykové výztuže a v obvodě  $u_{out,2}$ . V těchto posouzeních se totiž nevyskytuje parametr smykové výztuže na protlačení. O něco menší vliv má při posouzení v obvodě  $u_1$  s již započítanou výztuží na protlačení. A v předběžném posouzení má pak naprosto nulový vliv na únosnost.

Počet lišt smykové výztuže		12	13	14	15	16
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	2049	2049	2049	2049	2049
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	841	841	841	841	841
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	1248	1317	1387	1457	1526
	[%]	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	448	448	448	448	448
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



Vliv tohoto parametru se projevuje stejně jako změna průměru smykové výztuže. Opět je změna únosnosti vidět pouze při posuzování v obvodě  $u_1$  se smykovou výztuží a to s docela výrazným stoupáním. Pokud je tedy potřeba zlepšit únosnost v tomto obvodě, počet lišt smykové výztuže patří mezi parametry, na které by se mělo zaměřit.

Rozměr sloupu [mm]		400	450	500	550	600
Předběžné ověření na protlačení						
$\mathcal{V}_{Ed,0} \leq \mathcal{V}_{Rd,max}$	[kPa]	2561	2277	2049	1863	1708
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	881	844	811	780	751
	[kPa]	841	841	841	841	841
	[%]	<b>92</b>	<b>96</b>	<b>100</b>	<b>104</b>	<b>108</b>
Únosnost desky bez smykové výztuže						
$\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	881	844	811	780	751
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>92</b>	<b>96</b>	<b>100</b>	<b>104</b>	<b>108</b>
Únosnost desky se smykovou výztuží						
Obvod $u_1$ $\mathcal{V}_{Ed,1} \leq \mathcal{V}_{Rd,cs}$	[kPa]	881	844	811	780	751
	[kPa]	1471	1427	1387	1350	1316
	[%]	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>
Obvod $u_{out,2}$ $\mathcal{V}_{Ed,out,2} \leq \mathcal{V}_{Rd,c}$	[kPa]	463	455	448	440	433
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>102</b>	<b>103</b>



Na parametr rozměru sloupu bychom se podle grafu měli zaměřit pouze při předběžném posouzení na protlačení v obvodě  $u_0$ , kde hraje poměrně zásadní roli. Únosnost sice nezvýší, ale díky většímu obvodu se zmenší působící napětí. U dalších posouzeních již nemá tak velký vliv. Je ovšem opět docela zajímavé, že při zvětšení rozměru sloupu, se snižuje i únosnost desky se smykovou výztuží v obvodě  $u_1$ . A to protože v tomto posouzení se nachází parametr  $u_1$  ve jmenovateli a se zvyšováním tedy zmenšuje únosnost. Ale stejně jako u krytí betonu se i tady zmenšuje i působící napětí a výsledný poměr využití se tedy zvětšuje.

### C) STOCHASTICKÁ CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Cílem této analýzy bude zkoumání proměnlivosti jednotlivých vstupních parametrů. Na rozdíl od deterministické analýzy se tu budou ověřovat pouze ty parametry, u kterých se předpokládá určité rozmezí vstupních hodnot. Z přechozích parametrů to bude tedy pouze třída betonu, krytí betonu a rozměr sloupu.

#### Třída betonu

U betonu je v ČSN EN 1992-1-1 známá střední a charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku. Spolu s hodnoty součinitele pro různé kvantily, je možné stanovit variační koeficient. Díky tomuto koeficientu je pak možné stanovit pevnost betonu pro různé kvantily.

Součinitel  $k_n$ :

1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	99%
-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	0	0,84	1,28	1,65	2,33

$$V_x = \frac{m_x - f_{ck}}{m_x * k_n} = \frac{38 - 30}{38 * (-1,65)}$$

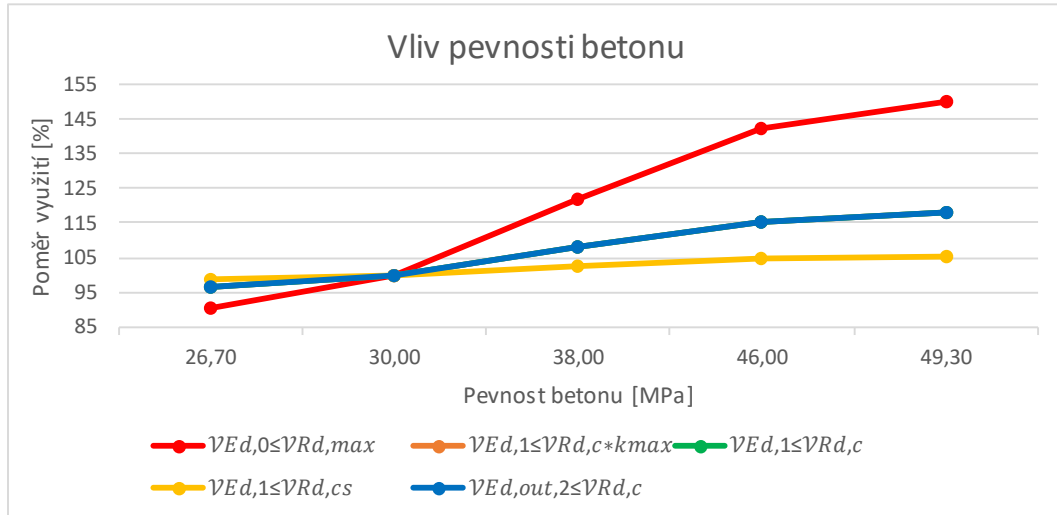
$$V_x = -0,128$$

$$f_{c,0,01} = m_x * (1 - k_n * V_x) = 38 * (1 - (-2,33) * (-0,128))$$

$$f_{c,0,01} = 26,70 \text{ MPa}$$

Pevnost betonu C30/37 [MPa]		$f_{c,0,01}$	$f_{c,0,05}$	$f_{c,0,50}$	$f_{c,0,95}$	$f_{c,0,99}$
			26,70	30	38	46
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$	[kPa]	2049	2049	2049	2049	2049
	[kPa]	3816	4224	5156	6006	6332
	[%]	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>122</b>	<b>142</b>	<b>150</b>
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	809	841	910	970	992
	[%]	<b>96</b>	<b>100</b>	<b>108</b>	<b>115</b>	<b>118</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	530	551	596	636	650
	[%]	<b>96</b>	<b>100</b>	<b>108</b>	<b>115</b>	<b>118</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cs}$	[kPa]	811	811	811	811	811
	[kPa]	1371	1387	1421	1450	1461
	[%]	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>102</b>	<b>105</b>	<b>105</b>
Obvod $u_{out,2}$ $V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	448	448	448	448	448
	[kPa]	530	551	596	636	650
	[%]	<b>96</b>	<b>100</b>	<b>108</b>	<b>115</b>	<b>118</b>





Stejně jako u deterministické analýzy, zde hraje kvalita betonu zásadní roli u předběžného posouzení na protlačení u obvodu  $u_0$ . Zde se totiž při uvážování s 99% kvantilem zvedla únosnost konstrukce až o 50%. Naopak u 1% kvantilu klesla únosnost jen o 10%. Pokud tedy předběžné ověření vychází s rezervou větší jak 10%, Není třeba kvalitě betonu věnovat velkou pozornost.

### Krytí betonu

U krytí betonu je povolen rozptyl  $\pm 15$  mm. Krytí betonu se tedy bude pohybovat v rozmezí 10 - 40 mm a bude to zároveň odpovídat krajním kvantilům.

Součinitel  $k_n$ :

1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	99%
-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	0	0,84	1,28	1,65	2,33

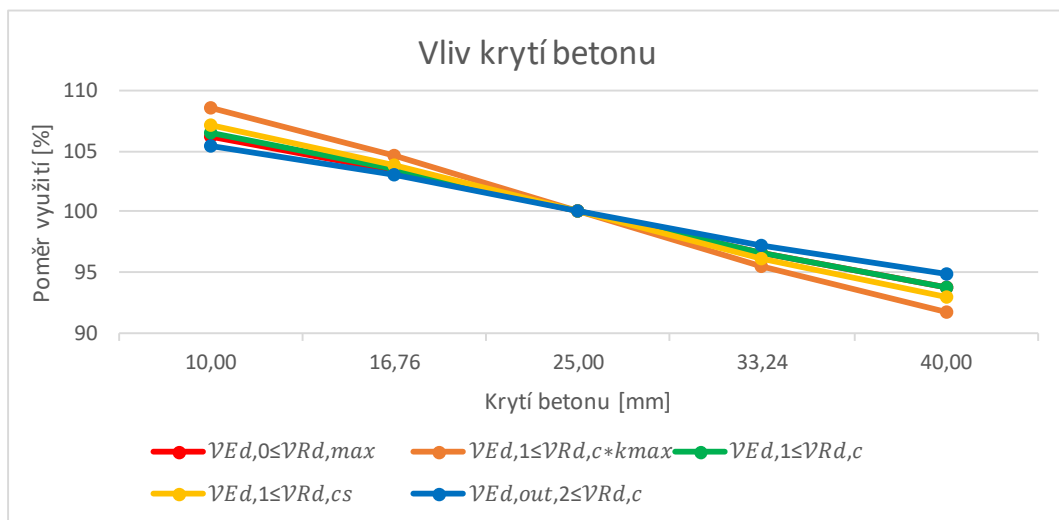
$$V_x = \frac{m_x - f_{ck}}{m_x * k_n} = \frac{25 - 10}{25 * (-2,33)}$$

$$V_x = -0,258$$

$$c_{0,10} = m_x * (1 - k_n * V_x) = 25 * (1 - (-1,28) * (-0,258))$$

$$c_{0,10} = 16,76 \text{ mm}$$

krytí betonu [mm]	$C_{0,01}$	$C_{0,10}$	$C_{0,50}$	$C_{0,90}$	$C_{0,99}$	
		10,00	16,76	25,00	33,24	40,00
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$	[kPa]	1930	1982	2049	2121	2184
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>106</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>94</b>
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	736	769	811	857	898
	[kPa]	829	834	841	848	854
	[%]	<b>109</b>	<b>105</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>92</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	736	769	811	857	898
	[kPa]	533	541	551	562	572
	[%]	<b>107</b>	<b>104</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>94</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cs}$	[kPa]	736	769	811	857	898
	[kPa]	1349	1366	1387	1409	1428
	[%]	<b>107</b>	<b>104</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>93</b>
Obvod $u_{out,2}$ $V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	411	427	448	470	490
	[kPa]	533	541	551	562	572
	[%]	<b>105</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>95</b>



Krytí betonu má ve všech posouzeních poměrně malý vliv a i při nejzašším kvantilu (1% a 99%) se poměr využití neměnil o více jak 10%. Ovšem na rozdíl od vlivu kvality betonu, se zde u nejdůležitějšího posouzení na protlačení (se započítanou výztuží na protlačení u obvodu  $u_1$ ) zhoršila únosnost o 7% (u betonu jen o 1%). Pokud je tedy konstrukce navržena s malou rezervou, bylo by dobré na tento paramter dohlédnout.

## Rozměr sloupu

U rozměru jednotlivých subtilních prvků konstrukce lze předpokládat rozptyl + - 10 mm. Rozměr sloupu se tedy bude pohybovat v rozmezí 490 - 510 mm a bude to zároveň odpovídat krajním kvantilům.

Součinitel  $k_n$ :

1%	5%	10%	20%	50%	80%	90%	95%	99%
-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	0	0,84	1,28	1,65	2,33

$$V_x = \frac{m_x - f_{ck}}{m_x * k_n} = \frac{500 - 490}{500 * (-2,33)}$$

$$V_x = -0,009$$

$$a_{0,10} = m_x * (1 - k_n * V_x) = 25 * (1 - (-1,28) * (-0,258))$$

$$a_{0,01} = 494,51 \text{ mm}$$

Rozměr sloupu [mm]		$a_{0,01}$	$a_{0,10}$	$a_{0,50}$	$a_{0,90}$	$a_{0,99}$
			490,00	494,51	500,00	505,49
<b>Předběžné ověření na protlačení</b>						
$V_{Ed,0} \leq V_{Rd,max}$	[kPa]	2091	2072	2049	2027	2009
	[kPa]	4224	4224	4224	4224	4224
	[%]	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c} * k_{max}$	[kPa]	817	815	811	807	805
	[kPa]	841	841	841	841	541
	[%]	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>65</b>
<b>Únosnost desky bez smykové výztuže</b>						
$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	817	815	811	807	805
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>101</b>
<b>Únosnost desky se smykovou výztuží</b>						
Obvod $u_1$ $V_{Ed,1} \leq V_{Rd,cs}$	[kPa]	817	815	811	807	805
	[kPa]	1395	1391	1387	1383	1379
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Obvod $u_{out,2}$ $V_{Ed,out,2} \leq V_{Rd,c}$	[kPa]	449	448	448	447	446
	[kPa]	551	551	551	551	551
	[%]	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Přesnost zhotovení sloupu z hlediska rozměru je pro výslednou pevnost naprosto zanedbatelný. Nejvíce se vliv tohoto parametru projevil u předběžného posouzení u obvodu  $u_0$ . Ovšem poměr využití se tu změnil pouze o 2%.

## 9. ZÁVĚR

V rámci této práce byla provedena citlivostní analýza jak deterministická, tak stochastická. Zásadní rozdíl mezi těmito analýzami je, že v deterministické se určí, jaké budou vstupní parametry. Jak velké bude krytí betonu nebo jaká třída betonu. Za to ve stochastické se řešila proměnlivost již určených vstupních parametrů a jaké tyto odchylky mají vliv na únosnost.

Kvalita oceli neměla na únosnost konstrukce žádný vliv. A to z důvodu, že u ohybové výztuže se vyskytuje pouze plocha dané výztuže a u smykové se návrhová pevnost počítá vzorečkem, ve kterém vyjde u každé oceli stejná pevnost, je-li výsledná pevnost menší než  $f_{yd}$ .

Třída betonu měla na konstrukci již poměrně znatelný vliv a to především u předběžného posouzení na protlačení u obvodu  $u_0$ . Je to z důvodu, že v tomto posouzení je pevnost betonu jediný parametr pevnosti konstrukce. V dalších posouzeních se již vyskytuje ohybová nebo i smyková výztuž a pevnost betonu je i ponížena koeficientem 0,75.

Krytí betonu patřilo mezi parametry, které mají na únosnost poměrně zanedbatelný vliv. Při zmenšení krytí z 25 mm na 15 mm došlo ke zlepšení využití konstrukce asi o 5%. Bylo ovšem zajímavé zjištění, že tímto postupem nedochází k zvýšení celkové únosnosti v protlačení. Při zmenšení krytí dojde i ke zmenšení únosnosti. Ovšem klesá i působící napětí v konstrukci.

Parametr průměru ohybové výztuže se výrazně projevil u posouzení bez smykové výztuže u obvodu  $u_1$ . Při zvýšení průměru z 12 mm na 16 mm došlo z nárůstu využití až o 20%. Zároveň u toho samého posouzení došlo ke snížení využití při změně průměru z 10 mm na 8 mm, ovšem nejednalo se o nijak zásadní výkyv. Je to kvůli tomu, že změna průměru výztuže mění jak plochu výztuže, tak i účinnou výšku průřezu. Zároveň zde při zvýšení průměru došlo k poklesu únosnosti u předběžného posouzení. A to z důvodu, že se zde parametr plochy výztuže neobjevuje. Respektive se tu objevuje jen jako odhad a to 0,5% plochy průřezu. Při změně počtu ohybové výztuže byly zjištěné výsledky stejné. Jediný rozdíl byl, že zvýšení i zmenšení únosnosti bylo čistě lineární.

Parametr průměru smykové výztuže hrál v posouzení únosnosti u obvodu  $u_1$  již s vlivem smykové výztuže naprosto zásadní roli. Při zvýšení průměru z 12 mm na 16 mm došlo ke zlepšení využití až o 55%. Ovšem toto je jediné posouzení, kde tento parametr přispívá k únosnosti. Stejně tak tomu bylo i u změny počtu lišt smykové výztuže. Jen se změnou, že při zvýšení průměru docházelo ke kvadratickému růstu a při změně počtu k lineárnímu.

Při změně rozměru sloupu docházelo k podobným výsledkům jako u změny třídy betonu. Zásadní rozdíl využití konstrukce docházelo předběžného posouzení u obvodu  $u_0$ . Další únosnosti se měnily jen nepatrně.

U stochastické analýzy bylo zjištěno, že kvalita betonu tu měla výrazný vliv. U předběžného posouzení u obvodu  $u_0$  vzrostlo využití při 99% kvantilu až o 50%. U dalších posouzeních již beton neměl tak velký vliv. Krytí betonu se při 1% a 99% kvantilu měnilo využití konstrukce maximálně o 10%. Nejedná se tedy o výrazný nárůst či pokles a pozornost tomuto parametru by se měla věnovat jen při vysokém využití konstrukce. Nakonec parametr rozměr sloupu neměl v této analýze žádný dopad na výsledné únosnosti.

## 10. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] Martin Tipka a Ing. Josef Novák. Analýza metod výpočtu železobetonových lokálně podepřených desek.  
[http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty\\_soubory/FRVS\\_2011/analyza\\_lok\\_p od\\_desek.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2011/analyza_lok_p od_desek.pdf)
- [2] Zdeněk Bažant. Betonové konstrukce 1.  
<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL05-Betonove%20konstrukce%20I/CS4-Betonove%20konstrukce%20plosne%20II.pdf>
- [3] doc. Ing. Jitka Vašková, CSc. BK01 – stropní desky – lokálně podepřené  
[http://people.fsv.cvut.cz/~vaskova/BK01\\_2019desky3.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~vaskova/BK01_2019desky3.pdf)
- [4] Úloha 2 - Lokálně podepřená deska  
<http://people.fsv.cvut.cz/www/foglamar/Download/RBZS/RBZS-uloha2-postup.pdf>
- [5] Ing. Jan Nováček. Analýza zesilování železobetonových desek s ohledem na mezní stav protlačení  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=191040](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191040)
- [6] Jakub Kirschbaum. Bakalářská práce  
<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77408/F1-BP-2018-Kirschbaum-Jakub-Vyztuzovani%20stropnich%20desek%20na%20protlaceni.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] Návrh na mezní stav porušení protlačení  
<https://docs.google.com/file/d/0B6Oj0m6BuRclaXYwMGNSNzdodVE/edit>
- [8] Peikko. Výztuž na protlačení PSB  
<https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/HTqPtQ/sWY949oXpKw2dpToIJRXVA/PSBCZ001TMAWeb.pdf>
- [9] Jordahl. Výztuž na protlačení JDA  
[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)

- [10] Korn. Výztuž na protlačení  
<http://www.kornbrno.cz/produkty/smykove-listy-proti-protlaceni/smykova-vyztuz-proti-protlaceni>
- [11] Rekonstrukce historického objektu s použitím lokálně podepřených předpjatých stropních desek a skrytých hlavic  
[https://www.imaterialy.cz/rubriky/technologie/rekonstrukce-historickeho-objektu-s-pouzitim-lokalne-podeprenych-predpjatych-stropnich-desek-a-skrytych-hlavic\\_42499.html](https://www.imaterialy.cz/rubriky/technologie/rekonstrukce-historickeho-objektu-s-pouzitim-lokalne-podeprenych-predpjatych-stropnich-desek-a-skrytych-hlavic_42499.html)
- [12] Jiří Smejkal, Jaroslav Procházka. Protlačení z pohledu ČSN EN 1992 – 1 – 1  
[http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-5-60\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-5-60_0.pdf)
- [13] Jiří Smejkal, Jaroslav Procházka, Hana Hanzlová. Navrhování na mezní stav porušení protlačení – 2. část
- [14] Model Code for Concrete Structures 2010  
[https://ibeton.epfl.ch/MC2010Punching/2011-09-23\\_MC2010\\_Final\\_draft.pdf](https://ibeton.epfl.ch/MC2010Punching/2011-09-23_MC2010_Final_draft.pdf)

## 11. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Druhy lokálně podepřených desek (zdroj: [1])
- Obr. 2 Účinná část viditelné hlavice (zdroj: [3])
- Obr. 3 Hříbová hlavice jednoduchá (zdroj: [2])
- Obr. 4 Hříbová hlavice lomená, se zesilující deskou a zesilující deska (zdroj: [2])
- Obr. 5 Skrytá ocelová hlavice manžetová a roštová (zdroj: [3])
- Obr. 6 Skrytá ocelová hlavice žebrová (zdroj: [3])
- Obr. 7 Prefabrikovaná předpjatá hlavice (zdroj: [3])
- Obr. 8 charakteristické druhy porušení protlačením (zdroj: [3])
- Obr. 9 Obecný model příhradové analogie na lokálně podepřenou konstrukci (zdroj: [3])
- Obr. 10 Modely příhradové analogie v závislosti na využití výztuži (zdroj: [3])
- Obr. 11 Výztuž proti havárii (zdroj: [3])
- Obr. 12 Výztuž na protlačení PSB (zdroj: [13])
- Obr. 13 Výztuž na protlačení JDA (zdroj: [14])
- Obr. 14 Výztuž na protlačení KORN (zdroj: [15])
- Obr. 15 Třmínková výztuž na protlačení (zdroj: [10])
- Obr. 16 Výztuž na protlačení – smykové kozlíky (zdroj: [3])
- Obr. 17 Příhradová smyková výztuž na protlačení (zdroj: [17])
- Obr. 18 Skrytá ocelová hlavice (zdroj: [16])
- Obr. 19 Konstrukční zásady ukládání výztuže (zdroj: [3])
- Obr. 20 Kontrolované obvody (zdroj: [3])
- Obr. 21 Tvorba kontrolovaného obvodu (zdroj: [2])
- Obr. 22 Otvory u kontrolovaných obvodů (zdroj: [3])
- Obr. 23 Kontrolované obvody u hran desky (zdroj: [2])
- Obr. 24 Kontrolované obvody poblíž hran desky (zdroj: [11])
- Obr. 25 Kontrolovaný obvodu u velkého sloupu, rohu stěny a ukončení stěny (zdroj: [10])
- Obr. 26 Přibližné hodnoty součinitele  $\beta$  (zdroj: [11])
- Obr. 27 Přesah ocelové hlavice (zdroj: [3])



- Obr. 28 Zásady pro umístění třmínkové výztuže na protlačené (zdroj: [6])
- Obr. 29 Kontrolovaný obvod b1 (zdroj: [14])
- Obr. 30 Kontrolovaný obvod b1 u rohu stěny, konce stěny a velkého sloupu (zdroj: [14])
- Obr. 31 Obvod b1 s otvorem v desce (zdroj: [14])
- Obr. 32 Tabulkové hodnoty součinitele ke (zdroj: [13])
- Obr. 33 Schéma modelu ve výpočetním programu RFEM
- Obr. 34 Momenty v poli ve směru osy x
- Obr. 35 Momenty v poli ve směru osy y
- Obr. 36 Schéma rozložení nadpodporových výztuží
- Obr. 37 Nadpodporové momenty ve směru osy x
- Obr. 38 Nadpodporové momenty ve směru osy y
- Obr. 39 Nadpodporový moment č. 1
- Obr. 40 Nadpodporový moment č. 2
- Obr. 41 Nadpodporový moment č. 3
- Obr. 42 Nadpodporový moment č. 4
- Obr. 43 Schéma rozložení výztuží kolem otvorů
- Obr. 44 Moment v místě otvoru desky č. 1
- Obr. 45 Označení posuzovaných podpor
- Obr. 46 Posuzovaná podpora č. 1
- Obr. 47 Posuzovaná podpora č. 2