

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2023**

**TOMÁŠ JANECKÝ**

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

# **Studie nosné konstrukce hotelu vystaveného nárazu vozidla**

**Diplomová práce**

**Teoretická část**

Vypracoval: Bc. Tomáš Janecký  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2023

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ 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>		
Stud. obor/ spec.: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Studie nosné konstrukce hotelu vystaveného nárazu vozidla</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Study on the load-bearing structure of hotel subjected to impact from vehicle</u>	
Pokyny pro vypracování:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Souhrn informací k mimořádnému zatížení od účinků nárazu vozidla.</li> <li>- Návrh stavebně-konstrukčního řešení zadaného objektu.</li> <li>- Zpracování výkresů tvaru.</li> <li>- Studie chování nosné konstrukce vystavené účinkům zatížení od nárazu vozidla, vyhodnocení účinků mimořádného zatížení na chování nosné konstrukce, návrh výztuže a zpracování výrobní dokumentace vybraných konstrukčních prvků.</li> </ul>	
Seznam doporučené literatury:	
<p>ČSN EN 1991-1-7: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení</p> <p>Low-speed vehicle impact against building structures: a review of relevant codes</p>	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Josef Novák, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: _____	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>22.5.2023</u>
	<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<p><i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.</i></p>	
_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Tomáš Janecký

Název diplomové práce: Studie nosné konstrukce hotelu vystaveného nárazu vozidla

Základní část: K133 podíl: 85 %

Formulace úkolů: Předmětem úvodní části diplomové práce je zpracovat přehledný souhrn informací k mimořádnému zatížení od účinků nárazu vozidla a provést návrh konstrukčního systému u zadaného objektu. Hlavní část práce se bude soustředit na studii vlivu účinků nárazu od vozidla na chování čelní části objektu. Součástí výstupů práce budou výkresy tvaru a výztuže vybraných prvků konstrukce.

Podpis vedoucího DP: ..... Datum: .....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: K124 podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Lenka Hanzalová, Ph.D.

Formulace úkolů: Vypracoval studii nam Tz, přidáno 1.NP v měk. 1:100; detaily stropu v místech uspořádání nárazu.

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: K135 podíl: 5 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Jan Salák, CSc.

Formulace úkolů: Předběhy návrh založení objektu

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

## Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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**

Diplomová práce se zabývá působením mimořádného zatížení na konstrukci. V teoretické části je sepsáno, co je to mimořádné zatížení, opatření vůči němu a co je to robustnost konstrukce. V praktické části jsou posouzeny vybrané prvky konstrukce v běžném stavu a následně přeposouzeny po zatížení mimořádným zatížením a porovnání jednotlivých návrhů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Konstrukce, mimořádné, zatížení, práce, vozidlo, náraz, sloup, průvlak, deska, stěna, prvky, síla, rychlost

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the effect of abnormal loads on the structure. In the theoretical part, it is written what is an extraordinary load, measures against it and what is the robustness of the structure. In the practical part, selected elements of the structure in normal condition are assessed and then reassessed after being subjected to an exceptional load and the individual designs are compared.

## **KEY WORDS**

Construction, extraordinary, load, work, vehicle, impact, column, girder, plate, wall, elements, force, speed



# OBSAH

PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
ABSTRAKT.....	7
KLÍČOVÁ SLOVA .....	7
ABSTRACT.....	8
KEY WORDS .....	8
OBSAH.....	9
1. ÚVOD.....	11
2. PŘEDMLUVA.....	12
3. OPATŘENÍ PROTI MIMOŘÁDNÉMU ZATÍŽENÍ.....	12
3.1. OMEZENÍ RYCHLOSTI NÁRAZU.....	13
3.2. PŘEKÁŽKY ZAMEZUJÍCÍ NÁRAZU DO KONSTRUKCE.....	13
4. NÁVRHOVÉ SITUACE .....	14
5. NÁRAZ.....	15
5.1. POPIS ZATÍŽENÍ.....	15
5.2. MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ SILNIČNÍMI VOZIDLY .....	15
6. ROBUSTNOST NOSNÝCH KONSTRUKCÍ.....	18
6.1. POŽADAVKY NA ROBUSTNOST .....	18
7. ÚVOD.....	21
8. PŘEDSTAVENÍ OBJEKTU.....	21
9. ZATÍŽENÍ .....	23
9.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	23
9.2. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ .....	24
9.3. ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	24
9.4. ZATÍŽENÍ VĚTREM.....	25
10. STATICKÝ VÝPOČET BEZ MIMOŘÁDNÉHO ZATÍŽENÍ.....	26
10.1. 3D MODEL V PROGLRAMU DLUBAL RFEM.....	26
10.2. POSOUZENÍ PRŮVLAKŮ.....	27
10.2.1. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P1.....	27
10.2.2. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P2.....	32
10.2.3. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P3.....	37
10.3. POSOUZENÍ DESKY .....	42
10.4. POSOUZENÍ SLOUPŮ .....	48
10.4.1. POSOUZENÍ SLOUPU S2.....	48
10.5. POSOUZENÍ STĚNY.....	57
11. STATICKÝ VÝPOČET S MIMOŘÁDNÝM ZATÍŽENÍM.....	67

11.1.	NÁRAZ AUTOMOBILU DO SLOUPU .....	67
11.2.	NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA DO SLOUPU.....	75
11.3.	KOLAPS SLOUPU S2 .....	82
12.	SHRnutí NAVRŽENÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE.....	104
12.1.	STAV BEZ MIMOŘÁDNÉHO ZATÍŽENÍ.....	104
12.2.	NÁRAZ AUTOMOBILU .....	105
12.3.	NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA .....	105
12.4.	KOLAPS SLOUPU S2 .....	105
13.	POROVNÁNÍ BĚŽNÝCH STAVŮ S MIMOŘÁDNÝM STAVEM .....	106
13.1.	NÁRAZ AUTOMOBILU .....	106
13.2.	NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA .....	107
13.3.	KOLAPS SLOUPU S2 .....	107
14.	ZÁVĚR .....	108
15.	SEZNAM ZDROJŮ .....	109
16.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	110
17.	SEZNAM TABULEK.....	112

# 1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá mimořádným zatížením na konstrukci. V tomto případě se přesněji jedná o náraz vozidla na nosnou konstrukci hotelu.

V práci nachází zprvu teoretická část, kde se specifikuje, co to vlastně je náraz od vozidla a jak se mohou rozlišovat jednotlivé nárazy z hlediska hmotnost narážejícího vozidla, či směru nárazu. Dále jsou zde sepsány i různé druhy opatření proti mimořádnému zatížení, které jsou rozděleny na zpomalující opatření a překážky. V závěru teoretické jsou informace ohledně robustnosti a konstrukce a co to znamená, když se řekne, že konstrukce je robustní z hlediska mimořádného zatížení.

Dále v praktické části diplomové práce je na úvod sepsán popis objektu a následně již výpočty. Výpočty konstrukce se skládají z sepsání zatížení působící na konstrukci, vymodelování celé konstrukce ve výpočetním programu RFEM Dlubal a následné posouzení vybraných prvků konstrukce. Jednalo se o průvlaky, sloupy, desku a stěnu. Následně jsou vybrané prvky přeposouzeny při uvažování jednotlivých druhů mimořádného zatížení. Na závěr je porovnání návrhu vybraných prvků mezi běžným stavem a stavem při působení mimořádného zatížení.

Diplomová práce obsahuje i přílohy, které se skládají z technické zprávy z části konstrukce pozemních staveb a výkresů tvaru, výztuže a konstrukčního půdorysu 1.PN. Na výkresy tvaru a výztuže byl použit program na 3D rýsování – Revit.

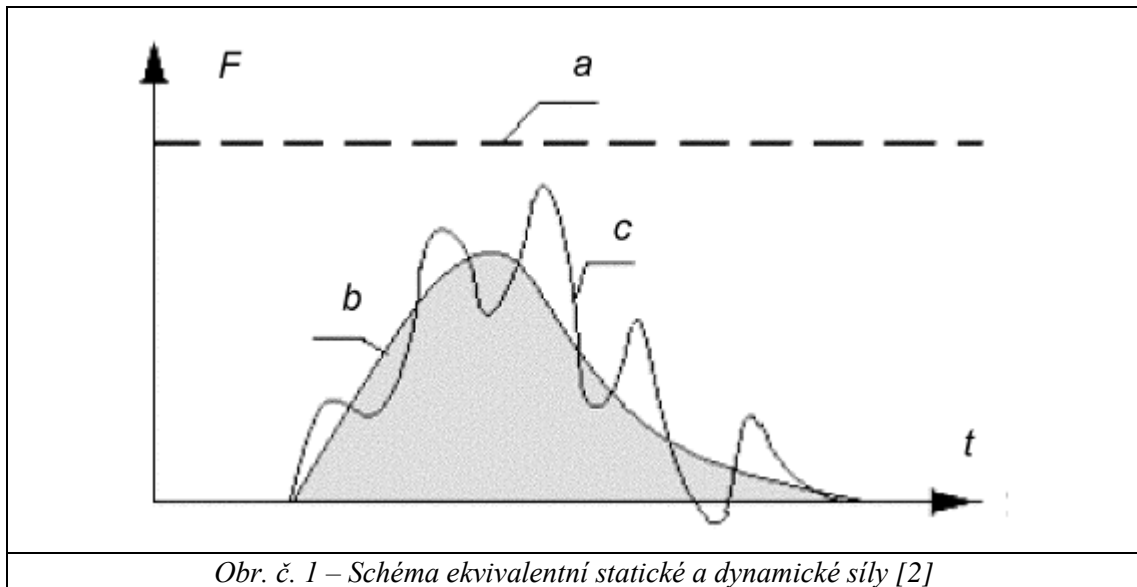
Cíl této práce byl sepsat stručnou teorii ohledně mimořádného zatížení na konstrukci a následně na vybraných částech konstrukce porovnávat, jak se liší návrhy vybraných prvků při uvažování běžného stavu konstrukce a při uvažování mimořádného zatížení na konstrukci.

Dosažení cílů bylo provedeno pomocí přejímání informací z odborných publikací a norem. Cílů v praktické části diplomové práce bylo dosaženo pomocí vymodelování konstrukce ve výpočetním programu RFEM Dlubal a následného posudku vybraných prvků pomocí postupu z norem.

Motivace k vypracování této práce bylo zjištění, jak velký vliv má na návrh konstrukce uvažování mimořádného zatížení.

## 2. PŘEDMLUVA

Pod pojmem mimořádného zatížení se obecně rozumí neočekávaný, krátce trvající a veliké zatížení na konstrukci. Toto zatížení se sice dá rozdělit na náhodné zatížení (například autonehodu) a na záměrné zatížení (teroristický útok) [1], ačkoliv na výsledné působení na konstrukci to teoreticky nemá vliv. V obou případech totiž může dojít k jistému porušení konstrukce, kterým může vzniknout ohrožení osob jak v zasažené konstrukci, tak v jejím blízkém okolí.



Na obrázku č. 1 je vidět, jak ve skutečnosti působí mimořádné zatížení na konstrukci a jak je takové zatížení zidealizováno pro jednodušší posouzení konstrukce. Průběh „b“ a „c“ znázorňují skutečný chování konstrukce. Průběh „b“ představuje dynamickou sílu a průběh „c“ naopak odezvu konstrukce na danou sílu. Průběh „a“ pak znázorňuje ekvivalentní statickou sílu, která je následně uvažována při výpočtech. [2]

## 3. OPATŘENÍ PROTI MIMOŘÁDNÉMU ZATÍŽENÍ

Opatření se dá rozdělit na 2 základní typy:

- Odolnost dané konstrukce proti mimořádnému zatížení
- Zhotovení nějakého opatření (překážek), aby nemohlo dojít k mimořádnému zatížení na konstrukci, nebo alespoň aby bylo výrazně zredukováno

V této kapitole se budeme věnovat spíše jen druhému způsobu opatření proti mimořádnému zatížení. Co se týče návrhu konstrukce proti mimořádnému zatížení, to bude podrobněji rozebíráno až v následujících kapitolách této práce.

### 3.1. OMEZENÍ RYCHLOSTI NÁRAZU

Jestliže není možné plně zabránit nárazu vozidla do konstrukce, tak je rychlost daného vozidla asi nejzásadnějším faktorem, který je potřeba nějak zredukovat. Jedná se totiž o zásadní vstupní veličinu při určování výsledné síly na konstrukci od mimořádného zatížení. [1] Omezit rychlost vozidla se dá vícero způsoby:

- Zakřivení konstrukce způsobem, aby přímo ke konstrukci, která má být chráněna, nevedla dlouhá, přímá komunikace, která by umožňovala nabrat vysokou rychlost. [1]
- Umístění zpomalovacích překážek na vozovku, kterými můžou být zpomalovací prahy či vyvýšené přechody. [1]

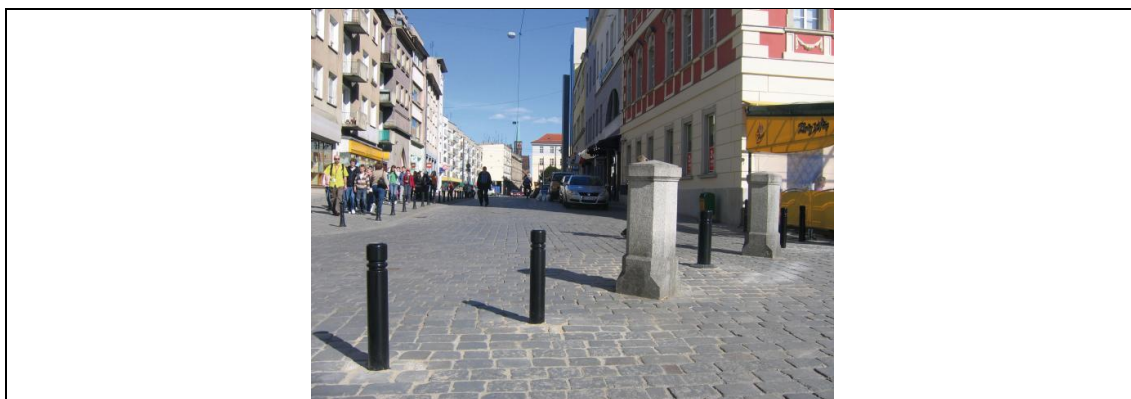
### 3.2. PŘEKÁŽKY ZAMEZUJÍCÍ NÁRAZU DO KONSTRUKCE

Umístění překážek již má za úkol plně zabránit nárazu vozidla, a tedy působení mimořádného zatížení do konstrukce. Základní rozdělení překážek je na přirozené překážky a protinárazové bariéry. [1]

Přirozené překážky jsou velice oblíbenou variantou, jak zamezit nárazu vozidla, ačkoliv ne vždy tyto překážky zabrání nárazu zcela. Jedná se totiž o poměrně levnou variantu [1] a nijak to nenaruší vzhled okolí robustní překážkou. Mohou se sem zařadit zvýšené obrubníky, příkopy, vodní překážky, stromy, lavičky atd. [1] V zásadě se jedná o jakýkoliv prvek nacházející se v dané lokalitě, který je schopen nárazu zabránit, ačkoliv k tomu primárně nebyl určen.

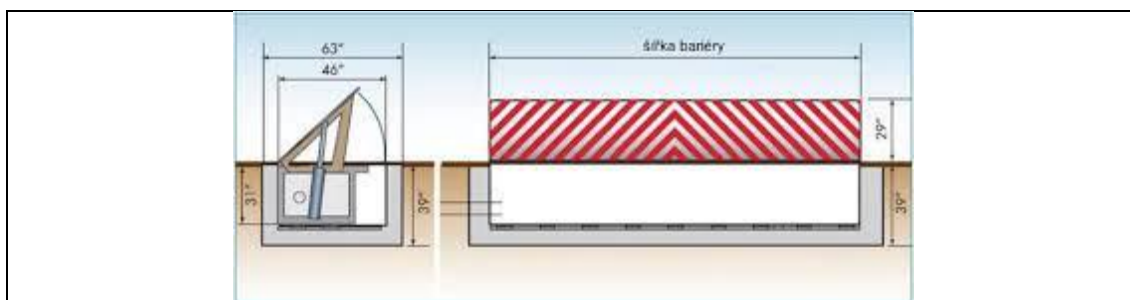
Další možností překážek jsou protinárazové bariéry. Jedná se už o velice spolehlivější a zároveň i finančně náročnější variantu, jak zabránit nárazu vozidla do konstrukce. Používají se převážně tam, kde je potřeba vyšší ochrany proti nárazu a kde se nenachází, nebo není možno umístit přirozené překážky. [1] Protinárazové bariéry se ještě dělí na pasivní a aktivní bariéry: [1]

- Pasivní bariéry jsou natrvalo umístěny na jedno místo a již se s nimi nedá hnout. Umisťují se tedy na místa, která mají být trvale chráněna před vjezdem vozidla



Obr. č. 2 – Pasivní protinárazová ochrana – pevné patníky [3]

- Aktivní bariéry jsou naopak od pasivních pohyblivé a dá se tedy u nich určovat, kdy budou bránit průjezdu vozidlům a kdy naopak průjezd umožní. Jedno z ideálních použití je například na místě, které je sice kontrolované, ale oprávněné osoby mají možnost projet autem



Obr. č. 3 – Aktivní protinárazová ochrana – otočná klínová bariéra [1]

## 4. NÁVRHOVÉ SITUACE



Obr. č. 4 – Strategie pro mimořádné návrhové situace [2]

Z obrázku č. 2 lze vypožorovat, že jsou 2 přístupy (strategie), jak lze přistupovat k návrhu konstrukce na působení mimořádného zatížení.

- Strategie identifikování mimořádných zatížení je založena na zabránění kolapsu jednotlivých prvků konstrukce zasazených mimořádným zatížením. Může se jednat například o zhotovení konstrukce dostatečně robustnou, nebo ochranným opatřením vytvořit prevenci, či alespoň zredukovat zatížení.
- Strategie omezení rozsahu lokální poruchy je obecně založena na tom, že při částečné poruše konstrukce vlivem mimořádného zatížení nedojde ke kolapsu. Může se jednat například o dostatečnou statickou neurčitost konstrukce a zatížení se tím pádem přenese jinam.

## 5. NÁRAZ

V této diplomové práci se vzhledem ke zpracovávanému objektu budeme zabývat pouze nárazem způsobeným silničním vozidlem.

V této kapitole jsou veškeré informace převzaty ze zdroje: ČSN EN 1991-1-7\_Eurokód 1-Zatížení konstrukcí\_část 1\_7\_obecná zatížení-Mimořádná zatížení [2]

### 5.1. POPIS ZATÍŽENÍ

Jsou 2 možnosti, jak stanovit zatížení od nárazu:

- Dynamická síla
- Ekvivalentní statická síla

Při stanovení velikosti síly od nárazu jsou zásadními 2 faktory: rychlost vozidla při nárazu a deformační vlastnosti vozidla, což vlastně vyznačuje, jak rychle se vozidlo o konstrukci zastaví a jak velká síla z nárazu vznikne.

Zjištěné zatížení od nárazu se dá nahradit ekvivalentní statickou silou. Tato nahrazující síla je dostatečná pro ověření statické rovnováhy, pevnosti a pro stanovení deformací konstrukce.

### 5.2. MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ SILNIČNÍMI VOZIDLY NÁRAZ NA PODPĚRNOU KONSTRUKCI

V následující tabulce jsou vypsány hodnoty jednotlivých ekvivalentních statických sil při nárazu vozidla rozřazené podle typu komunikace, kde může k nárazu dojít. Síly ve směru „x“ a „y“ značí, zda k dané síle od nárazu může dojít ve směru jízdy, či kolmo na směr jízdy.

Kategorie pozemní komunikace	Síla $F_{dx}$ <sup>a)</sup> [kN]	Síla $F_{dy}$ <sup>a)</sup> [kN]
Dálnice a hlavní silnice	1 000	500
Ostatní silnice	750	375
Místní komunikace	500	250
Uzavřené plochy a budovy s hromadnými garážemi s přístupem:		
– osobních vozidel	50	25
– těžkých vozidel <sup>b)</sup>	150	75
<sup>a)</sup> x = směr jízdy, y = kolmo na směr jízdy.		
<sup>b)</sup> Termín „těžké vozidlo“ se vztahuje k vozidlům o celkové maximální hmotnosti větší než 3,5 tuny.		

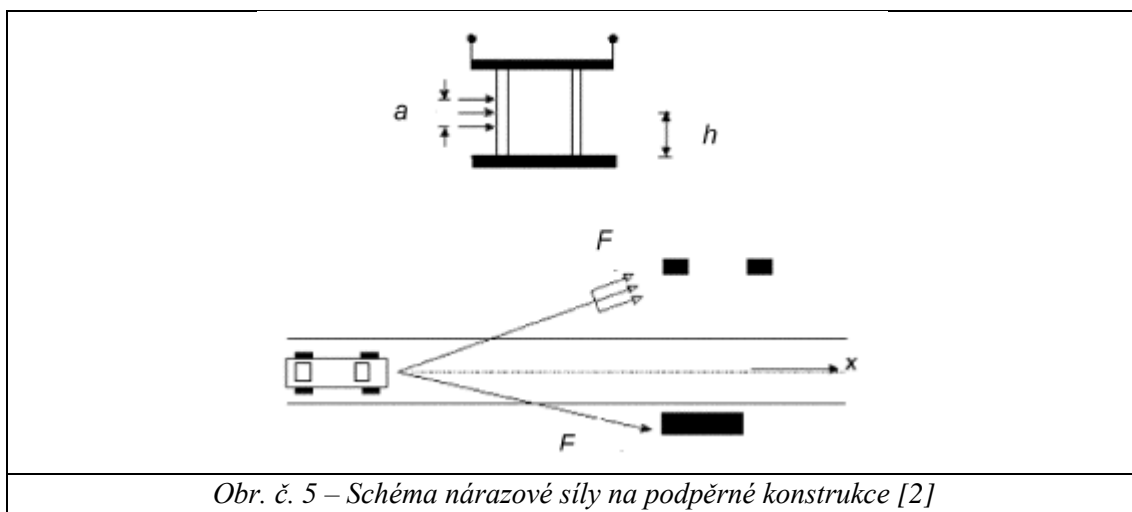
Tab. č. 1 – Ekvivalentní statické síly od nárazu na podpěrnou konstrukce [2]

Při návrhu se má následně stanovit plocha působení výsledné nárazové síly  $F$  a s tou pak uvažovat při návrhu konstrukce.

V případě těžkých vozidel se má střed působení síly od nárazu uvažovat ve výšce  $h = 0,5 - 1,5$  m. Doporučená plocha pro zatížení od těžkých vozidel je  $a = 0,5$  m (výška) a  $b = 1,5$  m (šířka). Pokud je šířka konstrukce menší jak 1,5 m, uvažuje se jako šířka působící plochy šířka konstrukce.

V případě osobních vozidel se má působící síla umístit ve výšce  $h = 0,5$  m. Plocha pro zatížení se pak uvažuje  $a = 0,25$  m,  $b = 1,5$  m. Pokud šířka konstrukce menší jak 1,5 m se postupuje stejně jako u těžkých vozidel.

V následujícím obrázku jsou vyobrazeny výše popsané parametry: výška působící síly od nárazu „ $h$ “, plocha působícího nárazu „ $a$ “, „ $b$ “, směr jízdy „ $x$ “ a výsledný směr působící síly „ $F$ “.



Obr. č. 5 – Schéma nárazové síly na podpěrné konstrukce [2]

### NÁRAZ NA NOSNOU KONSTRUKCI

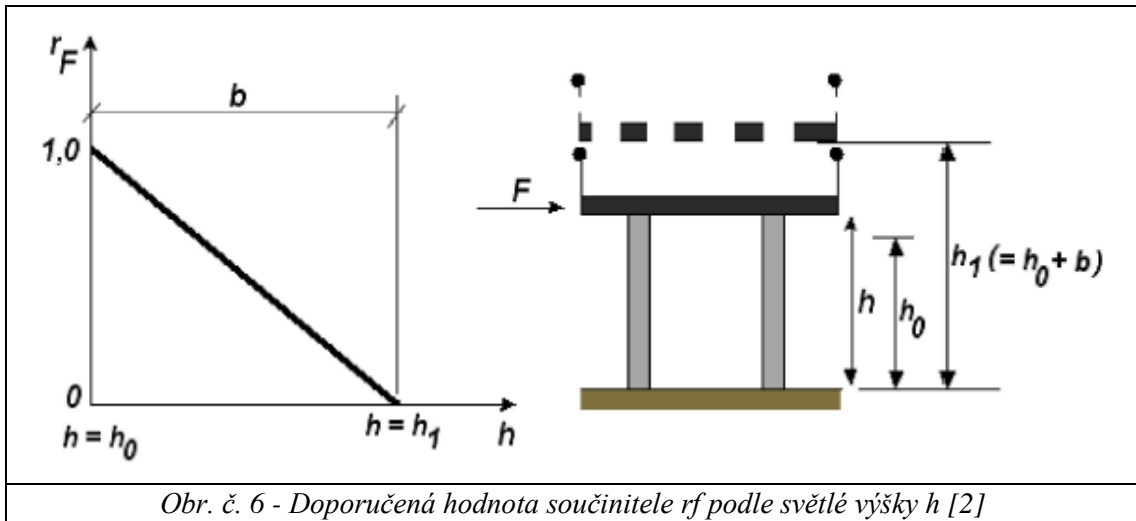
V následující tabulce jsou vypsány hodnoty jednotlivých ekvivalentních statických sil při nárazu vozidla rozřazené podle typu komunikace, kde může k nárazu dojít. Při nárazu na nosnou konstrukci se uvažuje jen jeden směr působení síly, a to směr jízdy „ $x$ “.

Kategorie pozemní komunikace	Návrhová hodnota ekvivalentní statické síly $F_{dx}$ <sup>a)</sup> [kN]
Dálnice a hlavní silnice	500
Ostatní silnice	375
Místní komunikace	250
Uzavřené plochy a budovy s hromadnými garážemi	75
<sup>a)</sup> $x$ = směr jízdy	

Tab. č. 2 – Ekvivalentní statické síly od nárazu na nosnou konstrukci [2]



Pokud se hodnoty zatížení uvedené v tabulce výše nacházejí ve výšce  $h_0 < h < h_1$ , vynásobí se redukčním součinitelem  $r_f$  (hodnoty uvedené v následujícím obrázku).



Vysvětlení parametrů v obrázku č. 4:

- $h$  = světlá výška mezi vozovkou a nosnou konstrukcí.
- $h_0$  = minimální světlá výška mezi vozovkou a nosnou konstrukcí, aby se mohl uvažovat redukční součinitel  $r_f$ . Doporučená hodnota  $h_0 = 5$  m.
- $h_1$  = maximální světlá výška mezi vozovkou a nosnou konstrukcí. V případě, že je světlá výška větší jak  $h_1$ , tak se nemusí uvažovat nárazová síla  $F$ . Doporučená hodnota  $h_1 = 6$  m.
- $b$  = rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou světlé výšky, kdy je uvažován redukční součinitel  $r_f$ . Doporučená hodnota  $b = 1$  m.

## 6. ROBUSTNOST NOSNÝCH KONSTRUKCÍ

Robustnost znamená, že je konstrukce schopna odolávat mimořádným zatížením, mezi která patří například výbuch, požár, náraz letadla či vozidla a chybám způsobených lidským faktorem při realizaci stavby. Odoláváním těmto mimořádným zatížením se rozumí, že nedojde ke zřícení stavby řetězovým působením, nebo že dojde jen k přiměřeným poškozením stavby, které jsou přijatelné. [4]

Mezi nejstarší předpisy ohledně splnění podmínky robustnosti konstrukce patří: [4]

- Minimální tloušťka stěn vzhledem k počtu podlaží. Tato tloušťka stěn se pak směrem k vyššímu podlaží zmenšuje.
- Kotvení stropních konstrukcí do stěn.
- Realizace věnce či táhel ve všech podlažích konstrukce.

### 6.1. POŽADAVKY NA ROBUSTNOST

Konstrukce porušena působením mimořádného zatížení, musí vydržet alespoň minimální požadovanou dobu. Tato doba se stanovuje na základě toho, jaká je potřebná doba k evakuaci osob ze stavby a jejího okolí. [2]

Z hlediska požadavku na robustnost se konstrukce rozdělují na 4 třídy následků:

Třída následků CC	Příklady kategorizace podle typů pozemních staveb a jejich používání
1 malá	Samostatné obytné domy do 4 podlaží Zemědělské stavby Stavby s občasným výskytem osob za předpokladu, že každá část takové stavby je vzdálena od další obytné budovy nebo oblasti navštěvované lidmi alespoň o 1,5násobek výšky stavby
2a střední – skupina menšího rizika	Samostatné 5 podlažní obytné domy Hotely do 4 podlaží Budovy s byty, apartmány a další rezidenční budovy do 4 podlaží Administrativní budovy do 4 podlaží Průmyslové stavby do 3 podlaží Obchodní plochy do 3 podlaží, s plochou každého podlaží max. 1 000 m <sup>2</sup> Školní zařízení o 1 podlaží Veškeré budovy nepřesahující 2 podlaží, kde je povolen vstup veřejnosti a plocha jednotlivých podlaží je nanejvýš 2 000 m <sup>2</sup>
2b střední – skupina většího rizika	Hotely, budovy s byty, apartmány a další obytné budovy vyšší než 4 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlažní Školská zařízení vyšší než 1 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlažní Obchodní plochy vyšší než 3 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlažní Nemocnice do 3 podlaží Administrativní budovy vyšší než 4 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlažní. Všechny budovy s přístupem veřejnosti a s plochou podlaží větší než 2 000 m <sup>2</sup> , avšak na každém podlaží nanejvýš 5 000 m <sup>2</sup> Parkoviště nanejvýš 6 podlažní
3 velká	Všechny stavby, které přesahují omezení ploch jednotlivých podlaží a jejich počtu ve třídách následků 2a a 2b Všechny stavby, kde se shromažďuje značný počet osob Stadióny s více než 5 000 diváky Stavby s nebezpečnými látkami nebo technologickými procesy

Tab. č. 3 – Rozdělení konstrukcí podle tříd následků [2]

Při navrhování konstrukcí spadající do 1. třídy následků se konstrukce navrhují podle běžných postupů z norem a nemusí se navrhovat žádné další opatření. [4]

Při návrhu konstrukce spadající do třídy 2a se musí kromě návrhu podle běžných postupů ještě zahrnout návrh horizontálních táhel a kotvení podhledů ke stěnám. [4]

U konstrukcí ve třídě 2b se kromě výše uvedeného zahrne do návrhu navíc i vertikální táhla. Dále se už zde musí i posuzovat stabilita konstrukce při odstranění imaginární podpory, kterou se rozumí sloup, nebo normou stanovenou část stěny. Pokud se při výpočtech ukáže, že by odstranění určité podpory znamenalo porušení konstrukce přesahující povolenou mez, musí se daná konstrukce navrhout jako klíčová a tedy tak, aby byla schopna odolávat mimořádnému zatížení a nadále mohla přenášet vnitřní síly v konstrukci. [4]

Pro konstrukce spadající do 3. třídy následků se musí provést systematická analýza rizik. [4]

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

# **Studie nosné konstrukce hotelu vystaveného nárazu vozidla**

**Diplomová práce**

**Praktická část**

Vypracoval: Bc. Tomáš Janecký  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Praha 2023

## 7. ÚVOD

Praktická část této diplomové práce bude rozdělena na 2 části. Nejprve bude provedeno posouzení konstrukce během běžného užívání a následně bude provedeno posouzení se zohledněním mimořádného zatížení, do kterého bude spadat náraz automobilu či autobusu do vybraného sloupu a průvlaku konstrukce.

V první části diplomové práce bude zhotoven celkový model objektu ve výpočetním softwaru Dlubal RFEM a následně proběhne posouzení vybrané části objektu, které se následně bude týkat i mimořádné zatížení. Dále budou zhotoveny výkresy tvaru dvou podlaží objektu a následně i výkresy výztuže vybrané části objektu.

V druhé části diplomové práce bude do výpočetního modelu přidáno mimořádné zatížení a na vybrané části konstrukce již z první části bude zkoumáno, jaký má mimořádné zatížení vliv na dimenze konstrukce či vyztužení.

## 8. PŘEDSTAVENÍ OBJEKTU

Jedná se o novostavbu hotelu, který má přibližně 18 pokojů a dále se v objektu nacházejí místnosti typu společenská místnost, herna s barem, posilovna a modlitebna.

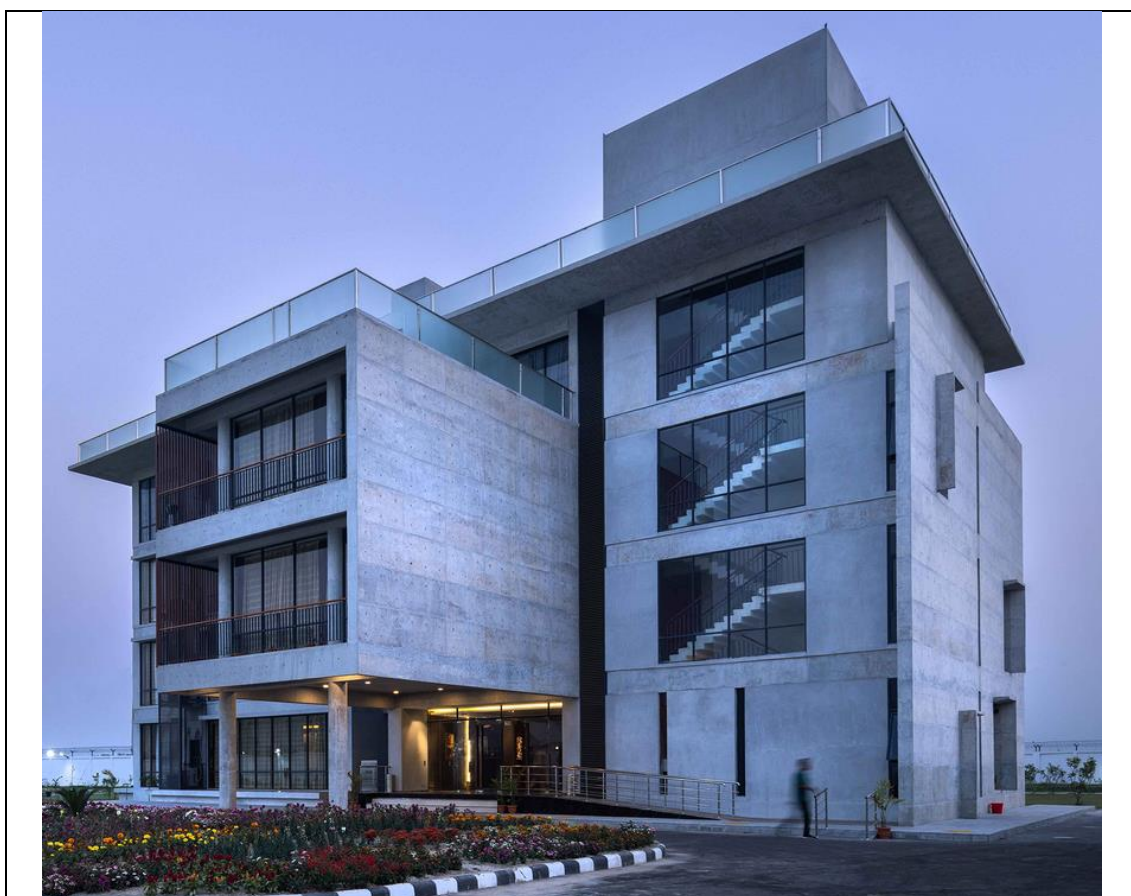
Z konstrukčního hlediska se jedná zcela o železobetonovou stavbu jejíž nosné prvky jsou sloupy, průvlaky a desky. Dále pro vodorovné ztužení objektu se zde nachází železobetonové stěny u schodiště vedoucí až na střechu a kolem výtahové šachty.

Objekt se skládá ze dvou prolínajících se obdélníků. První, hlavní obdélník objektu v podélném směru je o rozměrech 29,4 x 10,6 m. Má 4 nadzemní podlaží a žádné podzemní podlaží. Střecha 4. nadzemního podlaží se nachází přibližně ve výšce + 14,2 m. Dále je ještě v této hlavní části objektu umožněn výlez na střechu pomocí schodiště v severozápadní části objektu a pomocí výtahu. Druhý obdélník v příčném směru je o rozměrech 6,85 x 38,75 m. Má 3 nadzemní podlaží a žádné podzemní podlaží. Střecha 3. nadzemního podlaží je přibližně ve výšce 10,65 m. Na tuto pochozí střechu je umožněn přístup ze 4. nadzemního podlaží. Celkové rozměry objektu jsou 29,4 x 38,75 m.

V 1.NP se nachází převážně společenské místnosti, vstupní hala a 2 samostatné pokoje. V 2.NP se nachází samostatné pokoje a dále společenské místnosti typu zasedačka, tělocvična, herna a modlitebna. Ve 3.NP se nachází podobné obsazení místností jako v 2.NP vyjma tělocvičny a modlitebny. Ve 4.NP se nacházejí pouze samostatné pokoje a společenská místnost typu zasedačky. Dále je zde umožněn vstup na pochozí střechu. [5]



*Obr. č. 7 – Pohled z jihovýchodní strany [5]*



*Obr. č. 8 – Pohled ze severozápadní strany [5]*

## 9. ZATÍŽENÍ

### 9.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Podlaha	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m <sup>-2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
Keramické dlaždičky / mosolut fitness	-	-	0,20	0,27	0,23
Lepicí vrstva	1	1700	0,02	0,02	0,02
Cementový potěr	50	2200	1,10	1,49	1,26
Separáční vrstva	-	-	0,01	0,01	0,01
Kročejová izolace - Rigifloor 4000	50	150	0,08	0,10	0,09
<b>zatížení stálé na 1 m<sup>2</sup></b>			<b>1,40</b>	<b>1,89</b>	<b>1,61</b>

Pochozí střecha	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m <sup>-2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
Betonová dlažba	40	2200	0,88	1,19	1,01
Roznášecí terče	-	-	0,00	0,00	0,00
Ochranná + hydroizolační vrstva	4	-	0,05	0,07	0,06
Tepelná izolace - Kingspan Therma	120	50	0,06	0,08	0,07
Tepel. Izolace spádová - EPS 150	100	50	0,05	0,07	0,06
Parotěs., vzduchotěs., hydroizol	5	-	0,05	0,07	0,06
<b>zatížení stálé na 1 m<sup>2</sup></b>			<b>1,09</b>	<b>1,47</b>	<b>1,25</b>

Fasáda	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m <sup>-2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
Povrchová vrstva	2	1800	0,04	0,05	0,04
Základní vrstva	5	1800	0,09	0,12	0,10
Tepelná izolace - min. vata	160	50	0,08	0,11	0,09
Lepicí vrstva	16	1600	0,26	0,35	0,29
<b>zatížení stálé na 1 m<sup>2</sup></b>			<b>0,46</b>	<b>0,62</b>	<b>0,53</b>

Zasklení	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m <sup>-2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
Zasklení	1	1	0,50	0,68	0,57
<b>zatížení stálé na 1 m<sup>2</sup></b>			<b>0,50</b>	<b>0,68</b>	<b>0,57</b>

Příčky	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m <sup>-2</sup> ]	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
2x SDK deska Akustik	25	-	0,25	0,34	0,29
Profily + akustická izolace	100	100	0,10	0,14	0,11
2x SDK deska Akustik	25	-	0,25	0,34	0,29
<b>zatížení stálé na 1 m<sup>2</sup></b>			<b>0,60</b>	<b>0,81</b>	<b>0,69</b>

## 9.2. UŽITNÉ ZATÍŽENÍ

Zatížení kategorie A	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
	[kN.m <sup>-2</sup> ]	komb. 6.10 a	6.10 b
Obytné plochy	1,5	1,58	2,25

Zatížení kategorie C	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
	[kN.m <sup>-2</sup> ]	komb. 6.10 a	6.10 b
tělocvičny, hotely	5,00	5,25	7,5

Zatížení kategorie I	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
	[kN.m <sup>-2</sup> ]	komb. 6.10 a	6.10 b
Pochozí střecha dle kategorie A	1,50	1,58	2,25

## 9.3. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Sněhová oblast lokality objektu:	<b>II</b>	=> char. hodnota	<b>s<sub>k</sub> = 1,0 kN.m<sup>-2</sup></b>
Typ krajiny v okolí objektu:	<b>normální</b>	=> součinitel expozice	<b>C<sub>e</sub> = 1,0</b>
Tepelná prostupnost střechy:	<b>normální</b>	=> tepelný součinitel	<b>C<sub>t</sub> = 1,0</b>

Zatížení nenavátým sněhem:

Úhel sklonu střechy $\alpha$	Tvarový součinitel $\mu_1$	Char. zat. sněhem na střeše $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$
2,0°	$\mu_1 = 0,80$	<b>s = 0,80 kN.m<sup>-2</sup></b>
2,0°	$\mu_1 = 0,80$	<b>s = 0,80 kN.m<sup>-2</sup></b>

Vzhledem k tomu, že užitné zatížení na střeše od osob je větší, než od sněhu a možnosti použití návrhové situace 6.10a a 6.10b, nebude při zatěžování konstrukce střechy ve výpočetním programu Dlubal RFEM uvažováno zatížení od sněhu.



## 9.4. ZATÍŽENÍ VĚTREM

### ZATÍŽENÍ VĚTREM - Plochá střecha

Sklon střechy  $\alpha = 2^\circ$

Větrová oblast, ve které se objekt nachází

II

Základní rychlost větru  $v_{b,0}$  pro oblast II

25,0 m.s<sup>-1</sup>

#### Základní rychlost větru $v_b$

$$v_b = c_{dir} * c_{Season} * v_{b,0}$$

Součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1,0$$

Součinitel období

$$c_{Season} = 1,0$$

$$v_b = 25,0 \text{ m.s}^{-1}$$

#### Střední rychlost větru $v_m(z_e)$

$$v_m(h) = c_r(h) * c_0(h) * v_b$$

kategorie terénu

III

součinitel terénu

$$K_r = 0,215$$

výška budovy

$$h = 14,2 \text{ m}$$

referenční výška

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

součinitel drsnosti

$$c_r(h) = K_r * \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) = 0,83$$

součinitel orografie

$$c_0(z_e) = c_0(b) = 1,0$$

$$v_m(h) = 20,8 \text{ m.s}^{-1}$$

#### Maximální dynamický tlak větru $q_p(h)$

$$q_p(h) = [1 + 7 * l_v(h)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(h)$$

měrná hmotnost vzduchu

$$\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$$

součinitel turbulence

$$k_i = 1,0$$

intenzita turbulence

$$l_v(h) = \frac{\sigma_v}{v_m(h)} = \frac{k_i}{c_0(z_e) * \ln(h/z_0)} = 0,26$$

$$q_p(h) = 0,76 \text{ kPa}$$

#### Vnější tlak větru na střechě - plochá střecha

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.2:

hodnoty sání větru  $w_e$  [kPa]:

oblast	návětrná str.			závětrná str.	
	F	G	H	I	I
$C_{pe,10}$	-1,80	-1,20	-0,70	-0,20	0,20
$w_e$	-1,37	-0,91	-0,53	-0,15	0,15

#### Vnější tlak větru na stěny

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

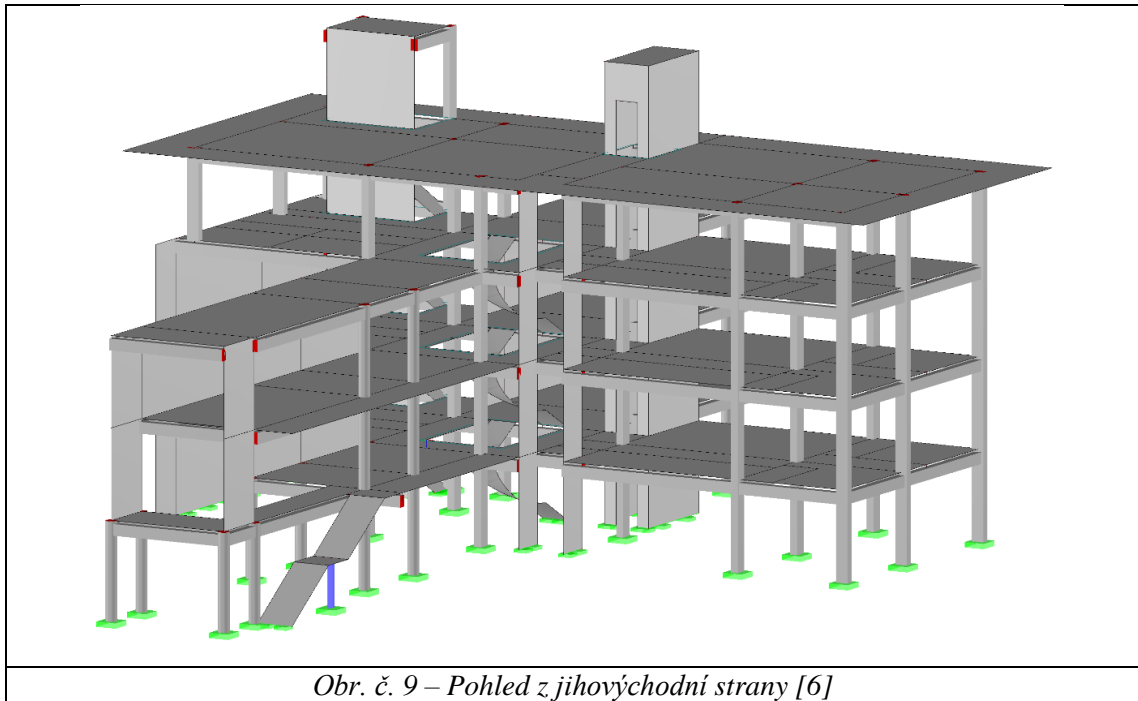
součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.1:

hodnoty sání větru  $w_e$  [kPa]:

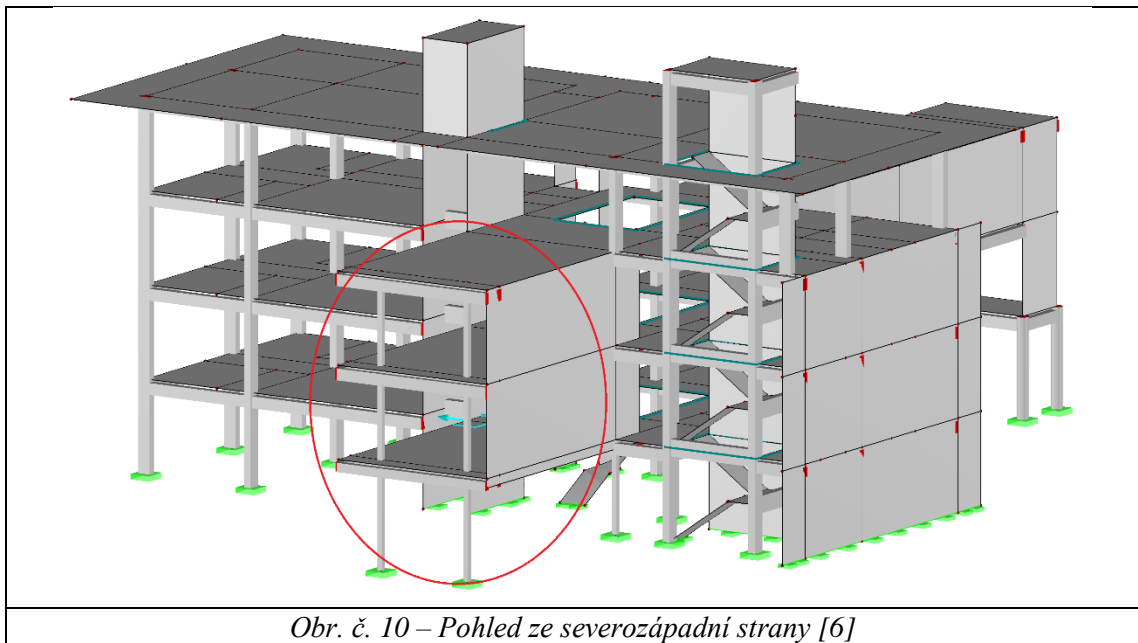
oblast	sání			tlak	
	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,80	-0,55
$w_e$	-0,91	-0,61	-0,38	0,61	-0,42

## 10. STATICKÝ VÝPOČET BEZ MIMOŘÁSNÉHO ZATÍŽENÍ

### 10.1. 3D MODEL V PROGRAMU DLUBAL RFEM



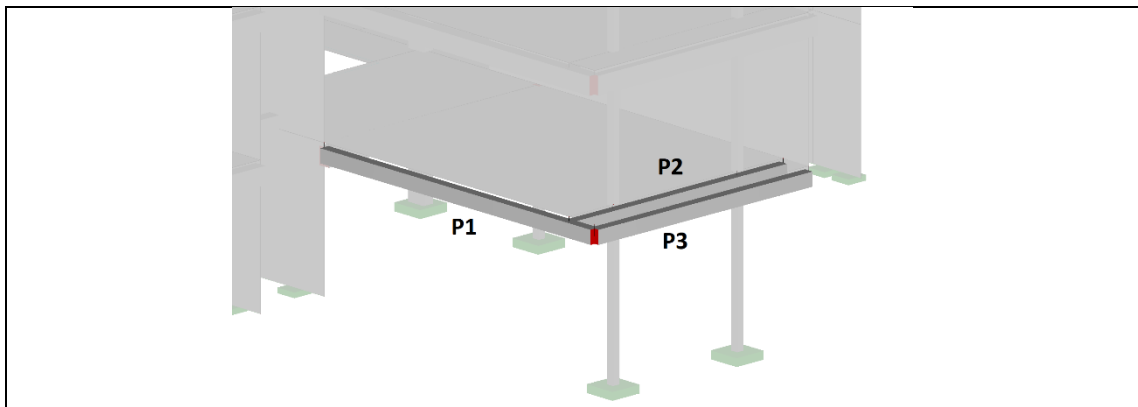
Obr. č. 9 – Pohled z jihovýchodní strany [6]



Obr. č. 10 – Pohled ze severozápadní strany [6]

Na obrázku č. 4 je vyznačena část objektu, kterému se bude následně věnovat podrobný statický výpočet. V tomto místě bude v další části této práce uvažováno mimořádné zatížení do sloupů konstrukce. Z vyznačené části objektu budou posuzovány 3 průvlaky detailně označeny v části posouzení, stropní deska 1.NP, 3 sloupy též detailně označeny v části posouzení a stěna, která je v 2. a 3.NP.

## 10.2. POSOUZENÍ PRŮVLAKŮ

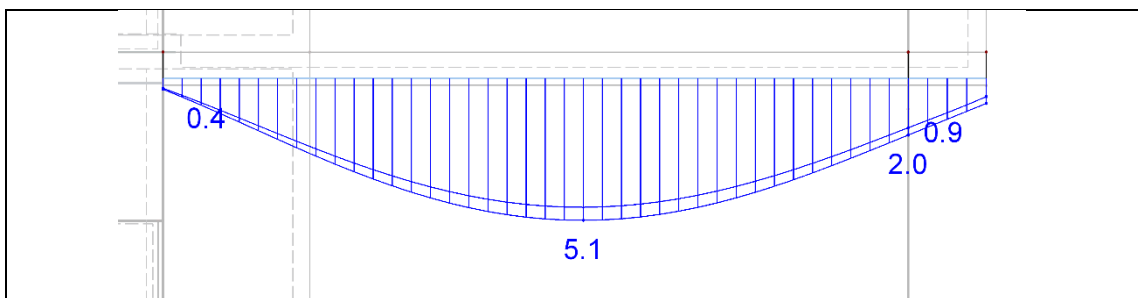


Obr. č. 11 – Posuzované průvlaky [7]

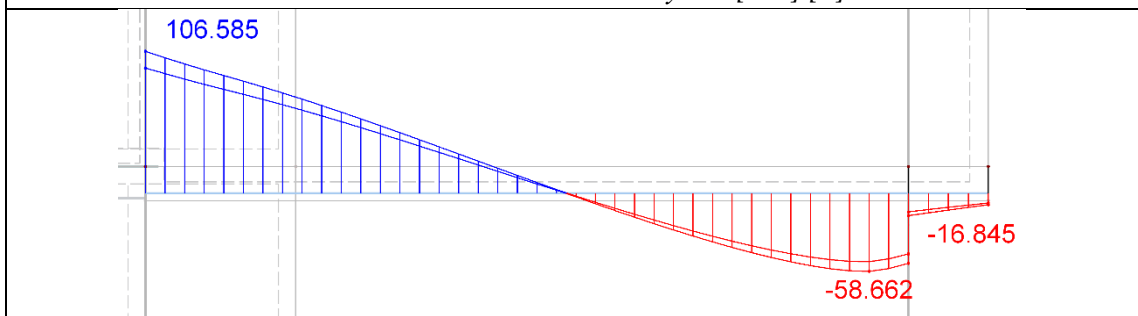
Na obrázku č. 5 jsou vyobrazeny průvlaky, které budou v rámci diplomové práce posouzeny a následně i přeposouzeny po zatížení konstrukce mimořádným zatížením.

### 10.2.1. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P1

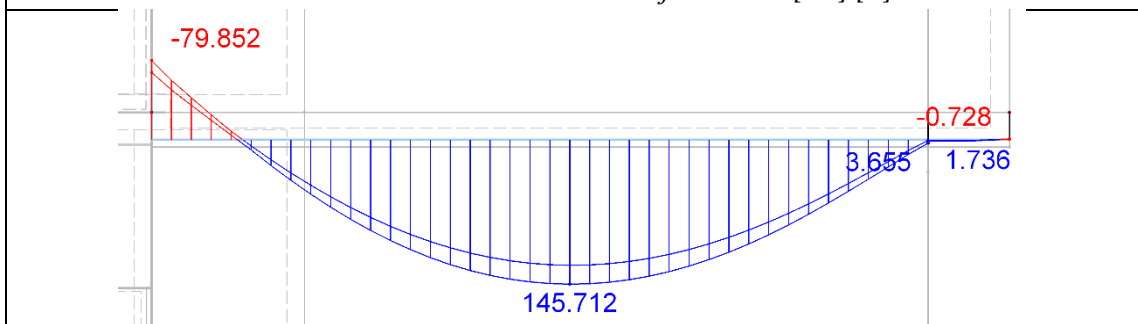
#### VNITŘNÍ SÍLY:



Obr. č. 12 – Průvlak P1 – Průhyb uz [mm] [6]



Obr. č. 13 – Průvlak P1 – Posouvající síla Vz [kN] [6]



Obr. č. 14 – Průvlak P1 – Ohybový moment My [kN.m] [6]

## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

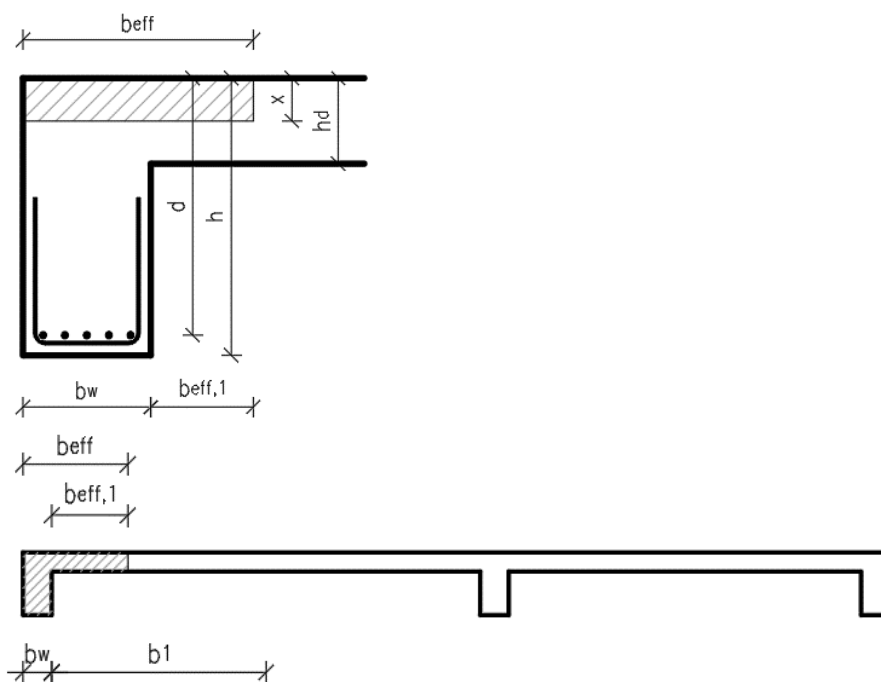
Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$		$f_{yd} =$	434,8 MPa	434783 kPa
$f_{cd} =$	16,67 MPa	16667 kPa			
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vnitřní síly:

$M_{Ed} =$	146 kN.m	Moment u spodního povrchu
$M_{Ed} =$	80 kN.m	Moment u horního povrchu
$V_{Ed} =$	107 kN	

### Návrh ohybové výztuže na moment u spodního povrchu:

#### Vstupní hodnoty:



$b_w =$	250 mm	0,25 m
$b_1 =$	3200 mm	3,2 m
$b_2 =$	0 mm	0 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	550 mm	0,55 m
$l_0 =$	8600 mm	8,6 m

#### Spolupůsobící šířka:

$b_{eff,1} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 =$	1500 mm	1,5 m
$b_{eff,2} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_2 + 0,1 * l_0 =$	0 mm	0 m
$b_{eff} =$	$b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$	1750 mm	1,75 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

$\varnothing_n = 16 \text{ mm}$  (nosná výztuž)

$\varnothing_s = 8 \text{ mm}$  (smykový výztuž)

$c = 25 \text{ mm}$

$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 509 \text{ mm} \quad 0,509 \text{ m}$

$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b_{eff} * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000666 \text{ m}^2 \quad 666 \text{ mm}^2$

Návrh ohybové výztuže:

$A_{s,min} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_w * d; 0,0013 * b_w * d \right) = 0,000170 \text{ m}^2 \quad 170 \text{ mm}^2$

$A_{s,max} = 0,04 * b_w * h = 0,0055 \text{ m}^2 \quad 5500 \text{ mm}^2$

$\varnothing = 16 \text{ mm}$

$A_{s,1} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$

Návrh:  $4 \times \varnothing 16$

$A_s = 0,000804 \text{ m}^2 \quad 804 \text{ mm}^2$

Posouzení ohybové výztuže:

$\lambda = 0,8$

$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b_{eff} * f_{cd}} = 0,0150 \text{ m} \quad 15,0 \text{ mm}$

$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,5030 \text{ m} \quad 503,0 \text{ mm}$

$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 176 \text{ kN.m}$

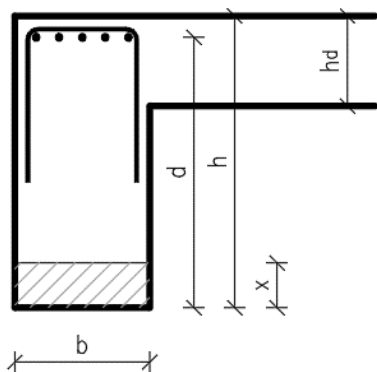
$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$

$146 \leq 176 \quad [\text{kN.m}]$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

Návrh ohybové výztuže na moment u horního povrchu:

Vstupní hodnoty:



$b = 250 \text{ mm} \quad 0,25 \text{ m}$

$h_d = 200 \text{ mm} \quad 0,2 \text{ m}$

$h = 550 \text{ mm} \quad 0,55 \text{ m}$

$l_0 = 8600 \text{ mm} \quad 8,6 \text{ m}$

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\varnothing_n &= 12 \text{ mm} && (\text{nosná výztuž}) \\ \varnothing_s &= 8 \text{ mm} && (\text{smykový výztuž}) \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 511 \text{ mm} && 0,511 \text{ m} \\ A_{s, \text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000374 \text{ m}^2 && 374 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s, \text{min}} &= \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d \right) = 0,000170 \text{ m}^2 && 170 \text{ mm}^2 \\ A_{s, \text{max}} &= 0,04 * b * h = 0,0055 \text{ m}^2 && 5500 \text{ mm}^2 \\ \varnothing &= 12 \text{ mm} \\ A_{s, 1} &= 0,000113 \text{ m}^2 && 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{4 \times \varnothing 12} \\ A_s &= 0,000452 \text{ m}^2 && 452 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = 0,0590 \text{ m} && 59,0 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,4874 \text{ m} && 487,4 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z = 96 \text{ kN.m} \\ M_{Ed} &\leq M_{Rd} && [\text{kN.m}] \\ 80 &\leq 96 && [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

#### Návrh smykové výztuže:

##### Únosnost tlačené diagonály:

$$\begin{aligned}\cot \Phi &= 1,3 \\ v &= 0,6 * \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,54 \\ V_{Rd, \text{max}} &= v * f_{cd} * b_w * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 547 \text{ kN} \\ V_{Ed} &\leq V_{Rd, \text{max}} && [\text{kN}] \\ 107 &\leq 547 && [\text{kN}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

#### Návrh třmínků:

$$\begin{aligned}\varnothing &= 8 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ A_{s, w} &= 0,000101 \text{ m}^2 && 101 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{\text{Dvoustřížné třmínky } \varnothing 8}\end{aligned}$$

Osová vzdálenost třmínek v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,27 \text{ m} \quad 267 \text{ mm}$$
$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,38175 \text{ m} \quad 382 \text{ mm}$$
$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínek v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,382 \text{ m} \quad 382 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w} * s_1 = 0,201\%$$
$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,04\%$$
$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0025\%$$
$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0025\% \leq 0,201\% \leq 1,04\%$$

**VYHOVUJE**

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 143 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$
$$107 \leq 143 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

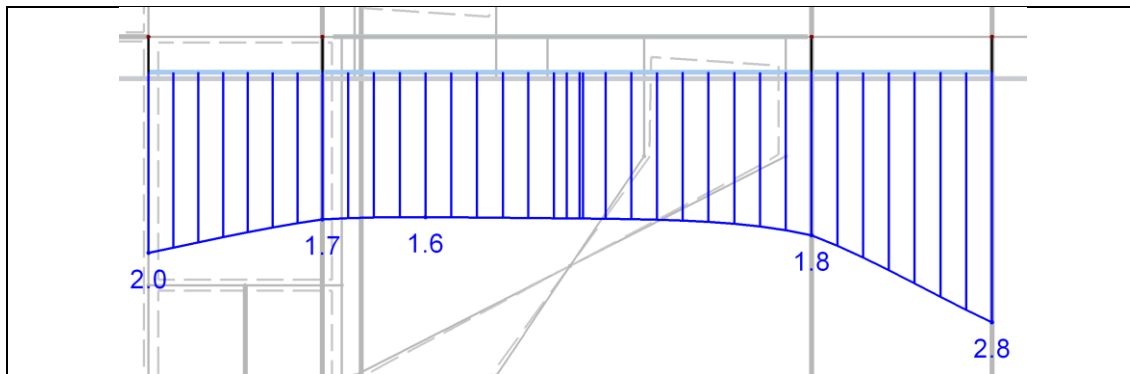
Posouzení průhybu:

$$u_{z,1} = 5,1 \text{ mm} \quad l_0 = 8600 \text{ mm}$$
$$u_z = 4 * u_{z,1} \quad u_{lim} = l_0 / 400$$
$$u_z = 20,4 \text{ mm} \quad u_{lim} = 21,5 \text{ mm}$$
$$u_z \leq u_{lim} \quad [\text{mm}]$$
$$20,4 \leq 21,5 \quad [\text{mm}]$$

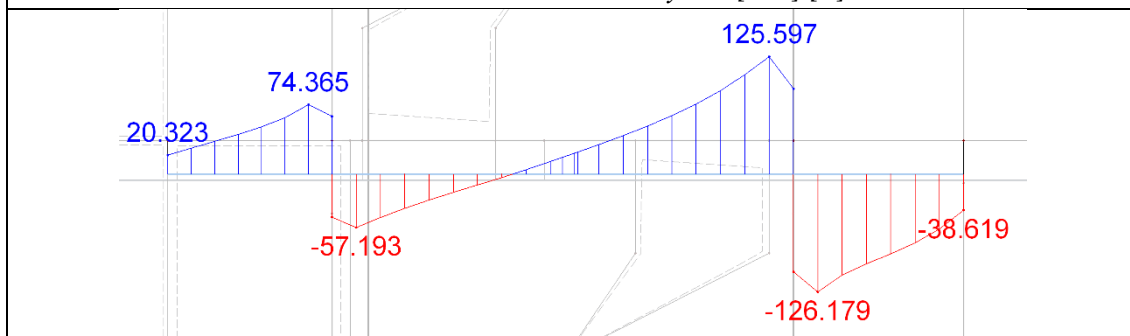
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

## 10.2.2. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P2

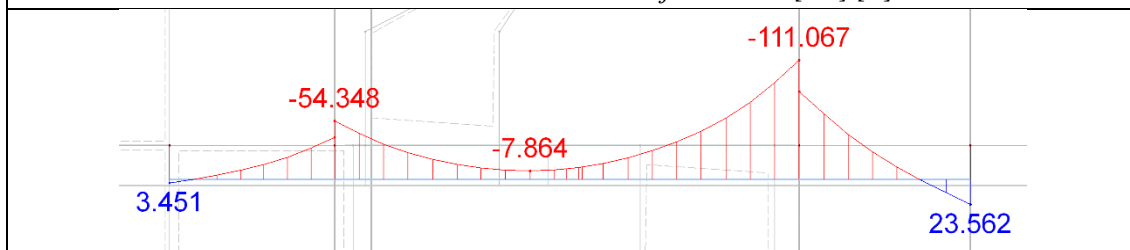
### VNITŘNÍ SÍLY:



Obr. č. 15 – Průvlak P2 – Průhyb uz [mm] [6]



Obr. č. 16 – Průvlak P2 – Posouvající síla Vz [kN] [6]



Obr. č. 17 – Průvlak P2 – Ohybový moment My [kN.m] [6]



## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

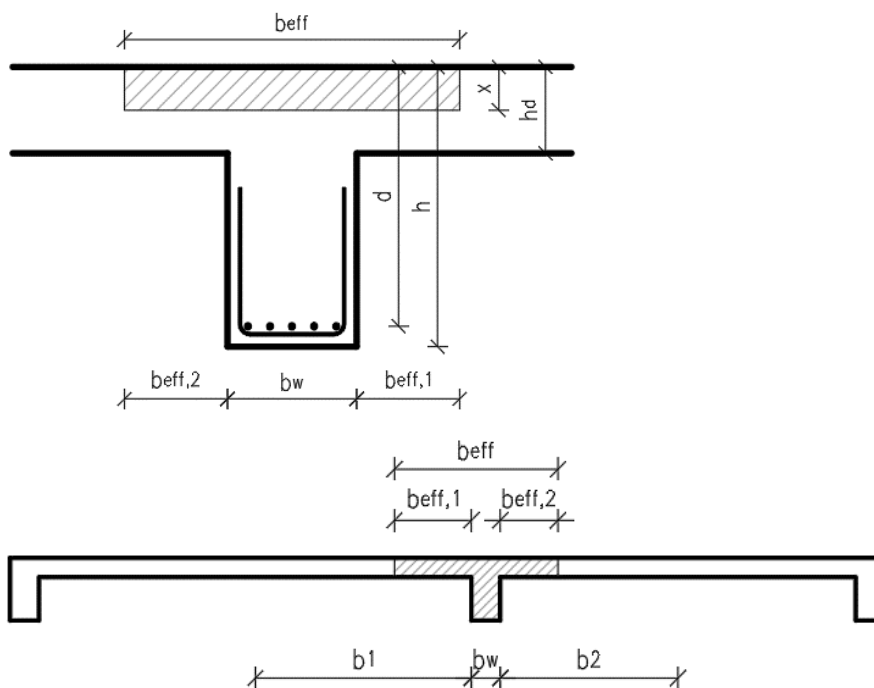
Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$		$f_{yd} =$	434,8 MPa	434783 kPa
$f_{cd} =$	16,67 MPa	16667 kPa			
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vnitřní síly:

$M_{Ed} =$	24 kN.m	Moment u spodního povrchu
$M_{Ed} =$	112 kN.m	Moment u horního povrchu
$V_{Ed} =$	127 kN	

### Návrh ohybové výztuže na moment u spodního povrchu:

#### Vstupní hodnoty:



$b_w =$	250 mm	0,25 m
$b_1 =$	3950 mm	3,95 m
$b_2 =$	400 mm	0,4 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	550 mm	0,55 m
$l_0 =$	6500 mm	6,5 m

#### Spolupůsobící šířka:

$b_{eff,1} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 =$	1300 mm	1,3 m
$b_{eff,2} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_2 + 0,1 * l_0 =$	730 mm	0,73 m
$b_{eff} =$	$b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$	2280 mm	2,28 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

$\varnothing_n = 12 \text{ mm}$  (nosná výztuž)

$\varnothing_s = 8 \text{ mm}$  (smykový výztuž)

$c = 25 \text{ mm}$

$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 511 \text{ mm} \quad 0,511 \text{ m}$

$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b_{eff} * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000108 \text{ m}^2 \quad 108 \text{ mm}^2$

Návrh ohybové výztuže:

$A_{s,min} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_w * d; 0,0013 * b_w * d \right) = 0,000170 \text{ m}^2 \quad 170 \text{ mm}^2$

$A_{s,max} = 0,04 * b_w * h = 0,0055 \text{ m}^2 \quad 5500 \text{ mm}^2$

$\varnothing = 12 \text{ mm}$

$A_{s,1} = 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2$

Návrh:  $2 \times \varnothing 12$

$A_s = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$

Posouzení ohybové výztuže:

$\lambda = 0,8$

$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b_{eff} * f_{cd}} = 0,0032 \text{ m} \quad 3,2 \text{ mm}$

$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,5097 \text{ m} \quad 509,7 \text{ mm}$

$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 50 \text{ kN.m}$

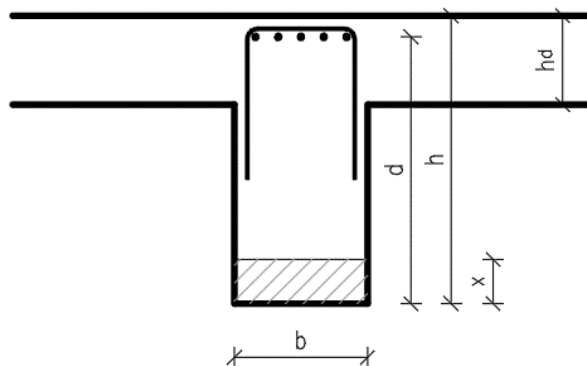
$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$

$24 \leq 50 \quad [\text{kN.m}]$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

**Návrh ohybové výztuže na moment u horního povrchu:**

Vstupní hodnoty:



$b = 250 \text{ mm} \quad 0,25 \text{ m}$

$h_d = 200 \text{ mm} \quad 0,2 \text{ m}$

$h = 550 \text{ mm} \quad 0,55 \text{ m}$

$l_0 = 6500 \text{ mm} \quad 6,5 \text{ m}$

### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\varnothing_n = 16 \text{ mm} \quad (\text{nosná výztuž})$$

$$\varnothing_s = 8 \text{ mm} \quad (\text{smykový výztuž})$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 509 \text{ mm} \quad 0,509 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{req}} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000535 \text{ m}^2 \quad 535 \text{ mm}^2$$

### Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s,\text{min}} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d \right) = 0,000170 \text{ m}^2 \quad 170 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 * b * h = 0,0055 \text{ m}^2 \quad 5500 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing = 16 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $3 \times \varnothing 16$

$$A_s = 0,000603 \text{ m}^2 \quad 603 \text{ mm}^2$$

### Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = 0,0787 \text{ m} \quad 78,7 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,4775 \text{ m} \quad 477,5 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 125 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$112 \leq 125 \quad [\text{kN.m}]$$

### **NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh smykové výztuže:

#### Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

$$v = 0,6 * \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,54$$

$$V_{Rd,\text{max}} = v * f_{cd} * b_w * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 554 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,\text{max}} \quad [\text{kN}]$$

$$127 \leq 554 \quad [\text{kN}]$$

### **NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

### Návrh třmíneků:

$$\varnothing = 8 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{s_w} = 0,000101 \text{ m}^2 \quad 101 \text{ mm}^2$$

Návrh: Dvoustřížné třmínky  $\varnothing 8$

Osová vzdálenost třmínek v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot\Phi \leq 0,23 \text{ m} \quad 228 \text{ mm}$$
$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,38325 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$
$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínek v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,383 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w} * s_1 = 0,201\%$$
$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,04\%$$
$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0025\%$$
$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0025\% \leq 0,201\% \leq 1,04\%$$

**VYHOVUJE**

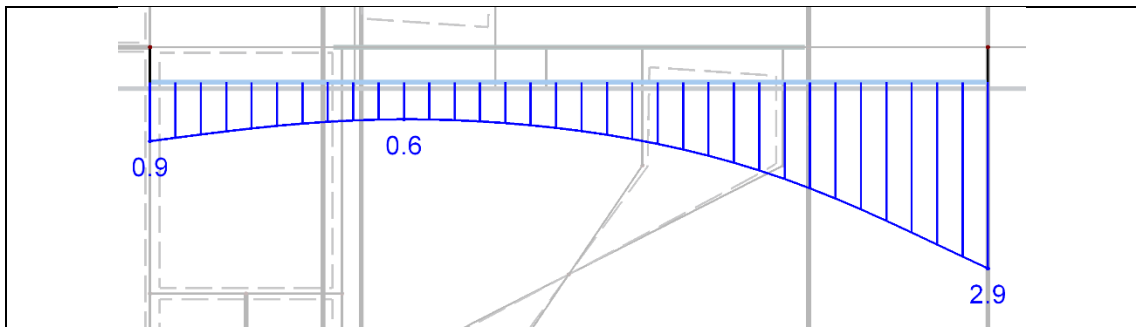
Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot\Phi = 145 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$
$$127 \leq 145 \quad [\text{kN}]$$

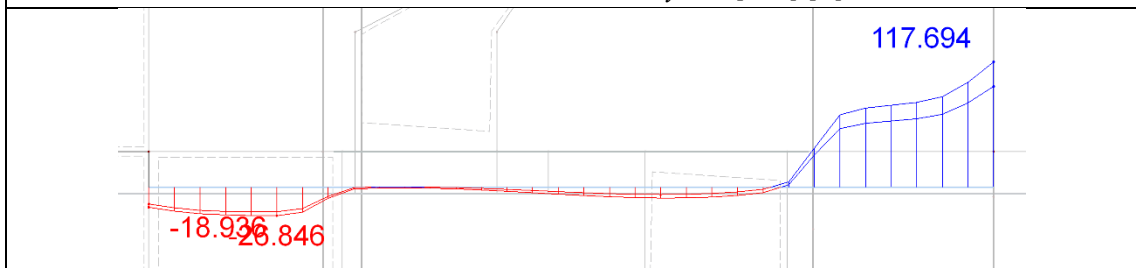
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### 10.2.3. POSOUZENÍ PRŮVLAKU P3

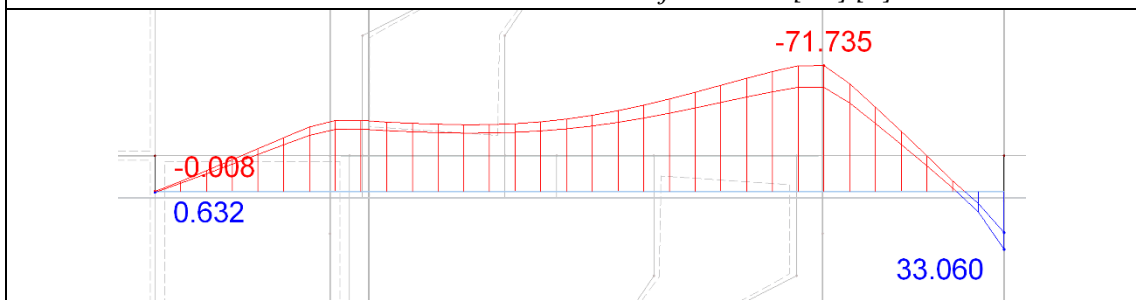
#### VNITŘNÍ SÍLY:



Obr. č. 18 – Průvlak P3 – Průhyb uz [mm] [6]



Obr. č. 19 – Průvlak P3 – Posouvající síla Vz [kN] [6]



Obr. č. 20 – Průvlak P3 – Ohybový moment My [kN.m] [6]

## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

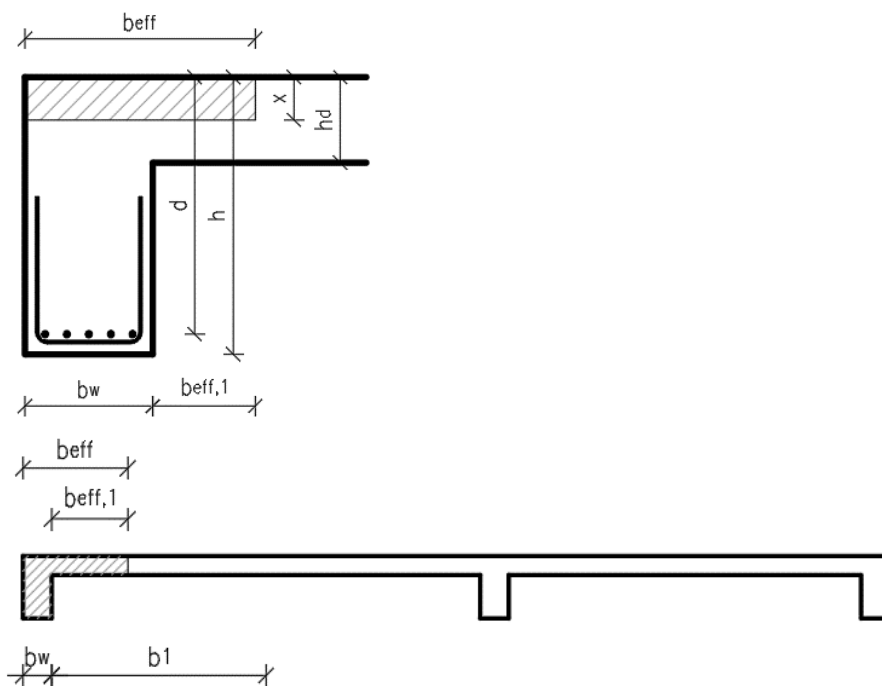
Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$		$f_{yd} =$	434,8 MPa	434783 kPa
$f_{cd} =$	16,67 MPa	16667 kPa			
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vnitřní síly:

$M_{Ed} =$	34 kN.m	Moment u spodního povrchu
$M_{Ed} =$	72 kN.m	Moment u horního povrchu
$V_{Ed} =$	118 kN	

### Návrh ohybové výztuže na moment u spodního povrchu:

#### Vstupní hodnoty:



$b_w =$	200 mm	0,2 m
$b_1 =$	400 mm	0,4 m
$b_2 =$	0 mm	0 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	550 mm	0,55 m
$l_0 =$	6500 mm	6,5 m

#### Spolupůsobící šířka:

$b_{eff,1} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 =$	730 mm	0,73 m
$b_{eff,2} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_2 + 0,1 * l_0 =$	0 mm	0 m
$b_{eff} =$	$b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$	930 mm	0,93 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\varnothing_n = 12 \text{ mm} \quad (\text{nosná výztuž})$$

$$\varnothing_s = 8 \text{ mm} \quad (\text{smykový výztuž})$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 511 \text{ mm} \quad 0,511 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{req}} = \frac{f_{cd} * b_{\text{eff}} * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b_{\text{eff}} * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000154 \text{ m}^2 \quad 154 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s,\text{min}} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_w * d; 0,0013 * b_w * d \right) = 0,000136 \text{ m}^2 \quad 136 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 * b_w * h = 0,0044 \text{ m}^2 \quad 4400 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing = 12 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $\underline{2 \times \varnothing 12}$

$$A_s = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$$

Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b_{\text{eff}} * f_{cd}} = 0,0079 \text{ m} \quad 7,9 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,5078 \text{ m} \quad 507,8 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 50 \text{ kN.m}$$

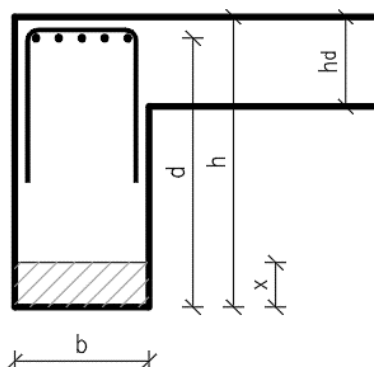
$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$34 \leq 50 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

Návrh ohybové výztuže na moment u horního povrchu:

Vstupní hodnoty:



$$b = 200 \text{ mm} \quad 0,2 \text{ m}$$

$$h_d = 200 \text{ mm} \quad 0,2 \text{ m}$$

$$h = 550 \text{ mm} \quad 0,55 \text{ m}$$

$$l_0 = 6500 \text{ mm} \quad 6,5 \text{ m}$$

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\varnothing_n &= 12 \text{ mm} && (\text{nosná výztuž}) \\ \varnothing_s &= 8 \text{ mm} && (\text{smykový výztuž}) \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 511 \text{ mm} && 0,511 \text{ m} \\ A_{s,\text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000339 \text{ m}^2 && 339 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,\text{min}} &= \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d \right) = 0,000136 \text{ m}^2 && 136 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\text{max}} &= 0,04 * b * h = 0,0044 \text{ m}^2 && 4400 \text{ mm}^2 \\ \varnothing &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 && 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{4 \times \varnothing 12} \\ A_s &= 0,000452 \text{ m}^2 && 452 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = 0,0738 \text{ m} && 73,8 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,4815 \text{ m} && 481,5 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z = 95 \text{ kN.m} \\ M_{Ed} &\leq M_{Rd} && [\text{kN.m}] \\ 72 &\leq 95 && [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

#### **NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

#### Návrh smykové výztuže:

#### Únosnost tlačené diagonály:

$$\begin{aligned}\cot \Phi &= 1,3 \\ v &= 0,6 * \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,54 \\ V_{Rd,\text{max}} &= v * f_{cd} * b_w * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 442 \text{ kN} \\ V_{Ed} &\leq V_{Rd,\text{max}} && [\text{kN}] \\ 118 &\leq 442 && [\text{kN}]\end{aligned}$$

#### **NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYVYŽTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

#### Návrh třmíneků:

$$\begin{aligned}\varnothing &= 8 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ A_{sw} &= 0,000101 \text{ m}^2 && 101 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{\text{Dvoustřížné třmínky } \varnothing 8}\end{aligned}$$



Osová vzdálenost třmínek v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,24 \text{ m} \quad 245 \text{ mm}$$
$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,38325 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$
$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínek v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,383 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w} * s_1 = 0,251\%$$
$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,04\%$$
$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0025\%$$
$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0025\% \leq 0,251\% \leq 1,04\%$$

**VYHOVUJE**

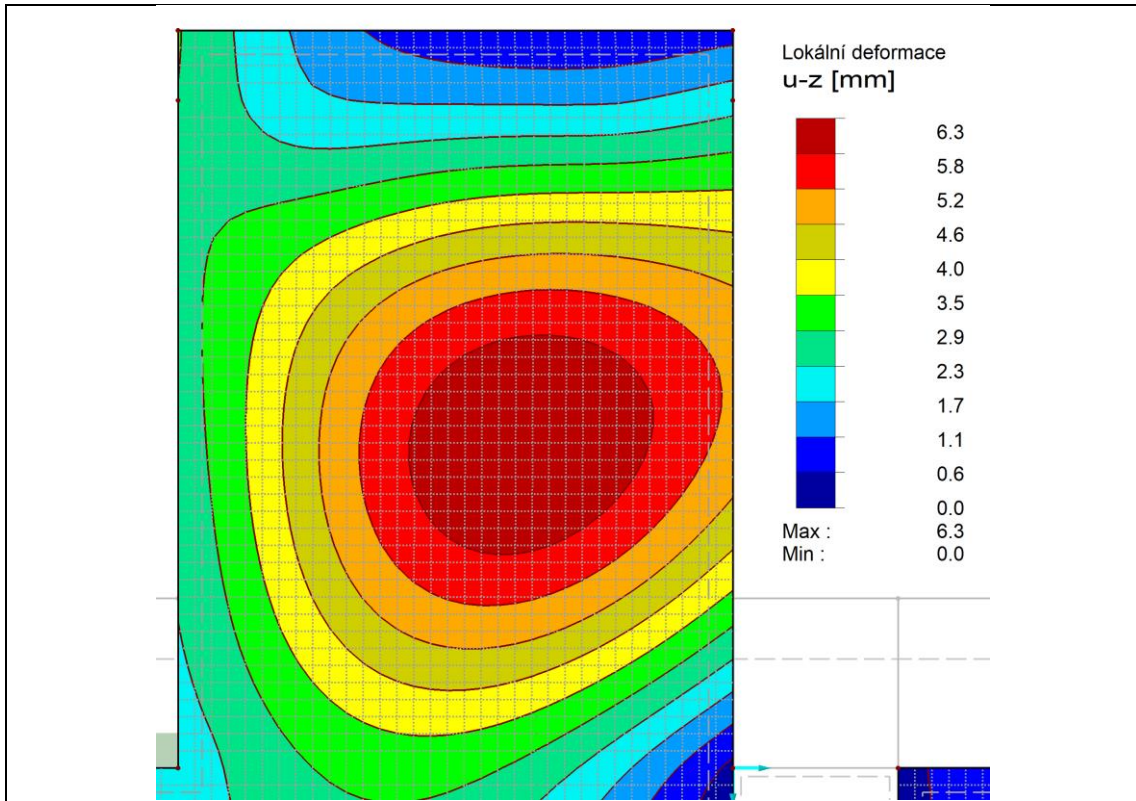
Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 144 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$
$$118 \leq 144 \quad [\text{kN}]$$

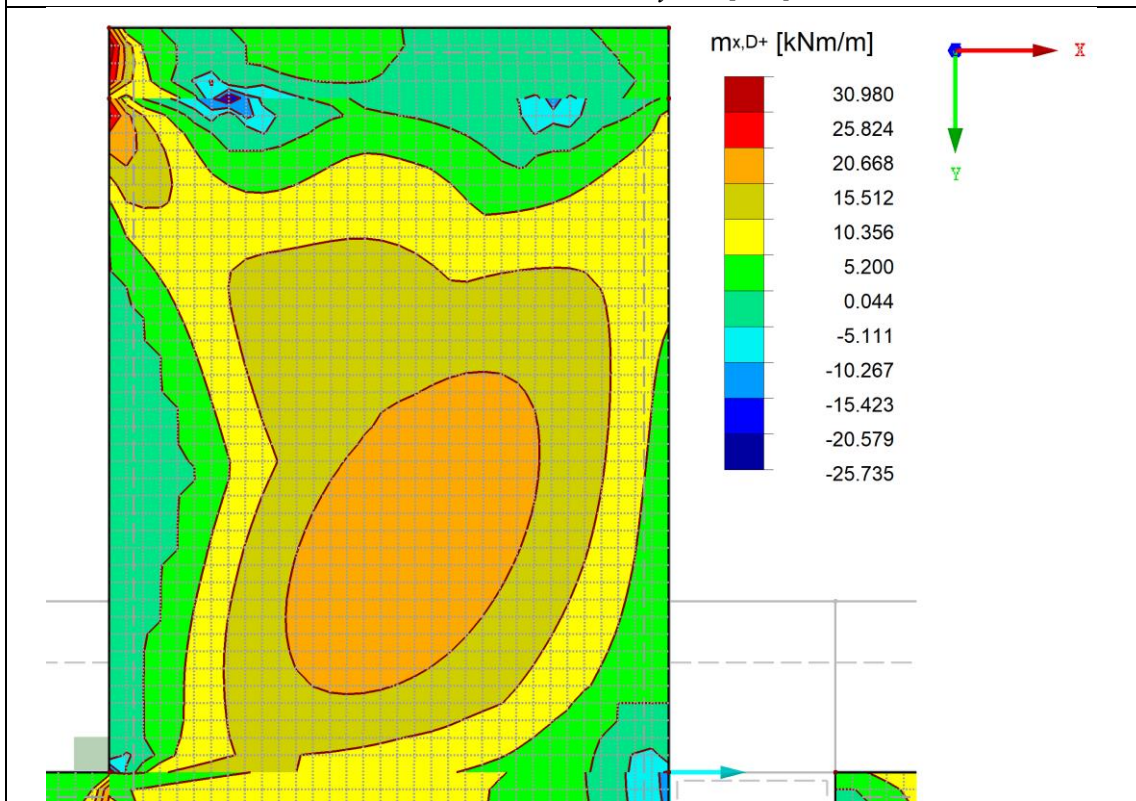
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### 10.3. POSOUZENÍ DESKY

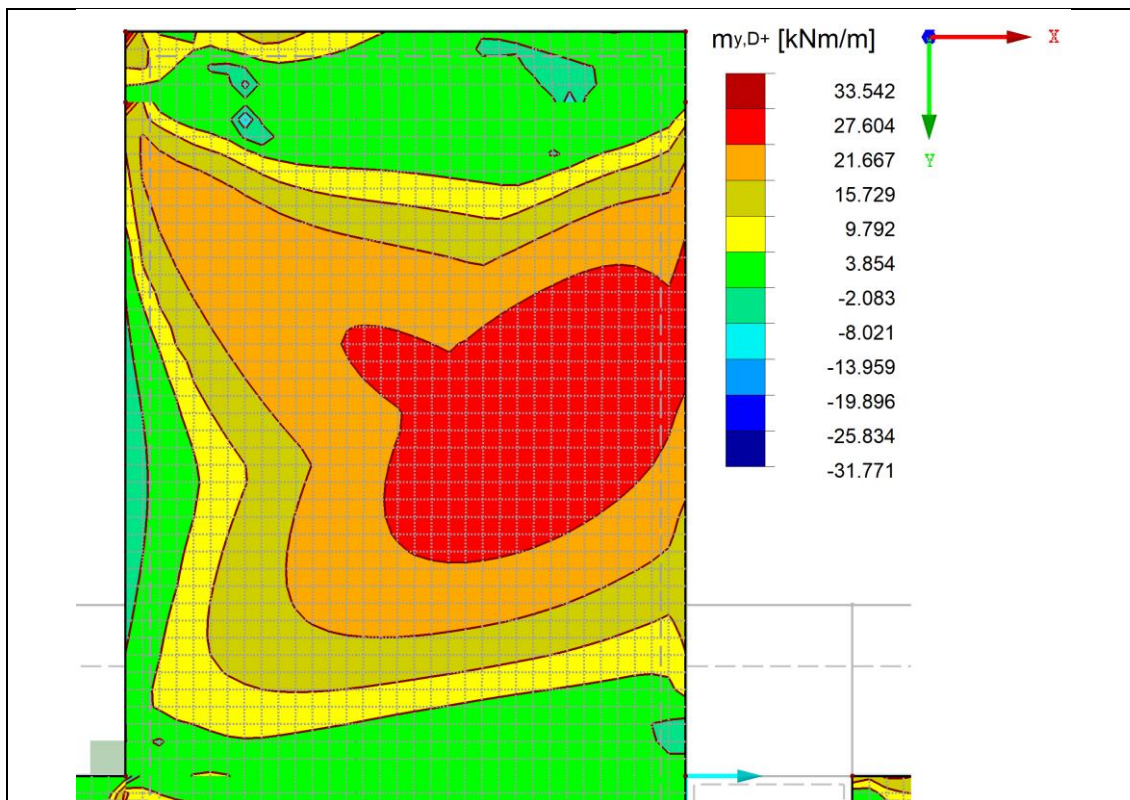
#### VNITŘNÍ SÍLY:



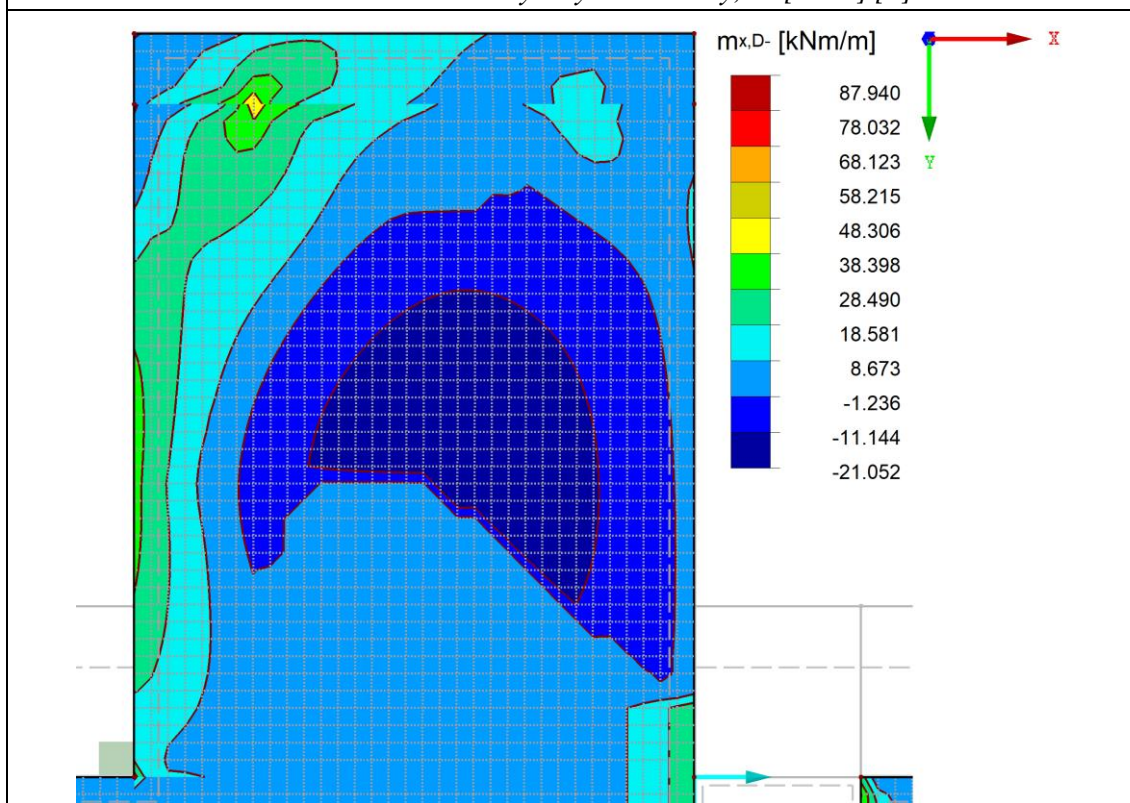
Obr. č. 21 – Deska – Průhyb uz [mm]



Obr. č. 22 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d+}$  [kN.m] [6]

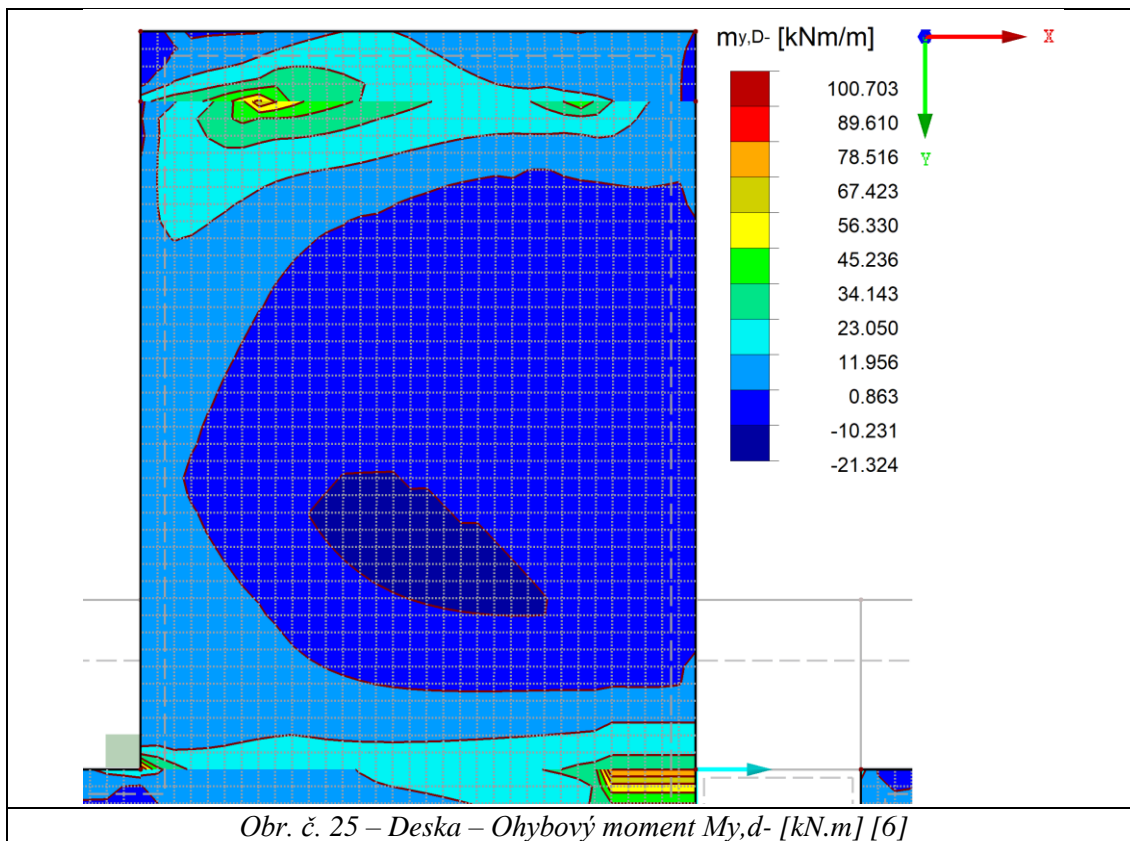


Obr. č. 23 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d+}$  [kN.m] [6]



Obr. č. 24 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d-}$  [kN.m] [6]





### POSOUZENÍ PRŮHYBU:

Průhyb bude posouzen přibližnou metodou

#### Posouzení průhybu:

$$u_{z,1} = 6,3 \text{ mm}$$

$$u_z = 4 * u_{z,1}$$

$$u_z = 25,2 \text{ mm}$$

$$l_0 = 6500 \text{ mm}$$

$$u_{lim} = l_0/250$$

$$u_{lim} = 26 \text{ mm}$$

$$u_z \leq u_{lim} \quad [\text{mm}]$$

$$25,2 \leq 26 \quad [\text{mm}]$$

### NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE

## NAVRŽENÍ ZÁKLADNÍHO RASTRU VÝZTUŽE:

Základní rastr výztuže bude navržen na moment u dolního povrchu desky v obou směrech. Tento rastr pak bude použit u obou povrchů i směr. desky. Dále budou navrženy příložky v místech, kde je základní rastr nedostačující.

### Návrh ohybové výztuže ve směru x (spodní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{x,D,+} &= 27 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 169 \text{ mm} \quad 0,169 \text{ m} \\ A_{s,req} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{x,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,req} &= 0,000377 \text{ m}^2 \quad 377 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,min} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,min} &= 0,000255 \text{ m}^2 \quad 255 \text{ mm}^2 \\ A_{s,max} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,max} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad 4 \times \emptyset 12 \quad \emptyset 12 \text{ á } 250 \text{ mm} \\ A_s &= 0,000452 \text{ m}^2 \quad 452 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0123 \text{ m} \quad 12,3 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1641 \text{ m} \quad 164,1 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 32 \text{ kN.m} \\ M_{x,D,+} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 27 &\leq 32 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh ohybové výztuže ve směru y (spodní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{y,D,+} &= 28 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 157 \text{ mm} \quad 0,157 \text{ m} \\ A_{s,req} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,req} &= 0,000423 \text{ m}^2 \quad 423 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,min} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,min} &= 0,000236 \text{ m}^2 \quad 236 \text{ mm}^2 \\ A_{s,max} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,max} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad 4 \times \emptyset 12 \quad \emptyset 12 \text{ á } 250 \text{ mm} \\ A_s &= 0,000452 \text{ m}^2 \quad 452 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0123 \text{ m} \quad 12,3 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1521 \text{ m} \quad 152,1 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 30 \text{ kN.m} \\ M_{y,D,+} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 28 &\leq 30 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

## NAVRŽENÍ PŘÍLOŽEK:

Navržení příložek bude provedeno ve třech místech u horního povrchu desky: Pro ohybový moment o velikosti 45 kN.m ve směru osy x nad průvlakem, 55 kN.m ve směru osy y nad průvlakem a 75 kN.m ve směru osy y u podepření stěnou od výtahové šachty.

### Návrh ohybové výztuže ve směru x (horní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{x,D,-} &= 45 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 169 \text{ mm} \quad 0,169 \text{ m} \\ A_{s,\text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{x,D,-}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,\text{req}} &= 0,000639 \text{ m}^2 \quad 639 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,\text{min}} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,\text{min}} &= 0,000255 \text{ m}^2 \quad 255 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\text{max}} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,\text{max}} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{8 \times \emptyset 12} \quad \underline{\emptyset 12 \text{ á } 125 \text{ mm}} \\ A_s &= 0,000905 \text{ m}^2 \quad 905 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0246 \text{ m} \quad 24,6 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1592 \text{ m} \quad 159,2 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 63 \text{ kN.m} \\ M_{x,D,-} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 45 &\leq 63 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh ohybové výztuže ve směru y (horní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{y,D,-} &= 55 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 157 \text{ mm} \quad 0,157 \text{ m} \\ A_{s,\text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,-}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,\text{req}} &= 0,000857 \text{ m}^2 \quad 857 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,\text{min}} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,\text{min}} &= 0,000236 \text{ m}^2 \quad 236 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\text{max}} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,\text{max}} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{8 \times \emptyset 12} \quad \underline{\emptyset 12 \text{ á } 125 \text{ mm}} \\ A_s &= 0,000905 \text{ m}^2 \quad 905 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0246 \text{ m} \quad 24,6 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1472 \text{ m} \quad 147,2 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 58 \text{ kN.m} \\ M_{y,D,-} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 55 &\leq 58 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

**Návrh ohybové výztuže ve směru y (horní povrch):****Minimální plocha ohybové výztuže:**

$$\begin{aligned}
M_{y,D,-} &= 75 \text{ kN.m} \\
\emptyset &= 16 \text{ mm} \\
c &= 25 \text{ mm} \\
d &= h_d - c - \emptyset - \frac{\emptyset}{2} \\
d &= 151 \text{ mm} \quad 0,151 \text{ m} \\
A_{s,req} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\
A_{s,req} &= 0,001256 \text{ m}^2 \quad 1256 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

**Návrh ohybové výztuže:**

$$\begin{aligned}
A_{s,min} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\
A_{s,min} &= 0,000227 \text{ m}^2 \quad 227 \text{ mm}^2 \\
A_{s,max} &= 0,04 * b * h_d \\
A_{s,max} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\
\emptyset &= 16 \text{ mm} \\
A_{s,1} &= 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2 \\
\text{Návrh:} & \quad \underline{8 \times \emptyset 16} \quad \underline{\emptyset 16 \text{ á } 125 \text{ mm}} \\
A_s &= 0,001608 \text{ m}^2 \quad 1608 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

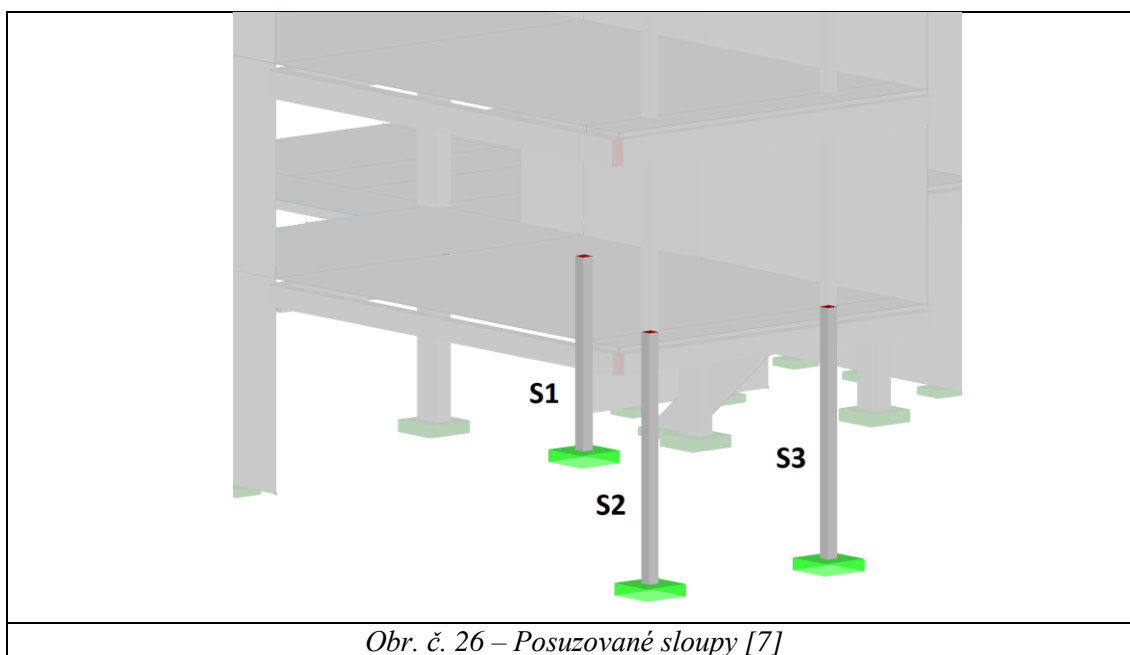
**Posouzení ohybové výztuže:**

$$\begin{aligned}
\lambda &= 0,8 \\
x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\
x &= 0,0437 \text{ m} \quad 43,7 \text{ mm} \\
z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\
z &= 0,1335 \text{ m} \quad 133,5 \text{ mm} \\
M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\
M_{Rd} &= 93 \text{ kN.m} \\
M_{y,D,-} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\
75 &\leq 93 \quad [\text{kN.m}]
\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

U posledního posuzovaného místa desky je potřeba ve směru osy y u horního povrchu vynechat základní rastr a vložit výztuž  $\emptyset 16$  á 125 mm.

## 10.4. POSOUZENÍ SLOUPŮ

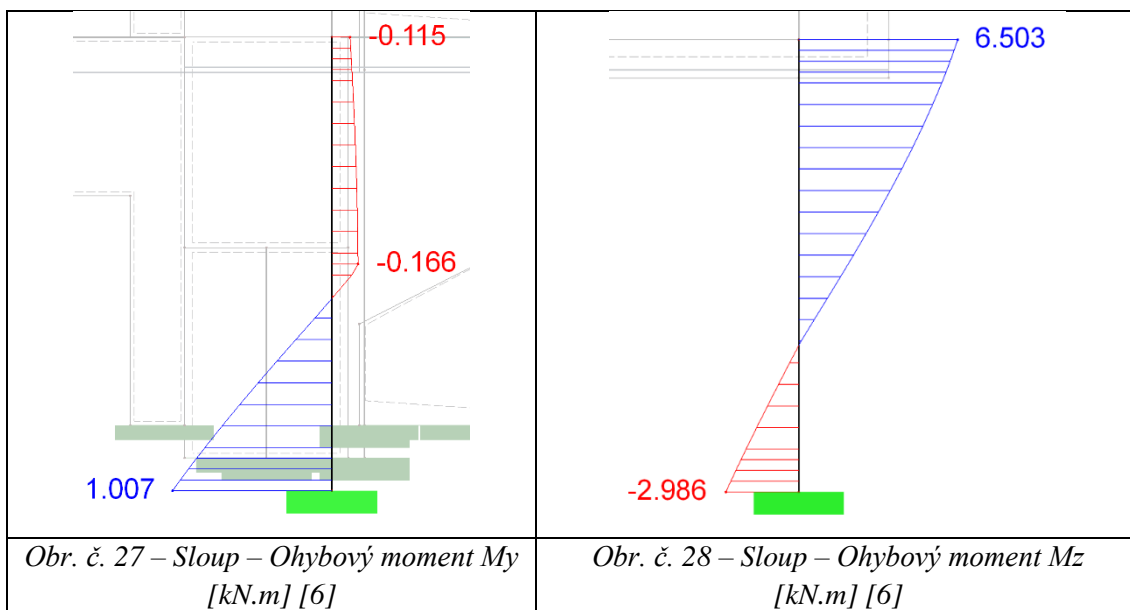


Na obrázku č. 21 jsou vyobrazeny sloupy, které budou v rámci diplomové práce posouzeny a následně i přeposouzeny po zatížení konstrukce mimořádným zatížením. Vzhledem k téměř identickým vnitřním silám ve všech posuzovaných sloupech, budou všechny sloupy navrženy podle sloupu S2.

Výpočet sloupů byl vyvinut na základě: ČSN P ENV 1992-1-1 [8]

### 10.4.1. POSOUZENÍ SLOUPU S2

#### VNITŘNÍ SÍLY:



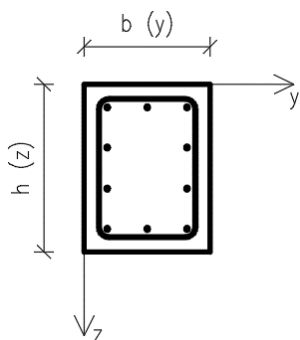


## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	434,8 MPa
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$	16666,67 MPa		434,8 MPa	434783 kPa
		16666,67 kPa	$E_s =$	200 GPa	
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vstupní hodnoty:



$h =$	210 mm	0,21 m
$b =$	210 mm	0,21 m
$L =$	3500 mm	3,5 m
$A_c =$	44100 mm <sup>2</sup>	0,0441 m <sup>2</sup>
$u =$	840 mm	0,84 m

### Vnitřní síly:

$N_{Ed} =$	-650 kN	
$M_{y,Ed,h} =$	-1,3 kN.m	Hlava sloupu
$M_{y,Ed,p} =$	1 kN.m	Pata sloupu
$M_{y,kv} =$	0,6 kN.m	Kvazistálá kombinace
$M_{z,Ed,h} =$	6,5 kN.m	Hlava sloupu
$M_{z,Ed,p} =$	-3,6 kN.m	Pata sloupu
$M_{z,kv} =$	4 kN.m	Kvazistálá kombinace

### Návrh ohybové výztuže:

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$\emptyset_n =$	12 mm	(nosná výztuž)
$\emptyset_s =$	12 mm	(smykový výztuž)
$c =$	40 mm	

$$d_y = h - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2}$$

$$d_y = 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m}$$

$$d_z = b - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2}$$

$$d_z = 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m}$$

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

$$A_{s,req,y} = 0,000020 \text{ m}^2 \quad 20 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req,z} = \frac{f_{cd} * h * d_z}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{z,Ed}}{h * d_z^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req,z} = 0,000103 \text{ m}^2 \quad 103 \text{ mm}^2$$

### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned} A_{s,\min,y} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_y; 0,0013 * b * d_y\right) & A_{s,\min,z} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d_z; 0,0013 * h * d_z\right) \\ A_{s,\min,y} &= 0,000043 \text{ m}^2 & & 43 \text{ mm}^2 & A_{s,\min,z} &= 0,000043 \text{ m}^2 & & 43 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\max,y} &= 0,04 * b * h & & & A_{s,\max,z} &= 0,04 * b * h & & \\ A_{s,\max,y} &= 0,001764 \text{ m}^2 & & 1764 \text{ mm}^2 & A_{s,\max,z} &= 0,001764 \text{ m}^2 & & 1764 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} & & & \emptyset &= 12 \text{ mm} & & \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 & & 113 \text{ mm}^2 & A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 & & 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \underline{2 \times \emptyset 12} & & & \text{Návrh:} & \underline{2 \times \emptyset 12} & & \\ A_{s,y} &= 0,000226 \text{ m}^2 & & 226 \text{ mm}^2 & A_{s,z} &= 0,000226 \text{ m}^2 & & 226 \text{ mm}^2 \\ A_s &= 2 * A_{s,y} + 2 * A_{s,z} - 4 * A_{s,1} & & & & & & \\ A_s &= 0,000452 \text{ m}^2 & & 452 \text{ mm}^2 & & & & \end{aligned}$$

### Vzpěrná délka:

Vetknutí / vetknutí

$$\begin{aligned} L_{0,y} &= L * (1/2) & & & L_{0,z} &= L * (1/2) \\ L_{0,y} &= 1750 \text{ mm} & & 1,75 \text{ m} & L_{0,z} &= 1750 \text{ mm} & & 1,75 \text{ m} \end{aligned}$$

### Imperfekce:

$$\begin{aligned} \alpha_h &= \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \\ \alpha_h &= 1,00 \\ \alpha_m &= 1,00 \\ \Theta_0 &= 0,005 \\ \Theta_i &= \Theta_0 * \alpha_m * \alpha_h \\ \Theta_i &= 0,005 \\ e_i &= \Theta_i * L_0 / 2 \\ e_i &= 0,0044 \text{ m} \end{aligned}$$

### Momenty prvního řádu vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned} M_{y,0,Ed,h+} &= M_{y,Ed,h+} * e_i * |N_{Ed}| & M_{z,0,Ed,h+} &= M_{z,Ed,h+} * e_i * |N_{Ed}| \\ M_{y,0,Ed,h+} &= 1,54 \text{ kN.m} & M_{z,0,Ed,h+} &= 9,34 \text{ kN.m} \\ M_{y,0,Ed,p+} &= M_{y,Ed,p+} * e_i * |N_{Ed}| & M_{z,0,Ed,p+} &= M_{z,Ed,p+} * e_i * |N_{Ed}| \\ M_{y,0,Ed,p+} &= 3,84 \text{ kN.m} & M_{z,0,Ed,p+} &= -0,76 \text{ kN.m} \\ M_{y,0,Ed,h-} &= M_{y,Ed,h-} * e_i * |N_{Ed}| & M_{z,0,Ed,h-} &= M_{z,Ed,h-} * e_i * |N_{Ed}| \\ M_{y,0,Ed,h-} &= -4,14 \text{ kN.m} & M_{z,0,Ed,h-} &= 3,66 \text{ kN.m} \\ M_{y,0,Ed,p-} &= M_{y,Ed,p-} * e_i * |N_{Ed}| & M_{z,0,Ed,p-} &= M_{z,Ed,p-} * e_i * |N_{Ed}| \\ M_{y,0,Ed,p-} &= -1,84 \text{ kN.m} & M_{z,0,Ed,p-} &= -6,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_{y,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}))$$

$$M_{z,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}))$$

$$M_{y,0e+} = 2,92 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0e+} = 5,30 \text{ kN.m}$$

Štíhlost prvku:

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{12} * b * h^3}$$

$$i_y = 0,061 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{12} * h * b^3}$$

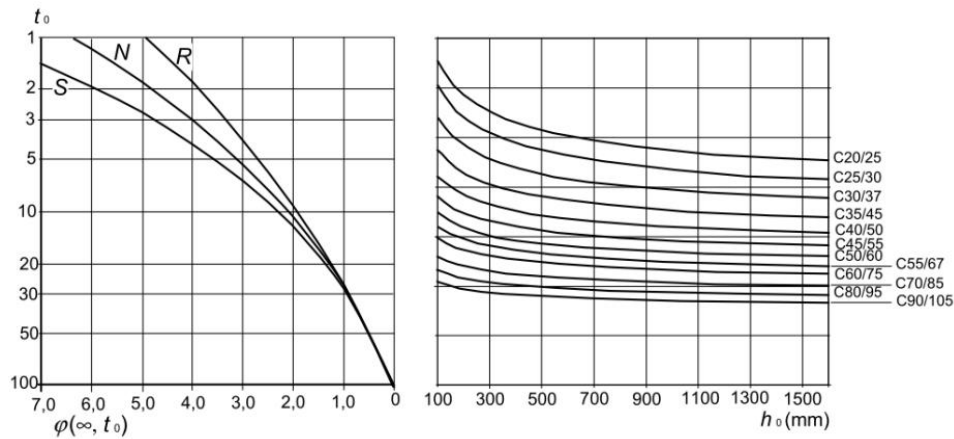
$$i_z = 0,061 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_0 / i_y$$

$$\lambda_y = 28,87 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_0 / i_z$$

$$\lambda_z = 28,87 \text{ m}$$



$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = 105 \text{ mm}$$

$$\Phi(\infty, t_0) = 2,5$$

$$\Phi_{ef,y} = \Phi(\infty, t_0) * \frac{M_{y,kv}}{\min\left(\frac{|M_{y,0,Ed,h+}| + |M_{y,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{y,0,Ed,h-}| + |M_{y,0,Ed,p-}|}{2}\right)}$$

$$\Phi_{ef,y} = 0,5568$$

$$\Phi_{ef,z} = \Phi(\infty, t_0) * \frac{M_{z,kv}}{\min\left(\frac{|M_{z,0,Ed,h+}| + |M_{z,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{z,0,Ed,h-}| + |M_{z,0,Ed,p-}|}{2}\right)}$$

$$\Phi_{ef,z} = 1,9802$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = 0,2676$$

$$r_{m,y} = \max\left(\frac{\min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}{\max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}{\max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}\right)$$

$$r_{m,y} = 2,2475$$

$$r_{m,z} = \max\left(\frac{\min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}{\max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}{\max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}\right)$$

$$r_{m,z} = -0,0809$$

$$\begin{aligned}
A_y &= 1/(1 + 0,2 * \phi_{ef,y}) \\
A_y &= 0,90 \\
B_y &= \sqrt{1 + 2 * \omega} \\
B_y &= 1,24 \\
C_y &= \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) \\
C_y &= 0,70 \\
n_y &= |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) \\
n_y &= 0,88
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_{lim,y} &= 20 * A_y * B_y * \frac{C_y}{\sqrt{n_y}} \\
\lambda_{lim,y} &= 16,60
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_y &> \lambda_{lim,y} \\
28,87 &> 16,60
\end{aligned}$$

S vlivem 2. řádu

$$\begin{aligned}
A_y &= 1/(1 + 0,2 * \phi_{ef,y}) \\
A_y &= 0,72 \\
B_y &= \sqrt{1 + 2 * \omega} \\
B_y &= 1,24 \\
C_y &= \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) \\
C_y &= 1,78 \\
n_y &= |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) \\
n_y &= 0,88
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_{lim,z} &= 20 * A_z * B_z * \frac{C_z}{\sqrt{n_z}} \\
\lambda_{lim,z} &= 33,62
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_z &< \lambda_{lim,z} \\
28,87 &< 33,62
\end{aligned}$$

Bez vlivu 2. řádu

Vliv 2. řádu:

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{|N_{Ed}|}{b * b * f_{cd}} \\
\eta &= 0,88
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_u &= 1 + \frac{A_s * f_{yd}}{h * b * f_{cd}} \\
\eta_u &= 1,27
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_r &= \min\left(\frac{\eta_u - \eta}{\eta_u - 0,4}; 1\right) \\
K_r &= 0,44
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{\phi,y} &= \max\left(1 + \frac{\Phi_{(\infty,t0)} * M_{y,kv}}{M_{y,0e+}} * \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150}\right); 1\right) \\
K_{\phi,y} &= 1,145
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{\phi,z} &= \max\left(1 + \frac{\Phi_{(\infty,t0)} * M_{z,kv}}{M_{z,0e+}} * \left(0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150}\right); 1\right) \\
K_{\phi,z} &= 1,533
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_y &= h - c - \emptyset_s - \emptyset_n/2 \\
d_y &= 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m} \\
d_z &= b - c - \emptyset_s - \emptyset_n/2 \\
d_z &= 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{r_0} &= \frac{f_{yd}}{200} * \frac{1}{0,45 * \min(d_y; d_z)} \\
\frac{1}{r_0} &= 0,032
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{r_y} &= K_r * K_{\phi,y} * 1/r_0 \\
\frac{1}{r_y} &= 0,016
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_{2,y} &= \frac{1}{r_y} * L_0^2 / c \\
e_{2,y} &= 0,0049 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{r_z} &= K_r * K_{\phi,z} * 1/r_0 \\
\frac{1}{r_z} &= 0,022
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_{2,z} &= \frac{1}{r_z} * L_0^2 / c \\
e_{2,z} &= 0,0000 \text{ m}
\end{aligned}$$

### Momenty 2. řádu s vlivem imperfekcí:

$$M_{y,ed,h} = \max(|M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|) + e_{2,y} * |N_{Ed}|$$

$$M_{y,ed,h} = 7,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,ed,p} = \max(|M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,p-}|) + e_{2,y} * |N_{Ed}|$$

$$M_{y,ed,p} = 7,04 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,ed,h} = \max(|M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|) + e_{2,z} * |N_{Ed}|$$

$$M_{z,ed,h} = 9,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,ed,p} = \max(|M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,p-}|) + e_{2,z} * |N_{Ed}|$$

$$M_{z,ed,p} = 6,44 \text{ kN.m}$$

### Stanovení momentu pro výpočet únosnosti:

$$M_{y,Ed} = \max(M_{y,ed,h}; M_{y,ed,p}; |M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|; |M_{y,0,Ed,p-}|)$$

$$M_{y,Ed} = 7,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = \max(M_{z,ed,h}; M_{z,ed,p}; |M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|; |M_{z,0,Ed,p-}|)$$

$$M_{z,Ed} = 9,34 \text{ kN.m}$$

### ITERAČNÍ DIAGRAM:

#### Rameno vnitřních sil, přetvoření betonu:

$$z_{s,y} = d_y - h/2$$

$$z_{s,y} = 47 \text{ mm} \quad 0,047 \text{ m}$$

$$z_{s,z} = d_z - b/2$$

$$z_{s,z} = 47 \text{ mm} \quad 0,047 \text{ m}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\epsilon_{yd} = 0,00217$$

$$\epsilon_{cu} = 0,002$$

$$\sigma_{s,y,z} = E_s * \epsilon_{cu}$$

$$\sigma_{s,y,z} = 0,40 \text{ GPa} \quad 400000 \text{ kPa}$$

#### Stanovení bodu 0:

$$N_{y,z,Rd,0} = -(b * h * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z})$$

$$N_{y,z,Rd,0} = -916 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,0} = (A_{s,y} * z_{s,y} - A_{s,y} * z_{s,y}) * \sigma_{s,y,z}$$

$$M_{y,Rd,0} = 0,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,0} = (A_{s,z} * z_{s,z} - A_{s,z} * z_{s,z}) * \sigma_{s,y,z}$$

$$M_{z,Rd,0} = 0,00 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 1:

$$\lambda = 0,8$$

$$\eta = 1,0$$

$$N_{y,Rd,1} = -(\lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z}) \quad N_{z,Rd,1} = -(\lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z})$$

$$N_{y,Rd,1} = -516 \text{ kN}$$

$$N_{y,Rd,1} = -516 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_y) + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,y}$$

$$M_{y,Rd,1} = 23,1 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,1} = \lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} * 0,5 * (b - \lambda * d_z) + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,z}$$

$$M_{z,Rd,1} = 23,1 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 2:

$$x_{BAL,1,y} = \frac{\varepsilon_{cu} * d_y}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}$$

$$x_{BAL,1,y} = 0,0938 \text{ m} \quad 93,8 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,z} = \frac{\varepsilon_{cu} * d_z}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}$$

$$x_{BAL,1,z} = 0,0938 \text{ m} \quad 93,8 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,y} = \frac{\varepsilon_{cu} * (h - d_y)}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{yd}}$$

$$x_{BAL,2,y} = 0,1526 \text{ m} \quad 152,6 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,z} = \frac{\varepsilon_{cu} * (b - d_z)}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{yd}}$$

$$x_{BAL,2,z} = 0,1526 \text{ m} \quad 152,6 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,y} < x_{BAL,2,y}$$

$$0,094 < 0,153$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$x_{BAL,1,z} < x_{BAL,2,z}$$

$$0,094 < 0,153$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$N_{y,Rd,2} = -(\lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta + A_{s,y} * \sigma_s - A_{s,y} * f_{yd})$$

$$N_{y,Rd,2} = -254,8 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,2} = -(\lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta + A_{s,z} * \sigma_s - A_{s,z} * f_{yd})$$

$$N_{z,Rd,2} = -254,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,2} = \lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (h - \lambda * x_{BAL,1,y}) + A_{s,y} * \sigma_s * z_{s,y} + A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y}$$

$$M_{y,Rd,2} = 26,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,2} = \lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (b - \lambda * x_{BAL,1,z}) + A_{s,z} * \sigma_s * z_{s,z} + A_{s,z} * f_{yd} * z_{s,z}$$

$$M_{z,Rd,2} = 26,6 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 3:

$$x_y = \frac{A_{s,y} * f_{yd}}{\lambda * b * \eta * f_{cd}}$$

$$x_y = 0,035 \text{ m} \quad 35 \text{ mm}$$

$$x_z = \frac{A_{s,z} * f_{yd}}{\lambda * h * \eta * f_{cd}}$$

$$x_z = 0,035 \text{ m} \quad 35 \text{ mm}$$

$$N_{y,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y)$$

$$M_{y,Rd,3} = 13,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y)$$

$$M_{y,Rd,3} = 13,6 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 4:

$$N_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd}$$

$$N_{y,Rd,4} = 98,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y}$$

$$M_{y,Rd,4} = 4,6 \text{ kN.m}$$

$$N_{z,Rd,4} = A_{s,z} * f_{yd}$$

$$N_{z,Rd,4} = 98,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y}$$

$$M_{y,Rd,4} = 4,6 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 5:

$$N_{y,Rd,5} = A_s * f_{yd}$$

$$N_{y,Rd,5} = 196,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

$$N_{z,Rd,5} = A_s * f_{yd}$$

$$N_{z,Rd,5} = 196,7 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

Omezená hodnota normálové síly:

$$e_{0,y} = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right)$$

$$e_{0,y} = 20,0 \text{ mm} \quad 0,020 \text{ m}$$

$$e_{0,z} = \max\left(\frac{b}{30}; 20\right)$$

$$e_{0,z} = 20,0 \text{ mm} \quad 0,020 \text{ m}$$

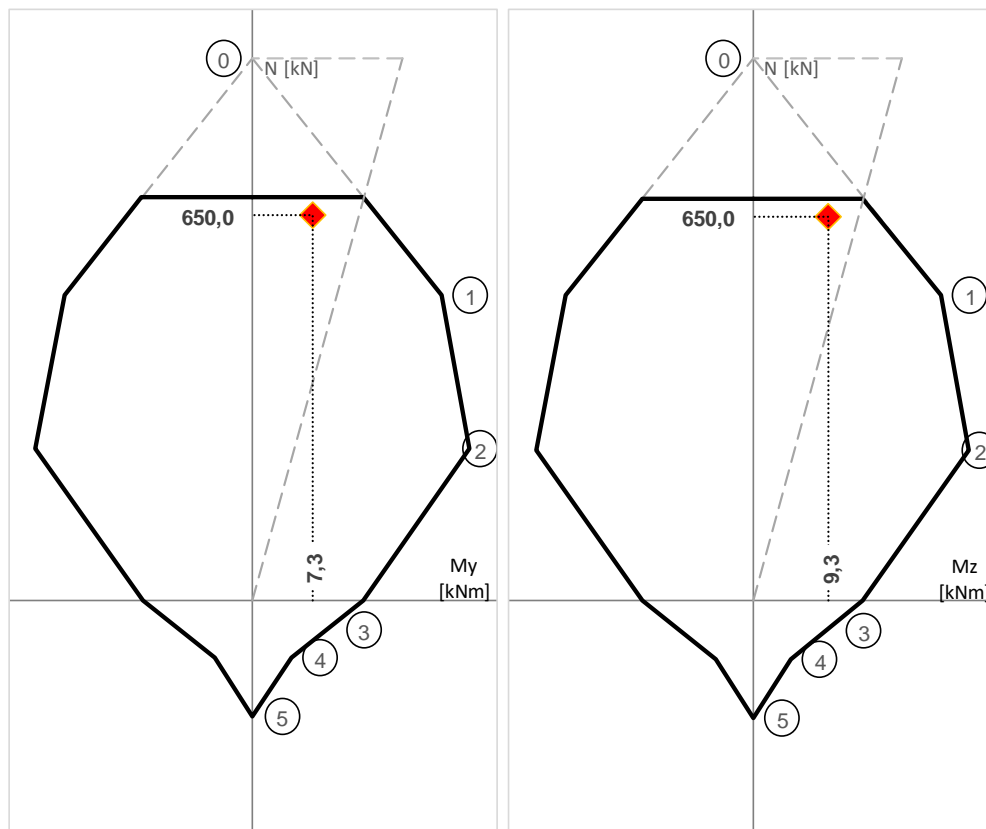
$$M_{0,y} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,y}|$$

$$M_{0,y} = 18,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{0,z} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,z}|$$

$$M_{0,z} = 18,3 \text{ kN.m}$$

Interakční diagram:



**POSOUZENÍ:**

Maximální Normálová síla z diagramu:

$$N_{EN,y} = 680 \text{ kN}$$

$$N_{EN,z} = 680 \text{ kN}$$

Posouzení normálové síly  $N_{Ed} = -650 \text{ kN}$ 

$$N_{Rd,max} = \min(N_{EN,y}; N_{EN,z})$$

$$N_{Rd,max} = 680 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd,max}$$

$$650,00 < 680,12$$

**VYHOVUJE**Mometová únosnost při zatížení  $N_{Ed} = -650 \text{ kN}$ 

$$M_{Rd,y} = 15 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 15 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Ed} < M_{Rd,y}$$

$$7,34 < 15$$

**VYHOVUJE**

$$M_{z,Ed} < M_{Rd,z}$$

$$9,34 < 15$$

**VYHOVUJE**

Ověření únosnosti v obou směrech:

$$e_{f,y} = \frac{|M_{y,Ed,h}|}{|N_{Ed}|}$$

$$e_{f,y} = 0,0020$$

$$e_{0,y} = e_{f,y} + e_i$$

$$e_{0,y} = 0,0064$$

$$h_{eq} = i_y * \sqrt{12}$$

$$h_{eq} = 0,2100$$

$$e_y = e_{2,y} + e_{0,y}$$

$$e_y = 0,0113$$

$$(e_y/h_{eq}) / (e_z/b_{eq}) \leq 0,2$$

$$0,79 > 0,2$$

$$e_{f,y} = \frac{|M_{z,Ed,h}|}{|N_{Ed}|}$$

$$e_{f,y} = 0,0100$$

$$e_{0,y} = e_{f,y} + e_i$$

$$e_{0,y} = 0,0144$$

$$b_{eq} = i_z * \sqrt{12}$$

$$b_{eq} = 0,2100$$

$$e_z = e_{2,z} + e_{0,z}$$

$$e_z = 0,0144$$

$$(e_z/b_{eq}) / (e_y/h_{eq}) \leq 0,2$$

$$1,27 > 0,2$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět alespoň jedna**

$$\lambda_y / \lambda_z \leq 2$$

$$1,00 < 2,0$$

$$\lambda_z / \lambda_y \leq 2$$

$$1,00 < 2,0$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět obě dvě****Vyhodnocení: => Posoudit v obou směrech**

$$a = \frac{N_{Ed}}{h * b * \eta * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}}$$

$$a = 1,52$$

$$M_{y,Ed} = 7,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 9,34 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,y} = 15 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 15 \text{ kN.m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}}\right)^a \leq 1,0$$

$$0,80 < 1,0$$

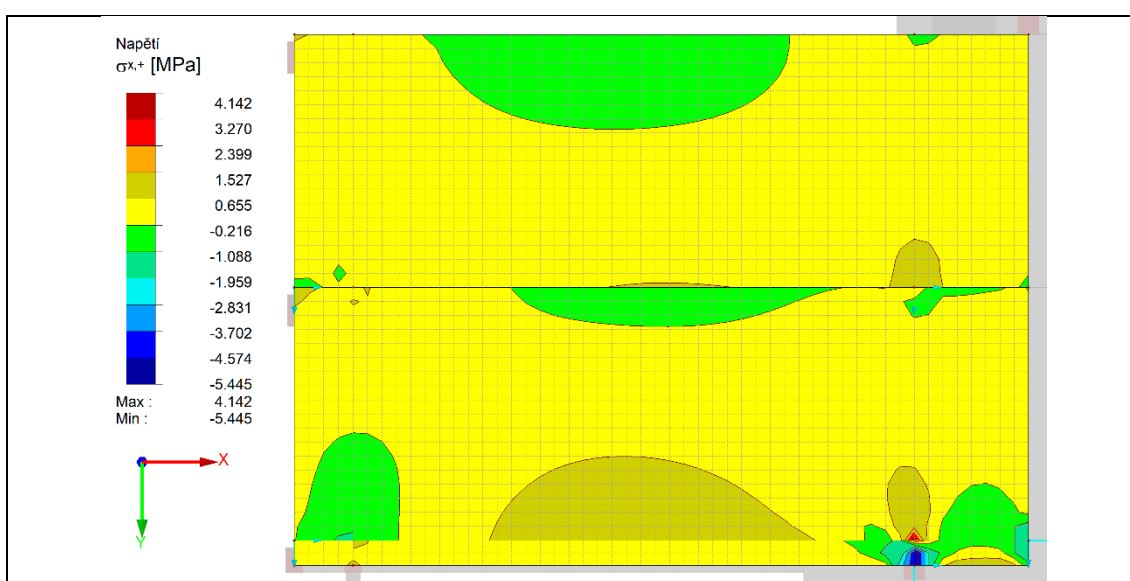
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE V OBOU SMĚRECH**



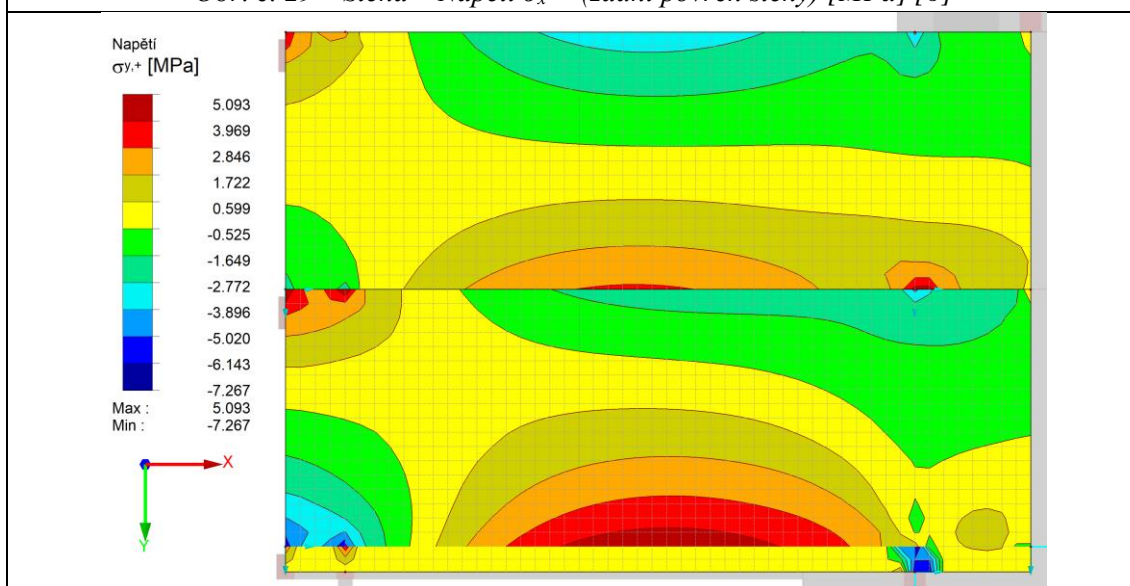
## 10.5. POSOUZENÍ STĚNY

Posouzení stěny bude probíhat následujícím postupem: Stěna se rozdělí na několik pravidelných částí a v každé části se zjistí napětí  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  a  $\tau_{xy}$ , na které se pak bude navrhovat potřebná plocha výztuže. Nikoliv však maximální hodnoty v případě špiček napětí, ale přibližně zprůměrovanou hodnotu na daném místě s přihlédnutím k inženýrskému citu. Určení použité plochy výztuže bude provedeno postupem, že se navrhne základní rastr výztuže, který bude použit po celé stěně u obou povrchů a v obou směrech, zjistí se, jaké napětí je tento rastr schopný přenést a v místech, kde je základní rastr nedostatečný, se navrhne příložky. Poté proběhne skutečný návrh výztuže s ohledem na jednoduchost provádění a zohlednění kotevnicích délek výztuže.

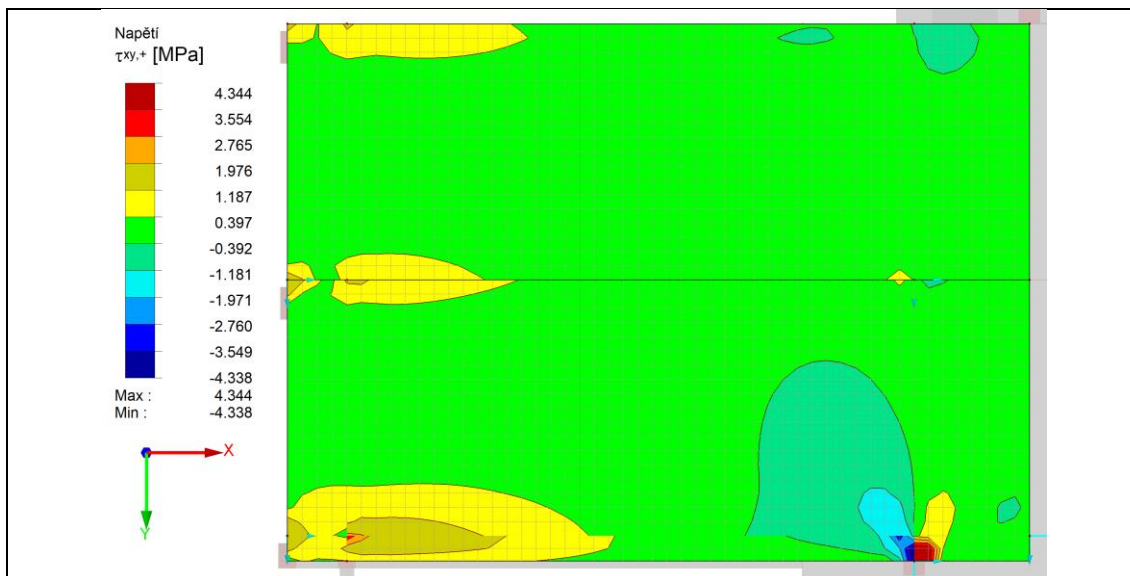
### VNITŘNÍ SÍLY:



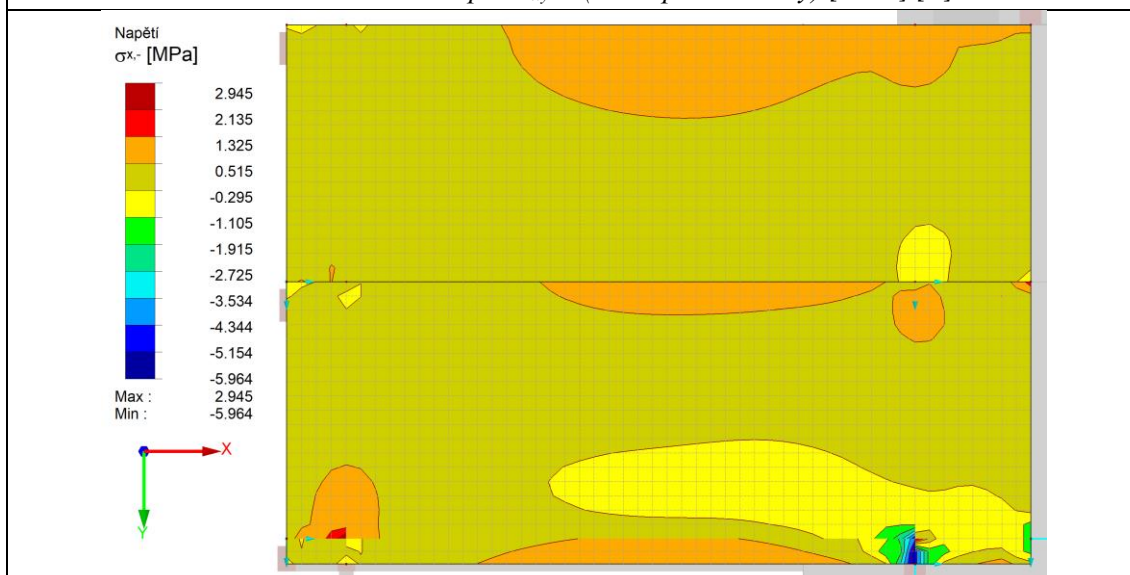
Obr. č. 29 – Stěna – Napětí  $\sigma_x +$  (zadní povrch stěny) [MPa] [6]



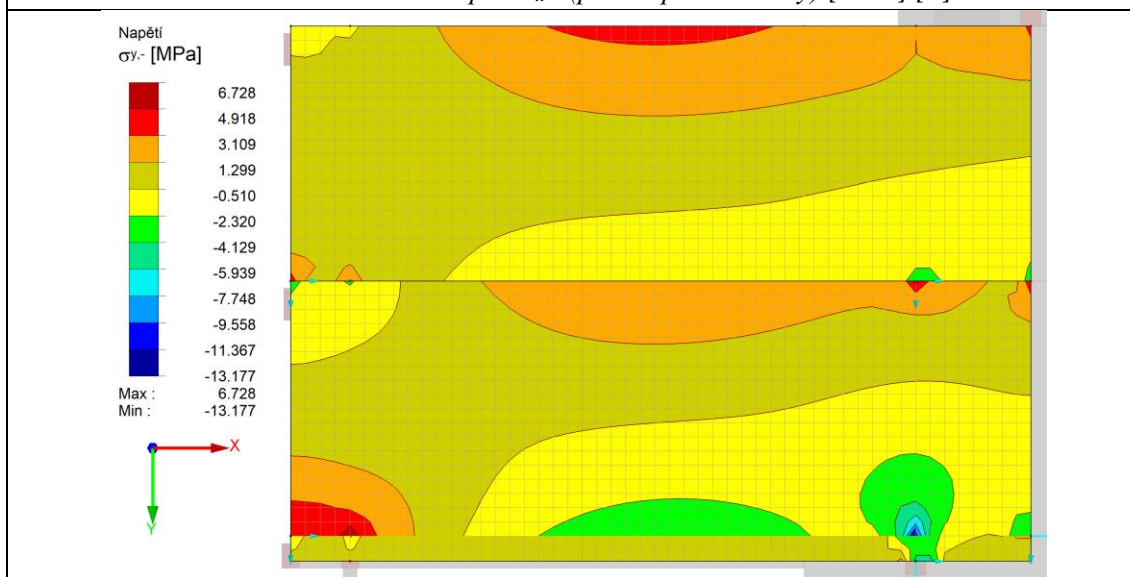
Obr. č. 30 – Stěna – Napětí  $\sigma_y +$  (zadní povrch stěny) [MPa] [6]



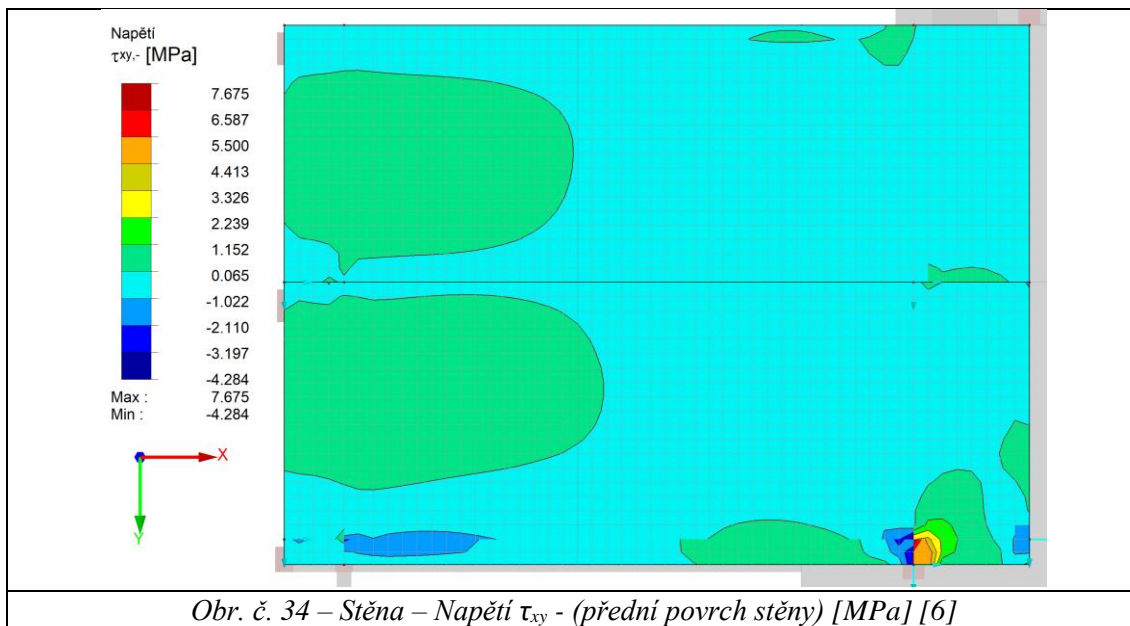
Obr. č. 31 – Stěna – Napětí  $\tau_{xy+}$  (zadní povrch stěny) [MPa] [6]



Obr. č. 32 – Stěna – Napětí  $\sigma_{x-}$  (přední povrch stěny) [MPa] [6]

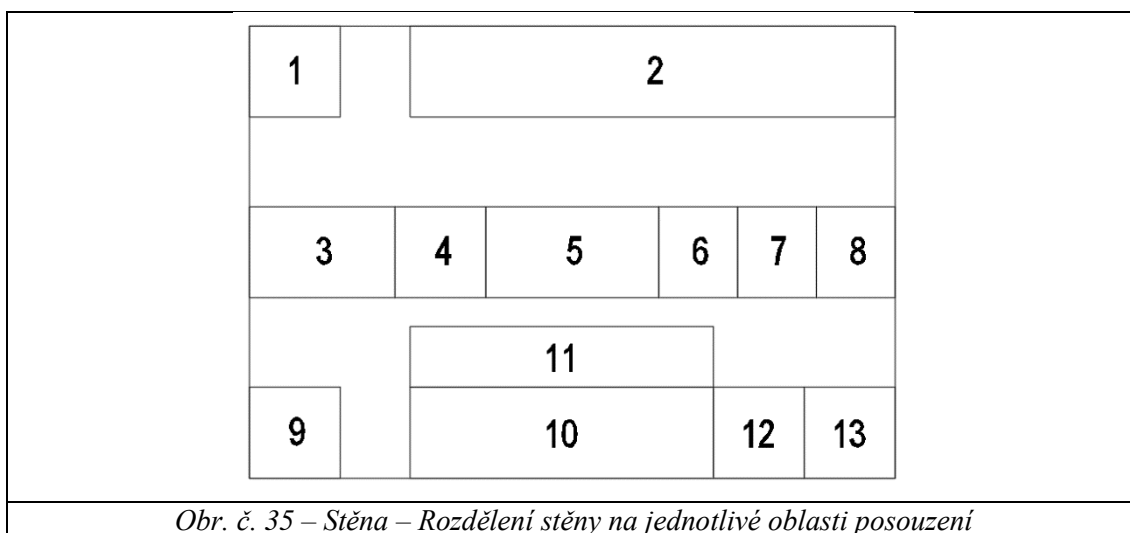


Obr. č. 33 – Stěna – Napětí  $\sigma_{y-}$  (přední povrch stěny) [MPa] [6]



Obr. č. 34 – Stěna – Napětí  $\tau_{xy}$  - (přední povrch stěny) [MPa] [6]

### ROZDĚLENÍ STĚNY NA JEDNOTLIVÉ OBLASTI POSOUZENÍ:



Obr. č. 35 – Stěna – Rozdělení stěny na jednotlivé oblasti posouzení

### STATICKÝ VÝPOČET:

#### ZÁKLADNÍ RASTR

Materiálové charakteristiky:

Beton: C25/30  $\gamma_c = 1,5$

$D_{max} = 16 \text{ mm}$

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 16,67 \text{ MPa}$

Ocel: B500B  $\gamma_s = 1,15$

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

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,8 \text{ MPa}$

$\sigma_s = 400 \text{ MPa}$

### Vstupní hodnoty:

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ t &= 100 \text{ mm} \quad (\text{tl. desky } t_d = 200 \text{ mm}) \\ \sigma_{x,-} &= 0,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 1,1 \text{ MPa} \quad (\text{Hodnoty mezi oblastí 1 a 3}) \\ \tau_{xy,-} &= 1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### Dimenzační napětí:

$$\begin{aligned} f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,5 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### Vstupní hodnoty pro návrh výztuže:

$$\begin{aligned} \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 113 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Kontrola velikosti smykového napětí:

$$\begin{aligned} \tau_{xy,max} &= 4,4 \text{ MPa} \\ v &= 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,54 \\ \sigma_{cd} &= 2 * |\tau_{xz}| = 8,8 \text{ MPa} \leq v * f_{cd} = 9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### **VYHOVUJE**

### Návrh výztuže ve směru "y":

$$A_{s,req,y} = \frac{f_{td,y,-} * A_c}{f_{yd}} = 483 \text{ mm}^2$$

$$\text{Potřebný počet kusů výztuže: } n_{req,y} = \frac{A_{s,req,y}}{A_{s,1}} = 4,3 \text{ ks}$$

$$n_{prov,y} = 5 \text{ ks}$$

Návrh:  $\emptyset$  12 á 200 mm (u obou povrchů)

$$A_{s,prov,y} = A_{s,1} * n_{req,y} = 565 \text{ mm}^2$$

Tento základní rastr bude proveden pro celou stěnu u obou povrchů v obou směrech. Dále se budou přidávat příložky

### Konstrukční zásady:

$$A_{s,max} = 0,04 * b * t = 4000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{t,min} = \max(20; 1,2 * \emptyset; D_{max} + 5) = 21 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$s_t = 188 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(2 * t; 250) = 250 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

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

### Posouzení:

$$\sigma_{Rd,y} = \frac{A_{s,prov,y} * f_{yd}}{A_c} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{td,y,-}}{\sigma_{Rd,y}} = 0,85 < 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Základní rastr:

$\emptyset$ 12 á 200 mm

U obou povrchů v obou směrech

## POSOUZENÍ TLAKOVÉ UNOSNOSTI BETONU V NEJZATÍŽENĚJŠÍM MÍSTĚ

Vstupní hodnoty:

$$\sigma_y = -10,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = -3,5 \text{ MPa}$$

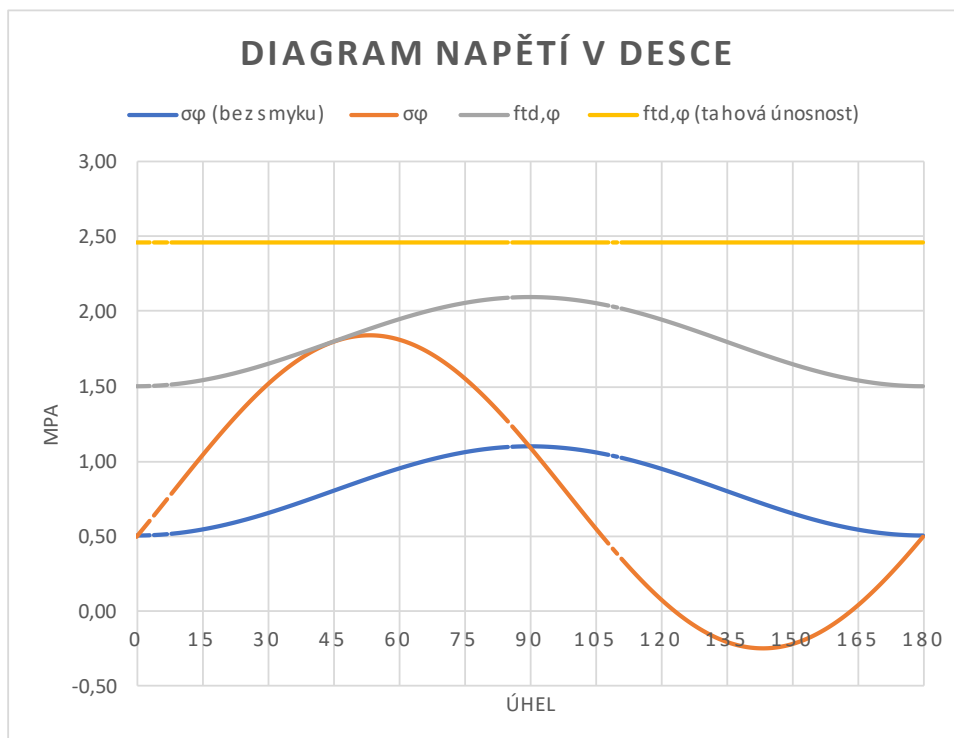
Dimenzační napětí:

$$f_{td,y} = |\sigma_y| + |\tau_{xy}| = 13,9 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{f_{td,y}}{f_{cd}} = 0,83 < 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Graf napětí a únosnosti stěny ve všech směrech při vyztužení pomocí základního rastru:



$\sigma_\varphi$  (bez smyku) značí napětí ve stěně ve všech směrech při uvažování pouze  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$

$\sigma_\varphi$  značí napětí ve stěně ve všech směrech s přírůstkem hodnoty smykového napětí  $\tau_{xy}$

$f_{td,\varphi}$  značí dimenzační napětí, na které je potřeba navrhnout minimální plochu výztuže

$f_{td,\varphi}$  (tahová únosnost) je tahová únosnost navržené tahové výztuže

**DIMENZAČNÍ NAPĚTÍ PRO JEDNOTLIVÉ OBLASTI NA ZADNÍ STRANĚ STĚNY:****Oblast 1:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,65 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,6 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 1,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,85 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 3:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,67 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,6 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 1,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,87 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 5:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,66 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,5 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,3 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,96 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 7:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,6 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,2 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 9:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,4 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 2,6 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 4,4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 11:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,64 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 1,6 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,04 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 13:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,7 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 0,9 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 1 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,7 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 1,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 2:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= -0,5 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,9 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = -0,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 4:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,44 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 1,7 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,6 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,04 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 6:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 2,1 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,35 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,95 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,45 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 8:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 1,7 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 0,35 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,65 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,05 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 10:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 1,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 4,3 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 1,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 2,5 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 5,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 12:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,+} &= 3,2 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,+} &= 1,3 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,+} &= 3,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,+} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 6,6 \text{ MPa} \\ f_{td,y,+} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 4,7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**DIMENZAČNÍ NAPĚTÍ PRO JEDNOTLIVÉ OBLASTI NA PŘEDNÍ STRANĚ STĚNY:****Oblast 1:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= -0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= -0,2 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,3 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 0,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 3:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 2,8 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,9 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 5:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 2,4 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 7:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 2,8 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,3 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,1 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 9:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 1,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 4,8 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,8 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 11:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= -0,2 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,5 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 13:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,6 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 0,8 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 1,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,8 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 2:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 1,2 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 3,1 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,1 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,3 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 4:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= -0,5 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,4 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,9 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = -0,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 6:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 2,3 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,1 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 0,9 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 2,4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 8:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,7 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= 2,7 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,3 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 10:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 1,1 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= -0,5 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 0,6 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 1,7 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 0,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

**Oblast 12:**

$$\begin{aligned}\sigma_{x,-} &= 0,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y,-} &= -0,2 \text{ MPa} \\ \tau_{xy,-} &= 5,2 \text{ MPa} \\ f_{td,x,-} &= \sigma_x + |\tau_{xy}| = 5,5 \text{ MPa} \\ f_{td,y,-} &= \sigma_y + |\tau_{xy}| = 5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### ÚNOSNOST S PŘÍLOŽKAMI:

#### **Základní rastr Ø12:**

##### Výztuž:

###### Základní rastr (u jednoho povrchu):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 12 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,12} = \quad 565 \text{ mm} \end{array}$$

##### Únosnost daného vyztužení:

$$\sigma_{Rd,12} = \frac{(A_{s,12} + A_{s,12}) * f_{yd}}{A_c} = \mathbf{2,46 \text{ MPa}}$$

#### **Příložka Ø12:**

##### Výztuž:

###### Základní rastr (u jednoho povrchu):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 12 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,12} = \quad 565 \text{ mm} \end{array}$$

###### Příložky (u jednoho povrchu):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 12 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,12} = \quad 565 \text{ mm} \end{array}$$

##### Únosnost daného vyztužení:

$$\sigma_{Rd,12,12} = \frac{(A_{s,12} + A_{s,12}) * f_{yd}}{A_c} = \mathbf{4,92 \text{ MPa}}$$

#### **Příložka Ø16:**

##### Výztuž:

###### Základní rastr (u jednoho povrchu):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 12 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,12} = \quad 565 \text{ mm} \end{array}$$

###### Příložky (u jednoho povrchu):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 16 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,16} = \quad 1005 \text{ mm} \end{array}$$

##### Únosnost daného vyztužení:

$$\sigma_{Rd,12,16} = \frac{(A_{s,12} + A_{s,16}) * f_{yd}}{A_c} = \mathbf{6,83 \text{ MPa}}$$

#### **Příložka Ø20:**

##### Výztuž:

###### Základní rastr (u obou povrchů):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 12 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,12} = \quad 565 \text{ mm} \end{array}$$

###### Příložky (u obou povrchů):

$$\begin{array}{l} \varnothing \quad 20 \quad \text{á} \quad 200 \quad \text{mm} \\ A_{s,20} = \quad 1571 \text{ mm} \end{array}$$

##### Únosnost daného vyztužení:

$$\sigma_{Rd,12,20} = \frac{(A_{s,12} + A_{s,20}) * f_{yd}}{A_c} = \mathbf{9,29 \text{ MPa}}$$

$\varnothing$	$\sigma_{Rd}$ [MPa]
12	2,46
12 + 12	4,92
12 + 16	6,83
12 + 20	9,29



Ozn.	Napětí na zadní straně stěny			Napětí na přední straně stěny		
	$\sigma_{x,+}$ [MPa]	$\sigma_{y,+}$ [MPa]	$\tau_{xy,+}$ [MPa]	$\sigma_{x,-}$ [MPa]	$\sigma_{y,-}$ [MPa]	$\tau_{xy,-}$ [MPa]
1	0,65	2,6	1,2	-0,3	-0,2	0,3
2	0,5	-0,5	0,4	1,2	3,1	0,1
3	0,67	2,6	1,2	0,5	2,8	0,4
4	0,44	1,7	0,6	0,5	-0,5	0,4
5	0,66	2,5	0,3	0,8	2,4	0,2
6	0,6	2,1	0,35	0,8	2,3	0,1
7	0,8	2,6	0,4	0,8	2,8	0,3
8	0,3	1,7	0,35	0,7	2,7	0,3
9	0,6	2,4	2	1,6	4,8	0,2
10	1,3	4,3	1,2	1,1	-0,5	0,6
11	0,64	1,6	0,4	0,3	-0,2	0,2
12	3,2	1,3	3,4	0,3	-0,2	5,2
13	0,7	0,9	1	0,6	0,8	1,2

Ozn.	Dimenzační napětí na zadní straně stěny		Dimenzační napětí na přední straně stěny	
	$f_{td,x,+}$ [MPa]	$f_{td,y,+}$ [MPa]	$f_{td,x,-}$ [MPa]	$f_{td,y,-}$ [MPa]
1	1,85	3,8	0	0,1
2	0,9	-0,1	1,3	3,2
3	1,87	3,8	0,9	3,2
4	1,04	2,3	0,9	-0,1
5	0,96	2,8	1	2,6
6	0,95	2,45	0,9	2,4
7	1,2	3	1,1	3,1
8	0,65	2,05	1	3
9	2,6	4,4	1,8	5
10	2,5	5,5	1,7	0,1
11	1,04	2	0,5	0
12	6,6	4,7	5,5	5
13	1,7	1,9	1,8	2

Ozn.	Dimenzační napětí na zadní straně stěny		Dimenzační napětí na přední straně stěny	
	$f_{td,x,+}$ [MPa]	$f_{td,y,+}$ [MPa]	$f_{td,x,-}$ [MPa]	$f_{td,y,-}$ [MPa]
1	1,85	3,8	0	0,1
2	0,9	-0,1	1,3	3,2
3	1,87	3,8	0,9	3,2
4	1,04	2,3	0,9	-0,1
5	0,96	2,8	1	2,6
6	0,95	2,45	0,9	2,4
7	1,2	3	1,1	3,1
8	0,65	2,05	1	3
9	2,6	4,4	1,8	5
10	2,5	5,5	1,7	0,1
11	1,04	2	0,5	0
12	6,6	4,7	5,5	5
13	1,7	1,9	1,8	2

Tlačené oblasti:	
Základní rastr:	
Příložky $\varnothing$ 12:	
Příložky $\varnothing$ 16:	
Příložky $\varnothing$ 20:	

## **ROZVRŽENÍ PŘÍLOŽEK DO OBLASTÍ:**

### **Základní rastr:**

Základní rastr bude ve směru "x" u zadní strany stěny dostačující v oblastech:

O1 - O8, O11, O13

U přední strany bude dostačující v oblastech:

O1 - O11, O13

Základní rastr bude ve směru "y" u zadní strany stěny dostačující v oblastech:

O4, O8, O11, O13

U přední strany bude dostačující v oblastech:

O1, O6, O10, O11, O13

### **Příložky Ø12:**

Příložky Ø12 budou ve směru "x" u zadní strany stěny použity v oblastech:

O9, O10

U přední strany budou použity v oblastech:

-

Příložky Ø12 budou ve směru "y" u zadní strany stěny použity v oblastech:

O1, O3, O5 - O7, O9, O12

U přední strany budou použity v oblastech:

O2, O3, O5, O7, O8

### **Příložky Ø16:**

Příložky Ø16 budou ve směru "x" u zadní strany stěny použity v oblastech:

O12

U přední strany budou použity v oblastech:

O12

Příložky Ø16 budou ve směru "y" u zadní strany stěny použity v oblastech:

O10

U přední strany budou použity v oblastech:

O9, O12

**Jedná se o minimální potřebné vyztužení v daných oblastech. Reálné vyztužení ve výkresu výztuže bude pravděpodobně trochu upraveno s ohledem na zásady vyztužování, snadnost provádění vyztužení na stavbě a s přihlédnutím k inženýrskému citu.**

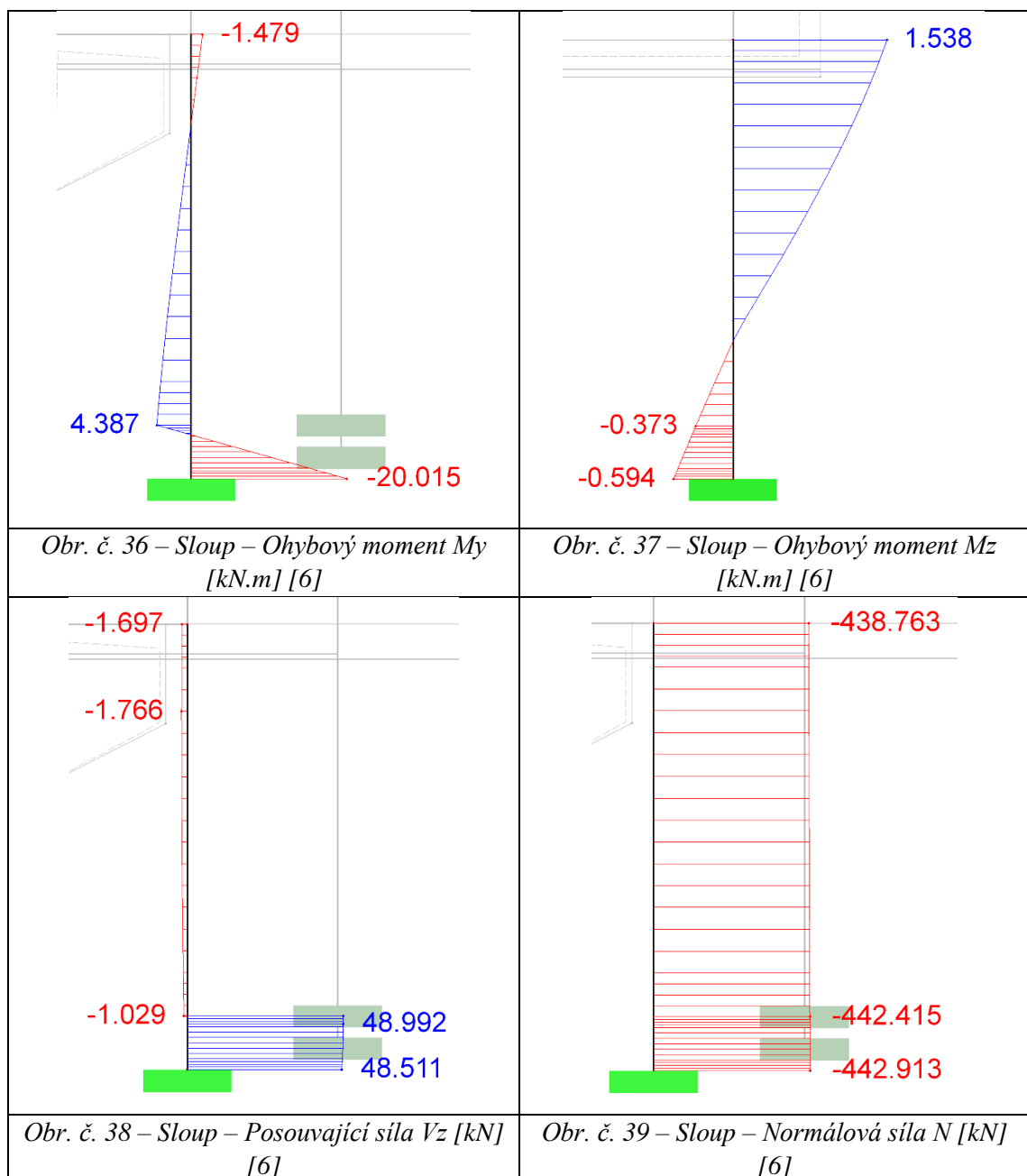
# 11. STATICKÝ VÝPOČET S MIMOŘÁDNÝM ZATÍŽENÍM

## 11.1. NÁRAZ AUTOMOBILU DO SLOUPU

V tomto zatěžovacím stavu bude sloup č. 3 přitížen mimořádným zatížením od nárazu vozidla do hmotnosti 3,5 t. Bude se tedy jednat o zatížení o velikosti 50 kN ve vodorovném směru ve výšce 0,5 m nad zemí.

Po překontrolování vnitřních sil se ukázalo, že tento zatěžovací styl má vliv pouze na vnitřní síly přitíženého sloupu. Žádné jiné prvky tedy v tomto zatěžovacím stavu nebudou posuzovány.

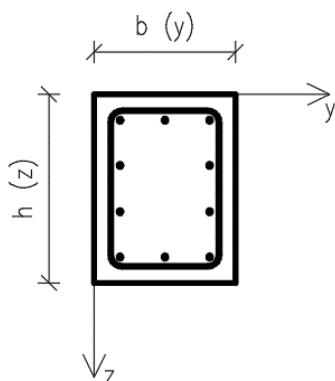
### VNITŘNÍ SÍLY:



### Materiálové charakteristiky:

Beton: C30/37	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$			434,8 MPa	434783 kPa
	16,67 MPa	16667 kPa	$E_s =$	200 GPa	
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vstupní hodnoty:



$h =$	210 mm	0,21 m
$b =$	210 mm	0,21 m
$L =$	3500 mm	3,5 m
$A_c =$	44100 mm <sup>2</sup>	0,0441 m <sup>2</sup>
$u =$	840 mm	0,84 m

### Vnitřní síly:

$N_{Ed} =$	-445 kN		
$M_{y,Ed,h} =$	4,4 kN.m	$M_{z,Ed,h} =$	1,6 kN.m
$M_{y,Ed,p} =$	-20 kN.m	$M_{z,Ed,p} =$	-0,6 kN.m
$M_{y,kv} =$	-16 kN.m	$M_{z,kv} =$	1,2 kN.m

### Návrh ohybové výztuže:

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$\emptyset_n =$	12 mm	(nosná výztuž)
$\emptyset_s =$	12 mm	(smykový výztuž)
$c =$	40 mm	

$$d_y = h - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 152 \text{ mm} \quad d_z = b - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 152 \text{ mm}$$

$$A_{s,req,y} = \frac{f_{cd} * b * d_y}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,Ed}}{b * d_y^2 * f_{cd}}} \right) \quad A_{s,req,z} = \frac{f_{cd} * h * d_z}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{z,Ed}}{h * d_z^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req,y} = 0,000354 \text{ m}^2 \quad 354 \text{ mm}^2 \quad A_{s,req,z} = 0,000024 \text{ m}^2 \quad 24 \text{ mm}^2$$

### Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s,min,y} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_y; 0,0013 * b * d_y\right) \quad A_{s,min,z} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d_z; 0,0013 * h * d_z\right)$$

$$A_{s,min,y} = 43 \text{ mm}^2 \quad A_{s,min,z} = 43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max,y} = 0,04 * b * h = 1764 \text{ mm}^2 \quad A_{s,max,z} = 0,04 * b * h = 1764 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = 113 \text{ mm}^2 \quad A_{s,1} = 113 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $\underline{3 \times \emptyset 12}$  Návrh:  $\underline{3 \times \emptyset 12}$

$$A_{s,y} = 339 \text{ mm}^2 \quad A_{s,z} = 339 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2 * A_{s,y} + 2 * A_{s,z} - 4 * A_{s,1} = 905 \text{ mm}^2$$

Vzpěrná délka:

$$L_{0,y} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m} \quad L_{0,z} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m}$$

Imperfekce:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 = 1,00$$

$$\alpha_m = 1,00$$

$$\Theta_0 = 0,005$$

$$\Theta_i = \Theta_0 * \alpha_m * \alpha_h = 0,005$$

$$e_i = 0,0044 \text{ m}$$

Momenty prvního řádu vlivem imperfekcí:

$$M_{y,0,Ed,h+} = M_{y,Ed,h+} e_i * |N_{Ed}| = 6,35 \text{ kN.m} \quad M_{z,0,Ed,h+} = M_{z,Ed,h+} e_i * |N_{Ed}| = 3,55 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p+} = M_{y,Ed,p+} e_i * |N_{Ed}| = -18,05 \text{ kN.m} \quad M_{z,0,Ed,p+} = M_{z,Ed,p+} e_i * |N_{Ed}| = 1,35 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,h-} = M_{y,Ed,h-} e_i * |N_{Ed}| = 2,45 \text{ kN.m} \quad M_{z,0,Ed,h-} = M_{z,Ed,h-} e_i * |N_{Ed}| = -0,35 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p-} = M_{y,Ed,p-} e_i * |N_{Ed}| = -21,95 \text{ kN.m} \quad M_{z,0,Ed,p-} = M_{z,Ed,p-} e_i * |N_{Ed}| = -2,55 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}))$$

$$M_{z,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}))$$

$$M_{y,0e+} = 2,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0e+} = 2,67 \text{ kN.m}$$

Štíhlost prvku:

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{12} * b * h^3 / b * h} = 0,061 \text{ m} \quad i_z = \sqrt{\frac{1}{12} * h * b^3 / b * h} = 0,061 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_0 / i_y = 28,87 \quad \lambda_z = L_0 / i_z = 28,87$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = 105 \text{ mm}$$

$$\varphi_{(\infty, t_0)} = 2,5$$

$$\varphi_{ef,y} = \varphi_{(\infty, t_0)} * \frac{M_{y,kv}}{\min\left(\frac{|M_{y,0,Ed,h+}| + |M_{y,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{y,0,Ed,h-}| + |M_{y,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 3,2787$$

$$\varphi_{ef,z} = \varphi_{(\infty, t_0)} * \frac{M_{z,kv}}{\min\left(\frac{|M_{z,0,Ed,h+}| + |M_{z,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{z,0,Ed,h-}| + |M_{z,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 2,0734$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = 0,5352$$

$$r_{m,y} = \max\left(\frac{\min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}{\max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}{\max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}\right) = -2,844$$

$$r_{m,z} = \max\left(\frac{\min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}{\max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}{\max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}\right) = 7,342$$

$$\begin{aligned}
 A_y &= 1/(1 + 0,2 * \phi_{ef,y}) = 0,60 \\
 B_y &= \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,44 \\
 C_y &= \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 4,54 \\
 n_y &= |N_{Ed}|/(A_c * f_{cd}) = 0,61
 \end{aligned}$$

$$\lambda_{lim,y} = 20 * A_y * B_y * \frac{C_y}{\sqrt{n_y}} = 101,51$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &< \lambda_{lim,y} \\
 28,87 &< 101,51
 \end{aligned}$$

Bez vlivu 2. řádu

$$\begin{aligned}
 A_y &= 1/(1 + 0,2 * \phi_{ef,y}) = 0,71 \\
 B_y &= \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,44 \\
 C_y &= \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 0,70 \\
 n_y &= |N_{Ed}|/(A_c * f_{cd}) = 0,61
 \end{aligned}$$

$$\lambda_{lim,z} = 20 * A_z * B_z * \frac{C_z}{\sqrt{n_z}} = 18,30$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_z &> \lambda_{lim,z} \\
 28,87 &> 18,30
 \end{aligned}$$

S vlivem 2. řádu

Vliv 2. řádu:

$$\begin{aligned}
 \eta &= 0,61 \\
 \eta_u &= 1,54 \\
 K_r &= 0,82 \\
 K_{\phi,y} &= 1,000 \\
 K_{\phi,z} &= 1,318
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{f_{yd}}{200} * \frac{1}{0,45 * \min(d_y; d_z)} = 0,032$$

$$\frac{1}{r_y} = K_r * K_{\phi,y} * 1/r_0 = 0,026$$

$$e_{2,y} = \frac{1}{r_y} * \frac{L_0^2}{c} = 0,0000 \text{ m}$$

$$\frac{1}{r_z} = K_r * K_{\phi,z} * 1/r_0 = 0,034$$

$$e_{2,z} = \frac{1}{r_z} * \frac{L_0^2}{c} = 0,0105 \text{ m}$$

Momenty 2. řádu s vlivem imperfekcí:

$$\begin{aligned}
 M_{y,ed,h} &= \max(|M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|) + e_{2,y} * |N_{Ed}| = 6,35 \text{ kN.m} \\
 M_{y,ed,p} &= \max(|M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,p-}|) + e_{2,y} * |N_{Ed}| = 21,95 \text{ kN.m} \\
 M_{z,ed,h} &= \max(|M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|) + e_{2,z} * |N_{Ed}| = 8,22 \text{ kN.m} \\
 M_{y,ed,p} &= \max(|M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,p-}|) + e_{2,z} * |N_{Ed}| = 7,22 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Stanovení momentu pro výpočet únosnosti:

$$M_{y,Ed} = \max(M_{y,ed,h}; M_{y,ed,p}; |M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|; |M_{y,0,Ed,p-}|) = 21,95 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = \max(M_{z,ed,h}; M_{z,ed,p}; |M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|; |M_{z,0,Ed,p-}|) = 8,22 \text{ kN.m}$$

**ITERAČNÍ DIAGRAM:**

Rameno vnitřních sil, přetvoření betonu:

$$\begin{aligned}
 z_{s,y} &= d_y - h/2 = 47 \text{ mm} \\
 z_{s,z} &= d_z - b/2 = 47 \text{ mm} \\
 \epsilon_{cu} &= 0,0035 \\
 \epsilon_{yd} &= 0,00217 \\
 \epsilon_{cu} &= 0,002 \\
 \sigma_{s,y,z} &= E_s * \epsilon_{cu} = 0,40 \text{ GPa} \quad 400000 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Stanovení bodu 0:

$$\begin{aligned}
 N_{y,z,Rd,0} &= -(b * h * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}) = -1097 \text{ kN} \\
 M_{y,Rd,0} &= (A_{s,y} * z_{s,y} - A_{s,y} * z_{s,y}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m} \\
 M_{z,Rd,0} &= (A_{s,z} * z_{s,z} - A_{s,z} * z_{s,z}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

### Stanovení bodu 1:

$$\lambda = 0,8$$

$$\eta = 1,0$$

$$N_{y,Rd,1} = -(\lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z}) = -561 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,1} = -(\lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z}) = -561 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_y) + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,y} = 25,2 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,1} = \lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} * 0,5 * (b - \lambda * d_z) + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,z} = 25,2 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 2:

$$x_{BAL,1,y} = \frac{\varepsilon_{cu} * d_y}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 93,8 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,z} = \frac{\varepsilon_{cu} * d_z}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 93,8 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,y} = \frac{\varepsilon_{cu} * (h - d_y)}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{yd}} = 152,6 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,z} = \frac{\varepsilon_{cu} * (b - d_z)}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{yd}} = 152,6 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,y} < x_{BAL,2,y}$$

$$x_{BAL,1,z} < x_{BAL,2,z}$$

$$0,0938 < 0,1526$$

$$0,0938 < 0,1526$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$N_{y,Rd,2} = -(\lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta + A_{s,y} * \sigma_s - A_{s,y} * f_{yd}) = -250,9 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,2} = -(\lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta + A_{s,z} * \sigma_s - A_{s,z} * f_{yd}) = -250,9 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,2} = \lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (h - \lambda * x_{BAL,1,y}) + A_{s,y} * \sigma_s * z_{s,y} + A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 31,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,2} = \lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (b - \lambda * x_{BAL,1,z}) + A_{s,z} * \sigma_s * z_{s,z} + A_{s,z} * f_{yd} * z_{s,z} = 31,0 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 3:

$$x_y = \frac{A_{s,y} * f_{yd}}{\lambda * b * \eta * f_{cd}} = 53 \text{ mm}$$

$$x_z = \frac{A_{s,z} * f_{yd}}{\lambda * h * \eta * f_{cd}} = 53 \text{ mm}$$

$$N_{y,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 19,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 19,3 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 4:

$$N_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} = 147,5 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,4} = A_{s,z} * f_{yd} = 147,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 6,9 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 6,9 \text{ kN.m}$$

### Stanovení bodu 5:

$$N_{y,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 393,4 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 393,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

### Omezená hodnota normálové síly:

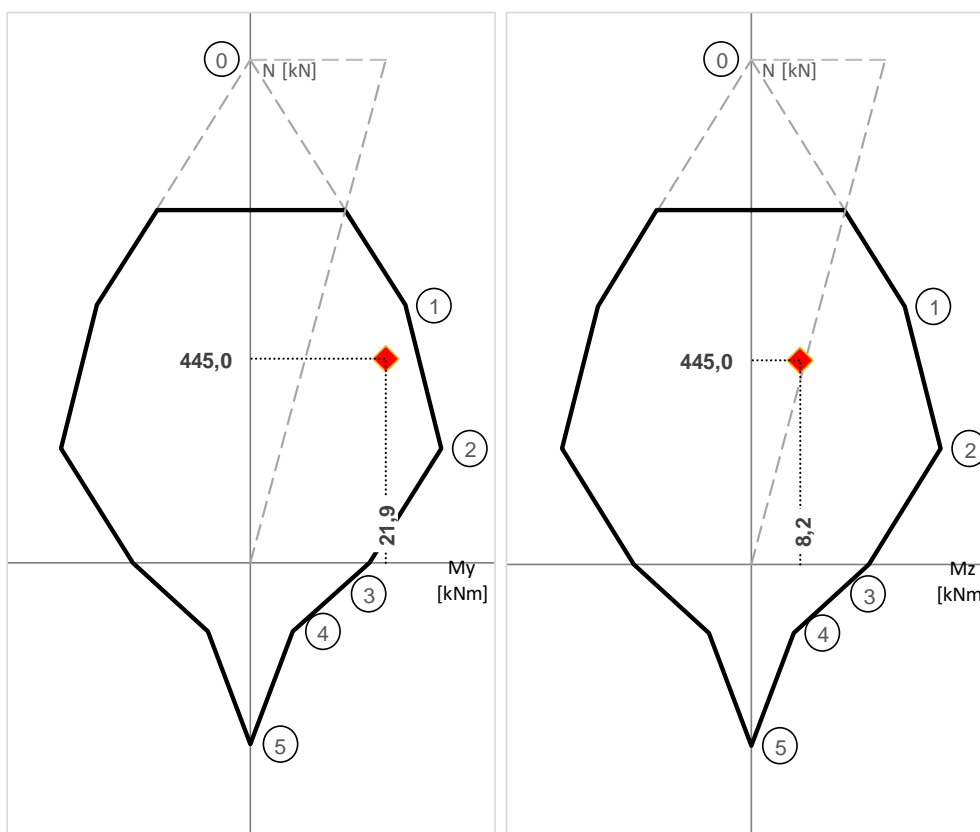
$$e_{0,y} = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm}$$

$$e_{0,z} = \max\left(\frac{b}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm}$$

$$M_{0,y} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,y}| = 21,9 \text{ kN.m}$$

$$M_{0,z} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,z}| = 21,9 \text{ kN.m}$$

Interakční diagram:



**POSOUZENÍ:**

Maximální Normálová síla z diagramu:

$$N_{EN,y} = 770 \text{ kN}$$

$$N_{EN,z} = 770 \text{ kN}$$

Posouzení normálové síly  $N_{Ed} = -445 \text{ kN}$

$$N_{Rd,max} = \min(N_{EN,y}; N_{EN,z}) = 770 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{l} N_{Ed} < N_{Rd,max} \\ 445,00 < 769,63 \end{array}$$

**VYHOVUJE**

Mometová únosnost při zatížení  $N_{ed} = -445 \text{ kN}$

$$M_{Rd,y} = 27 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 27 \text{ kN.m}$$

$$\begin{array}{l} M_{y,Ed} < M_{Rd,y} \\ 21,95 < 27 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} M_{z,Ed} < M_{Rd,z} \\ 8,22 < 27 \end{array}$$

**VYHOVUJE**

**VYHOVUJE**

Ověření únosnosti v obou směrech:

$$\begin{array}{l} (e_y/h_{eq})/(e_z/b_{eq}) \leq 0,2 \\ 0,77 > 0,2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} (e_z/b_{eq})/(e_y/h_{eq}) \leq 0,2 \\ 1,30 > 0,2 \end{array}$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět alespoň jedna**

$$\begin{array}{l} \lambda_y/\lambda_z \leq 2 \\ 1,00 < 2,0 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \lambda_z/\lambda_y \leq 2 \\ 1,00 < 2,0 \end{array}$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět obě dvě**

Vyhodnocení: => **Posoudit v obou směrech**



$$a = \frac{N_{Ed}}{h * b * \eta * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}} = 1,25$$

$$M_{y,Ed} = 21,95 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 8,22 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,y} = 27 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 27 \text{ kN.m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}}\right)^a \leq 1,0$$

$$0,98 < 1,0$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE V ONOU SMĚRECH**

#### Návrh smykové výztuže:

##### Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

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

$$V_{Rd,max} = v * f_{cd} * b * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 170 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad [\text{kN}]$$

$$49 \leq 170 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

#### Návrh třmínků:

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$$

**Návrh:** Dvoustřížné třmínky  $\emptyset 8$

#### Osová vzdálenost třmínků v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,41 \text{ m} \quad 415 \text{ mm}$$

$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,12225 \text{ m} \quad 122 \text{ mm}$$

$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

#### Osová vzdálenost třmínků v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,122 \text{ m} \quad 122 \text{ mm}$$

#### Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b} * s_1 = 0,539\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,21\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0028\%$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$

$$0,0028\% \leq 0,539\% \leq 1,21\%$$

**VYHOVUJE**

#### Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 102 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$

$$49 \leq 102 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

Náraz automobilu na sloup nemělo téměř žádný vliv na výsledný návrh konstrukce. V posudku je vidět, že oproti předchozího návrhu, kde stačili pouze 4 pruty o průměru 12 mm, je zde použito 6 prutů stejného průměru s tím, že konstrukce má nyní docela i rezervu v únosnosti. Její využití je teď 81 %.

Byla ještě jedna varianta, jak docílit toho, aby sloup vyhověl vlivu mimořádného zatížení, a to zvětšit jeho průřez na 220 x 220 mm. V takovém případě by vyztužení mohlo zůstat stejné jako v běžném stavu.

Pokud by návrh konstrukce zůstal stejný jako v běžném stavu a došlo by k posuzovanému nárazu vozidla, sloup by byl využit na 112 %. Je tedy možné se domnívat, že v takovém případě by nemělo dojít ke kolapsu sloupu, vzhledem k přihlídnutí k veškerým součinitelům bezpečnosti.

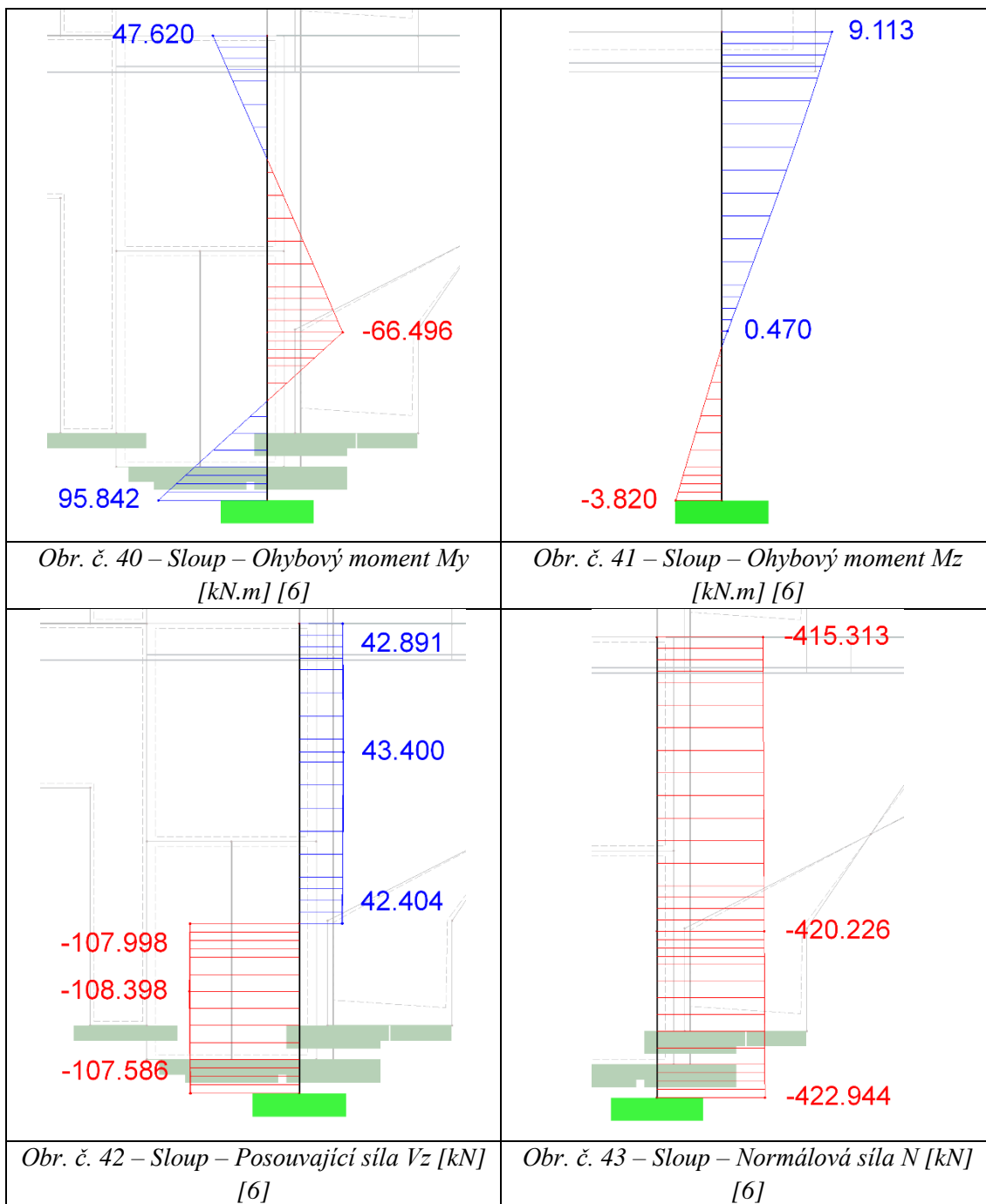
Zkoumání imperfekce na výsledný návrh konstrukce v tomto případě nehrálo žádnou roli, a to hlavně kvůli tomu, že vychýlení do strany v hlavě sloupu držela stropní konstrukce, která je ve vodorovném směru velice tuhá.

## 11.2. NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA DO SLOUPU

V tomto zatěžovacím stavu bude sloup č. 2 přitížen mimořádným zatížením od nárazu těžkého vozidla s hmotností nad 3,5 t. Bude se tedy jednat o zatížení o velikosti 150 kN ve vodorovném směru ve výšce 1,5 m nad zemí.

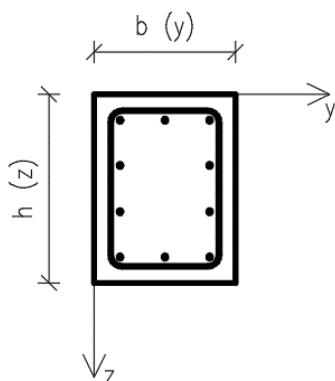
Po překontrolování vnitřních sil se ukázalo, že tento zatěžovací styl má vliv pouze na vnitřní síly přitíženého sloupu. Žádné jiné prvky tedy v tomto zatěžovacím stavu nebudou posuzovány.

### VNITŘNÍ SÍLY:



**Materiálové charakteristiky:**

Beton: C30/37	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$			434,8 MPa	434783 kPa
	16,67 MPa	16667 kPa	$E_s =$	200 GPa	
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

**Vstupní hodnoty:**

$h =$	400 mm	0,4 m
$b =$	210 mm	0,21 m
$L =$	3500 mm	3,5 m
$A_c =$	84000 mm <sup>2</sup>	0,084 m <sup>2</sup>
$u =$	1220 mm	1,22 m

**Vnitřní síly:**

$N_{Ed} =$	-425 kN		
$M_{y,Ed,h} =$	-67 kN.m	$M_{z,Ed,h} =$	10 kN.m
$M_{y,Ed,p} =$	96 kN.m	$M_{z,Ed,p} =$	-4 kN.m
$M_{y,kv} =$	83 kN.m	$M_{z,kv} =$	6,8 kN.m

**Návrh ohybové výztuže:****Minimální plocha ohybové výztuže:**

$\emptyset_n =$	16 mm	(nosná výztuž)
$\emptyset_s =$	12 mm	(smykový výztuž)
$c =$	40 mm	

$$d_y = h - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 340 \text{ mm} \quad d_z = b - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$A_{s,req,y} = \frac{f_{cd} * b * d_y}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,Ed}}{b * d_y^2 * f_{cd}}} \right) \quad A_{s,req,z} = \frac{f_{cd} * h * d_z}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{z,Ed}}{h * d_z^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req,y} = 0,000753 \text{ m}^2 \quad 753 \text{ mm}^2 \quad A_{s,req,z} = 0,000159 \text{ m}^2 \quad 159 \text{ mm}^2$$

**Návrh ohybové výztuže:**

$$A_{s,min,y} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_y; 0,0013 * b * d_y\right) \quad A_{s,min,z} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d_z; 0,0013 * h * d_z\right)$$

$$A_{s,min,y} = 95 \text{ mm}^2 \quad A_{s,min,z} = 80 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max,y} = 0,04 * b * h = 3360 \text{ mm}^2 \quad A_{s,max,z} = 0,04 * b * h = 3360 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = 201 \text{ mm}^2 \quad A_{s,1} = 201 \text{ mm}^2$$

**Návrh:**  $\underline{3 \times \emptyset 16}$  **Návrh:**  $\underline{2 \times \emptyset 16}$

$$A_{s,y} = 603 \text{ mm}^2 \quad A_{s,z} = 402 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2 * A_{s,y} + 2 * A_{s,z} - 4 * A_{s,1} = 1206 \text{ mm}^2$$

**Vzpěrná délka:**

$$L_{0,y} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m} \quad L_{0,z} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m}$$

**Imperfekce:**

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 = 1,00$$

$$\alpha_m = 1,00$$

$$\Theta_0 = 0,005$$

$$\Theta_i = \Theta_0 * \alpha_m * \alpha_h = 0,005$$

$$e_i = 0,0044 \text{ m}$$

**Momenty prvního řádu vlivem imperfekcí:**

$$M_{y,0,Ed,h+} = M_{y,Ed,h+} * e_i * |N_{Ed}| = -65,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,h+} = M_{z,Ed,h+} * e_i * |N_{Ed}| = 11,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p+} = M_{y,Ed,p+} * e_i * |N_{Ed}| = 97,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,p+} = M_{z,Ed,p+} * e_i * |N_{Ed}| = -2,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,h-} = M_{y,Ed,h-} * e_i * |N_{Ed}| = -68,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,h-} = M_{z,Ed,h-} * e_i * |N_{Ed}| = 8,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p-} = M_{y,Ed,p-} * e_i * |N_{Ed}| = 94,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,p-} = M_{z,Ed,p-} * e_i * |N_{Ed}| = -5,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}))$$

$$M_{z,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}))$$

$$M_{y,0e+} = 39,14 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0e+} = 6,26 \text{ kN.m}$$

**Štíhlost prvku:**

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{12} * b * h^3 / b * h} = 0,115 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{12} * h * b^3 / b * h} = 0,061 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_0 / i_y = 15,16$$

$$\lambda_z = L_0 / i_z = 28,87$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = 138 \text{ mm}$$

$$\varphi_{(\infty,t_0)} = 2,5$$

$$\varphi_{ef,y} = \varphi_{(\infty,t_0)} * \frac{M_{y,kv}}{\min\left(\frac{|M_{y,0,Ed,h+}| + |M_{y,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{y,0,Ed,h-}| + |M_{y,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 2,5460$$

$$\varphi_{ef,z} = \varphi_{(\infty,t_0)} * \frac{M_{z,kv}}{\min\left(\frac{|M_{z,0,Ed,h+}| + |M_{z,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{z,0,Ed,h-}| + |M_{z,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 2,4286$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = 0,3746$$

$$r_{m,y} = \max\left(\frac{\min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}{\max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}{\max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}\right) = -0,666$$

$$r_{m,z} = \max\left(\frac{\min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}{\max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}{\max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}\right) = -0,181$$

$$A_y = 1 / (1 + 0,2 * \varphi_{ef,y}) = 0,66$$

$$A_y = 1 / (1 + 0,2 * \varphi_{ef,y}) = 0,67$$

$$B_y = \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,32$$

$$B_y = \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,32$$

$$C_y = \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 2,37$$

$$C_y = \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 1,88$$

$$n_y = |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) = 0,30$$

$$n_y = |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) = 0,30$$

$$\lambda_{lim,y} = 20 * A_y * B_y * \frac{C_y}{\sqrt{n_y}} = 75,26$$

$$\lambda_{lim,z} = 20 * A_z * B_z * \frac{C_z}{\sqrt{n_z}} = 60,77$$

$$\lambda_y < \lambda_{lim,y} \\ 15,16 < 75,26$$

$$\lambda_z < \lambda_{lim,z} \\ 28,87 < 60,77$$

**Bez vlivu 2. řádu****Bez vlivu 2. řádu**

### Stanovení momentu pro výpočet únosnosti:

$$M_{y,Ed} = \max(M_{y,ed,h}; M_{y,ed,p}; |M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|; |M_{y,0,Ed,p-}|) = 97,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = \max(M_{z,ed,h}; M_{z,ed,p}; |M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|; |M_{z,0,Ed,p-}|) = 11,86 \text{ kN.m}$$

### ITERAČNÍ DIAGRAM:

#### Rameno vnitřních sil, přetvoření betonu:

$$z_{s,y} = d_y - h/2 = 140 \text{ mm}$$

$$z_{s,z} = d_z - b/2 = 45 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\epsilon_{yd} = 0,00217$$

$$\epsilon_{cu} = 0,002$$

$$\sigma_{s,y,z} = E_s * \epsilon_{cu} = 0,40 \text{ GPa} \quad 400000 \text{ kPa}$$

#### Stanovení bodu 0:

$$N_{y,z,Rd,0} = -(b * h * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}) = -1883 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,0} = (A_{s,y} * z_{s,y} - A_{s,z} * z_{s,y}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,0} = (A_{s,z} * z_{s,z} - A_{s,y} * z_{s,z}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m}$$

#### Stanovení bodu 1:

$$\lambda = 0,8$$

$$\eta = 1,0$$

$$N_{y,Rd,1} = -(\lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z}) = -1193 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,1} = -(\lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z}) = -961 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_y) + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,y} = 94,7 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} * 0,5 * (b - \lambda * d_z) + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,z} = 43,2 \text{ kN.m}$$

#### Stanovení bodu 2:

$$x_{BAL,1,y} = \frac{\epsilon_{cu} * d_y}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 209,9 \text{ mm} \quad x_{BAL,1,z} = \frac{\epsilon_{cu} * d_z}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 92,6 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,y} = \frac{\epsilon_{cu} * (h - d_y)}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}} = 157,9 \text{ mm} \quad x_{BAL,2,z} = \frac{\epsilon_{cu} * (b - d_z)}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}} = 157,9 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,y} > x_{BAL,2,y} \quad x_{BAL,1,z} < x_{BAL,2,z}$$

$$0,2099 > 0,1579 \quad 0,0926 < 0,1579$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434783 \text{ kPa} \quad \sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$N_{y,Rd,2} = -(\lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta + A_{s,y} * \sigma_s - A_{s,y} * f_{yd}) = -587,7 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,2} = -(\lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta + A_{s,z} * \sigma_s - A_{s,z} * f_{yd}) = -479,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,2} = \lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (h - \lambda * x_{BAL,1,y}) + A_{s,y} * \sigma_s * z_{s,y} + A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 141,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,2} = \lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (b - \lambda * x_{BAL,1,z}) + A_{s,z} * \sigma_s * z_{s,z} + A_{s,z} * f_{yd} * z_{s,z} = 48,7 \text{ kN.m}$$

#### Stanovení bodu 3:

$$x_y = \frac{A_{s,y} * f_{yd}}{\lambda * b * \eta * f_{cd}} = 94 \text{ mm} \quad x_z = \frac{A_{s,z} * f_{yd}}{\lambda * h * \eta * f_{cd}} = 33 \text{ mm}$$

$$N_{y,Rd,3} = 0,0 \text{ kN} \quad N_{z,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 79,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 23,9 \text{ kN.m}$$

#### Stanovení bodu 4:

$$N_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} = 262,3 \text{ kN} \quad N_{z,Rd,4} = A_{s,z} * f_{yd} = 174,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 36,7 \text{ kN.m} \quad M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 7,9 \text{ kN.m}$$

#### Stanovení bodu 5:

$$N_{y,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 524,5 \text{ kN} \quad N_{z,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 524,5 \text{ kN}$$

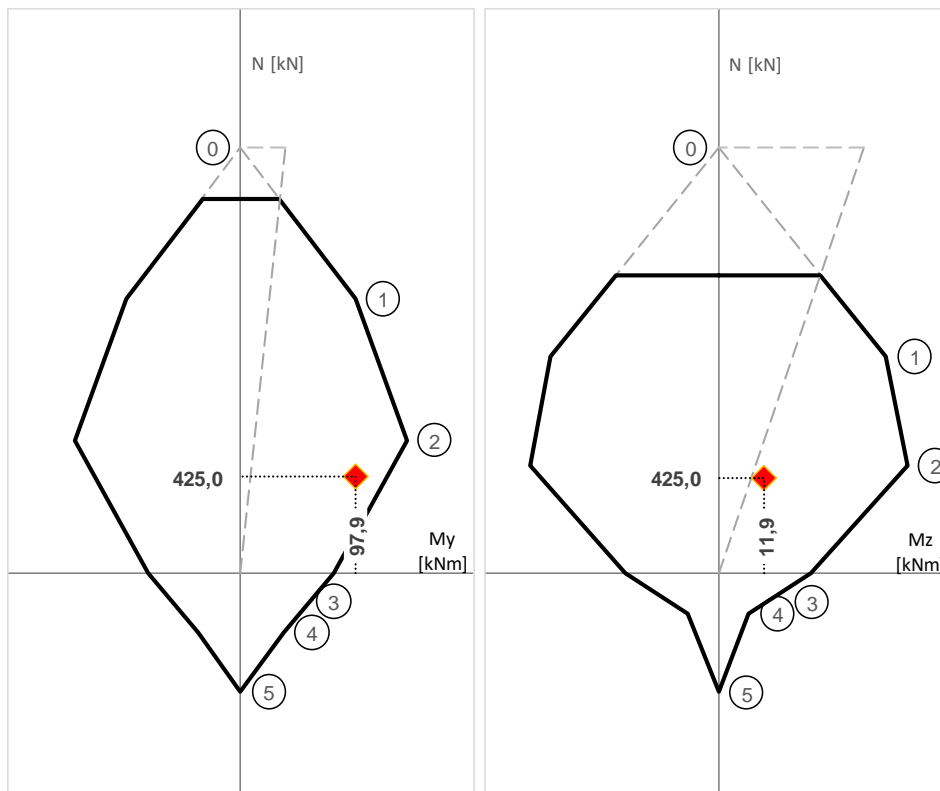
$$M_{y,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m} \quad M_{z,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

Omezená hodnota normálové síly:

$$e_{0,y} = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm} \quad e_{0,z} = \max\left(\frac{b}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm}$$

$$M_{0,y} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,y}| = 37,7 \text{ kN.m} \quad M_{0,z} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,z}| = 37,7 \text{ kN.m}$$

Interakční diagram:



**POSOUZENÍ:**

Maximální Normálová síla z diagramu:

$$N_{EN,y} = 1656 \text{ kN}$$

$$N_{EN,z} = 1320 \text{ kN}$$

Posouzení normálové síly  $N_{Ed} = -425 \text{ kN}$

$$N_{Rd,max} = \min(N_{EN,y}; N_{EN,z}) = 1320 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd,max}$$

$$425,00 < 1319,85$$

**VYHOVUJE**

Momentová únosnost při zatížení  $N_{ed} = -425 \text{ kN}$

$$M_{Rd,y} = 124 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 46 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Ed} < M_{Rd,y}$$

$$97,86 < 124$$

$$M_{z,Ed} < M_{Rd,z}$$

$$11,86 < 46$$

**VYHOVUJE**

**VYHOVUJE**

Ověření únosnosti v obou směrech:

$$(e_y/h_{eq})/(e_z/b_{eq}) \leq 0,2$$

$$3,05 > 0,2$$

$$(e_z/b_{eq})/(e_y/h_{eq}) \leq 0,2$$

$$0,33 > 0,2$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět alespoň jedna**

$$\lambda_y/\lambda_z \leq 2$$

$$0,53 < 2,0$$

$$\lambda_z/\lambda_y \leq 2$$

$$1,90 < 2,0$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět obě dvě**

Vyhodnocení: => **Posoudit v obou směrech**

$$a = \frac{N_{Ed}}{h * b * \eta * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}} = 1,10$$

$$M_{y,Ed} = 97,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 11,86 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,y} = 124 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 46 \text{ kN.m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}}\right)^a \leq 1,0$$

$$0,99 < 1,0$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE V OBOU SMĚRECH**

Návrh smykové výztuže:

Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

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

$$V_{Rd,max} = v * f_{cd} * b * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 320 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad [\text{kN}]$$

$$108 \leq 320 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

Návrh třmínků:

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$$

Návrh: Dvoustřížné třmínky  $\emptyset 8$

Osová vzdálenost třmínků v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,35 \text{ m} \quad 354 \text{ mm}$$

$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,22725 \text{ m} \quad 227 \text{ mm}$$

$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínků v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,227 \text{ m} \quad 227 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b * s_1} = 0,539\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,21\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0028\%$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0028\% \leq 0,539\% \leq 1,21\%$$

**VYHOVUJE**

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 191 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$

$$108 \leq 191 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**



Náraz těžkého vozidla na sloup již mělo poměrně znatelný vliv na návrh konstrukce. Zde se již nezměnilo jen samotné vyztužení sloupu, ale ve výrazném měřítku i průřez konstrukce. Oproti běžnému stavu je zde použita přibližně 2,5x větší plocha ohybové výztuže a přibližně 2x větší objem betonu

Pokud by návrh konstrukce zůstal stejný jako v běžném stavu a došlo by k posuzovanému nárazu těžkého vozidla, sloup by byl využit přibližně na 403 %. V takovém případě je už docela pravděpodobné, že by to sloup nevydržel a došlo k jeho kolapsu. Následně by se síla, která šla původně do sloupu, musela roznést do konstrukce.

Zkoumání imperfekce na výsledný návrh konstrukce v tomto případě nehrálo žádnou roli, a to hlavně kvůli tomu, že vychýlení do strany v hlavě sloupu držela stropní konstrukce, která je ve vodorovném směru velice tuhá.

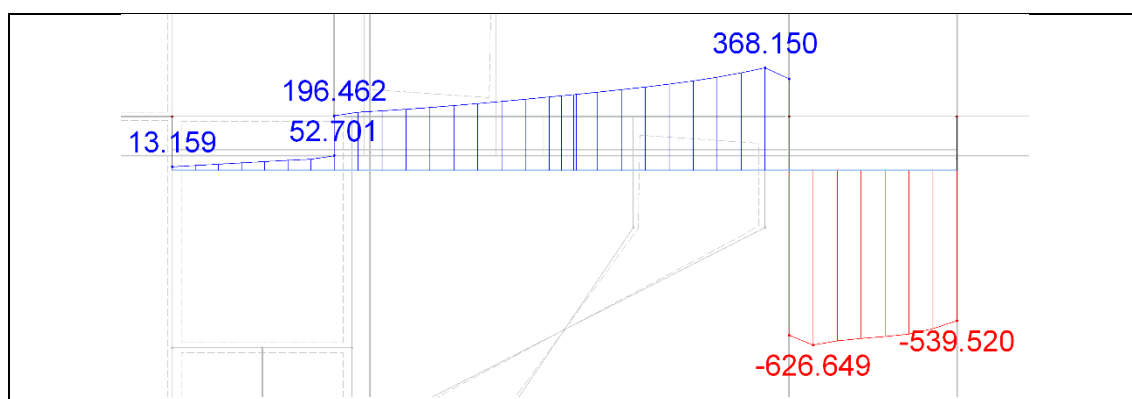
## 11.3. KOLAPS SLOUPU S2

V tomto zatěžovacím stavu se předpokládá, že může dojít ke kolapsu sloupu S2 a je tedy potřeba zjistit, jaký to bude mít dopad na zbytek konstrukce a jak se musí případně upravit dimenze a vyztužení dotčených částí konstrukce.

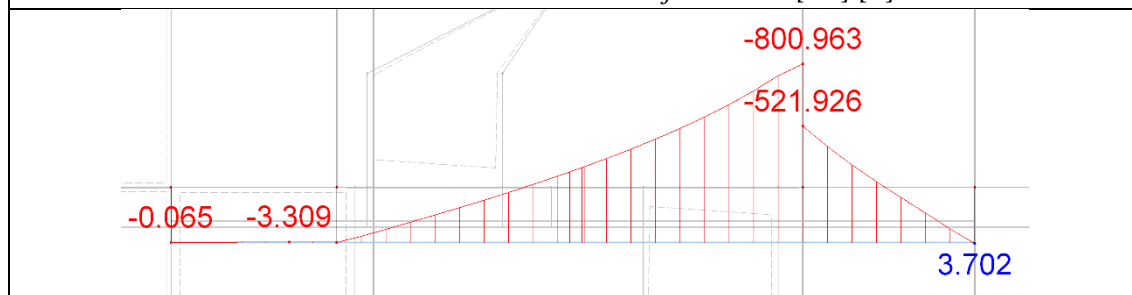
Po vyhodnocení vnitřních sil se ukázalo, že tento zatěžovací stav má dopad na následující části posuzované konstrukce: průvlaky P2 a P3, sloup S3 a deska 1.NP. Ostatní části konstrukce nemusí být přeposouzeny, jelikož v jejich vnitřních silách došlo jen k zanedbatelným změnám.

### PŘEPOSOUZENÍ PRŮVLAKU P2

#### VNITŘNÍ SÍLY:



Obr. č. 44 – Průvlak P3 – Posouvající síla Vz [kN] [6]



Obr. č. 45 – Průvlak P3 – Ohybový moment My [kN.m] [6]

#### STATICKÝ VÝPOČET:

##### Materiálové charakteristiky:

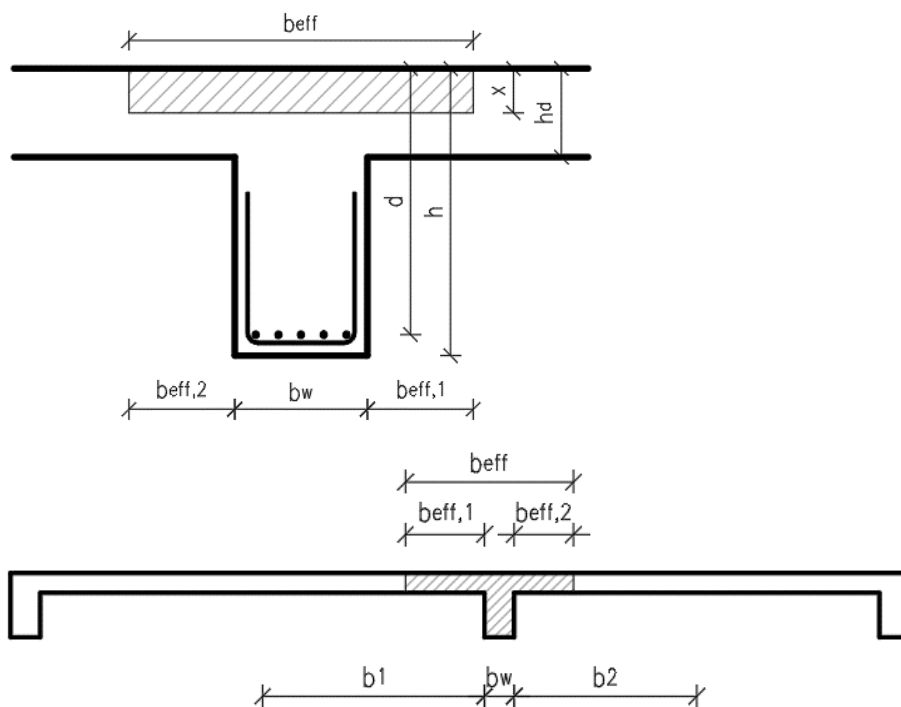
Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$		$f_{yd} =$	434,8 MPa	434783 kPa
$f_{cd} =$	16,67 MPa	16667 kPa			
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

Vnitřní síly:

$M_{Ed} =$	4 kN.m	Moment u spodního povrchu
$M_{Ed} =$	801 kN.m	Moment u horního povrchu
$V_{Ed} =$	627 kN	

**Návrh ohybové výztuže na moment u spodního povrchu:**

Vstupní hodnoty:



$b_w =$	400 mm	0,4 m
$b_1 =$	3950 mm	3,95 m
$b_2 =$	400 mm	0,4 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	900 mm	0,9 m
$l_0 =$	6500 mm	6,5 m

Spolupůsobící šířka:

$b_{eff,1} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 =$	1300 mm	1,3 m
$b_{eff,2} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_2 + 0,1 * l_0 =$	730 mm	0,73 m
$b_{eff} =$	$b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$	2430 mm	2,43 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

$\varnothing_n =$	12 mm	(nosná výztuž)
$\varnothing_s =$	8 mm	(smykový výztuž)
$c =$	25 mm	

$$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 861 \text{ mm} \quad 0,861 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b_{eff} * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000011 \text{ m}^2 \quad 11 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_w * d; 0,0013 * b_w * d\right) = 0,000459 \text{ m}^2 \quad 459 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 * b_w * h = 0,0144 \text{ m}^2 \quad 14400 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $\underline{2 \times \emptyset 12}$

$$A_s = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$$

Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b_{eff} * f_{cd}} = 0,0030 \text{ m} \quad 3,0 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,8598 \text{ m} \quad 859,8 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 85 \text{ kN.m}$$

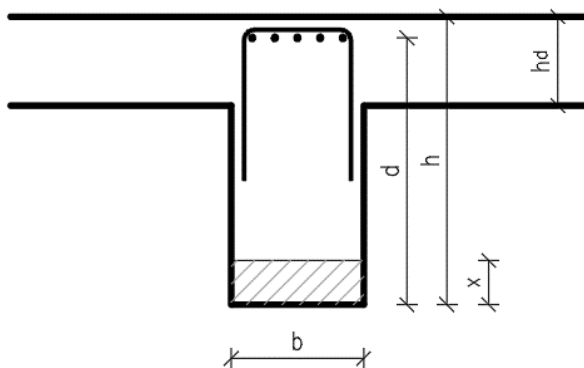
$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$4 \leq 85 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh ohybové výztuže na moment u horního povrchu:

Vstupní hodnoty:



$b =$	400 mm	0,4 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	900 mm	0,9 m
$l_0 =$	6500 mm	6,5 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

$\varnothing_n =$	20 mm	(nosná výztuž)
$\varnothing_s =$	8 mm	(smykový výztuž)
$c =$	25 mm	

$$d = h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} = 857 \text{ mm} \quad 0,857 \text{ m}$$

$$A_{s, \text{req}} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,002362 \text{ m}^2 \quad 2362 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s, \text{min}} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d \right) = 0,000457 \text{ m}^2 \quad 457 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{max}} = 0,04 * b * h = 0,0144 \text{ m}^2 \quad 14400 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing = 20 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000314 \text{ m}^2 \quad 314 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $8 \times \varnothing 20$

$$A_s = 0,002513 \text{ m}^2 \quad 2513 \text{ mm}^2$$

Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = 0,2049 \text{ m} \quad 204,9 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,7750 \text{ m} \quad 775,0 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 847 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$801 \leq 847 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh smykové výztuže:

Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,54$$

$$V_{Rd,max} = v * f_{cd} * b_w * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 1496 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad [\text{kN}]$$

$$627 \leq 1496 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

Návrh třmínků:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$A_{sw} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$$

Návrh: **Dvoustřížné třmínky  $\emptyset 8$**

Osová vzdálenost třmínků v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,16 \text{ m} \quad 156 \text{ mm}$$

$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,4 \text{ m} \quad 400 \text{ mm}$$

$$s_1 = 0,15 \text{ m} \quad 150 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínků v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,600 \text{ m} \quad 600 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = A_{sw}/b_w * s_1 = 0,335\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,04\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0025\%$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0025\% \leq 0,335\% \leq 1,04\%$$

**VYHOVUJE**

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 651 \text{ kN}$$

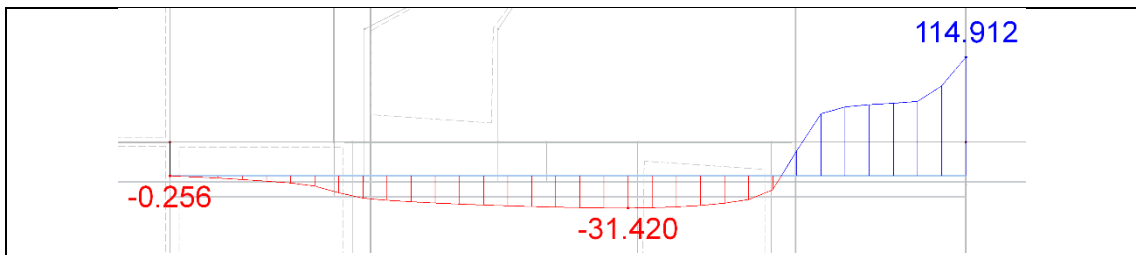
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$

$$627 \leq 651 \quad [\text{kN}]$$

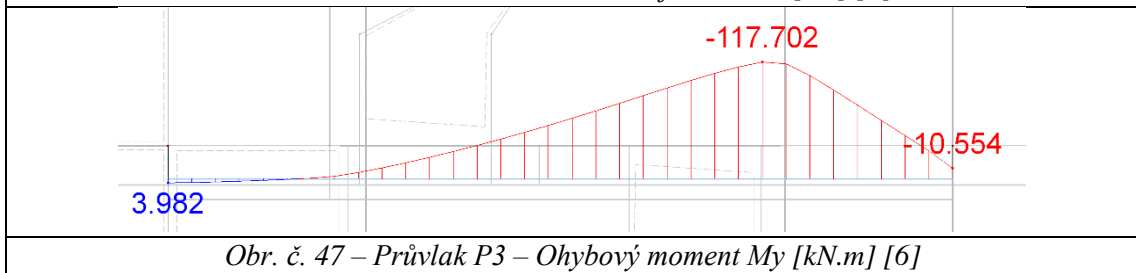
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

# PŘEPOSOUZENÍ PRŮVLAKU P3

## VNITŘNÍ SÍLY:



Obr. č. 46 – Průvlak P3 – Posouvající síla Vz [kN] [6]



Obr. č. 47 – Průvlak P3 – Ohybový moment My [kN.m] [6]

## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

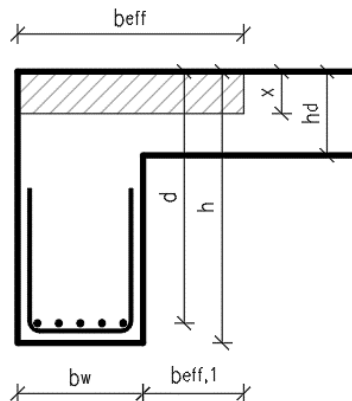
Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$		$f_{yd} =$	434,8 MPa	434783 kPa
$f_{cd} =$	16,67 MPa	16667 kPa			
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

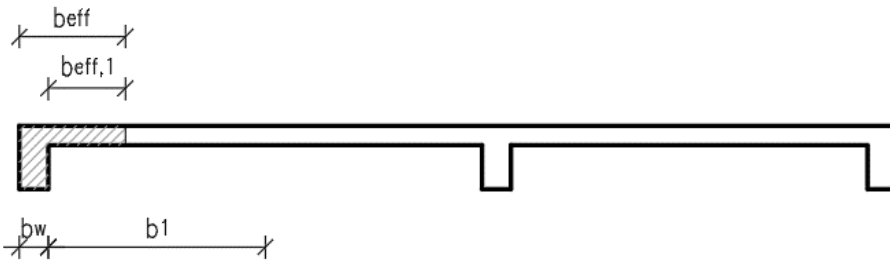
### Vnitřní síly:

$M_{Ed} =$	4 kN.m	Moment u spodního povrchu
$M_{Ed} =$	118 kN.m	Moment u horního povrchu
$V_{Ed} =$	115 kN	

### Návrh ohybové výztuže na moment u spodního povrchu:

#### Vstupní hodnoty:





$b_w =$	250 mm	0,25 m
$b_1 =$	400 mm	0,4 m
$b_2 =$	0 mm	0 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m
$h =$	550 mm	0,55 m
$l_0 =$	6500 mm	6,5 m

**Spolupůsobící šířka:**

$b_{eff,1} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_1 + 0,1 * l_0 =$	730 mm	0,73 m
$b_{eff,2} =$	$\min(0,2 * l_0; 0,2 * b_2 + 0,1 * l_0 =$	0 mm	0 m
$b_{eff} =$	$b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$	980 mm	0,98 m

**Minimální plocha ohybové výztuže:**

$\varnothing_n =$	12 mm	(nosná výztuž)	
$\varnothing_s =$	8 mm	(smykový výztuž)	
$c =$	25 mm		
$d =$	$h - c - \varnothing_s - \frac{\varnothing_n}{2} =$	511 mm	0,511 m
$A_{s,req} =$	$\frac{f_{cd} * b_{eff} * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}}}\right) =$	0,000018 m <sup>2</sup>	18 mm <sup>2</sup>

**Návrh ohybové výztuže:**

$A_{s,min} =$	$\max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b_w * d; 0,0013 * b_w * d\right) =$	0,000170 m <sup>2</sup>	170 mm <sup>2</sup>
$A_{s,max} =$	$0,04 * b_w * h =$	0,0055 m <sup>2</sup>	5500 mm <sup>2</sup>
$\varnothing =$	12 mm		
$A_{s,1} =$	0,000113 m <sup>2</sup>	113 mm <sup>2</sup>	
<b>Návrh:</b>	<u>2 x <math>\varnothing 12</math></u>		
$A_s =$	0,000226 m <sup>2</sup>	226 mm <sup>2</sup>	

**Posouzení ohybové výztuže:**

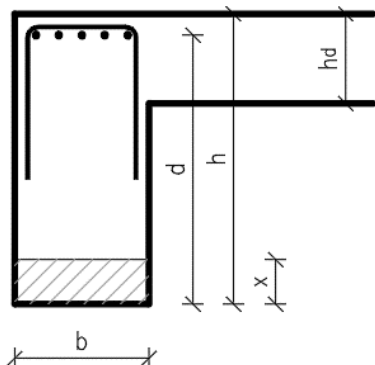
$\lambda =$	0,8		
$x =$	$\frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b_{eff} * f_{cd}} =$	0,0075 m	7,5 mm
$z =$	$d - \frac{\lambda * x}{2} =$	0,5080 m	508,0 mm
$M_{Rd} =$	$A_s * f_{yd} * z =$	50 kN.m	
$M_{Ed} \leq$	$M_{Rd}$	[kN.m]	
4	$\leq$	50	[kN.m]

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**



### Návrh ohybové výztuže na moment u horního povrchu:

Vstupní hodnoty:



b =	250 mm	0,25 m
h <sub>d</sub> =	200 mm	0,2 m
h =	550 mm	0,55 m
l <sub>0</sub> =	6500 mm	6,5 m

Minimální plocha ohybové výztuže:

∅ <sub>n</sub> =	16 mm	(nosná výztuž)
∅ <sub>s</sub> =	8 mm	(smykový výztuž)
c =	25 mm	

$$d = h - c - \frac{\varnothing_n}{2} = 509 \text{ mm} \quad 0,509 \text{ m}$$

$$A_{s, \text{req}} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 0,000566 \text{ m}^2 \quad 566 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s, \text{min}} = \max \left( 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d \right) = 0,000170 \text{ m}^2 \quad 170 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{max}} = 0,04 * b * h = 0,0055 \text{ m}^2 \quad 5500 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing = 16 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $\underline{\underline{3 \times \varnothing 16}}$

$$A_s = 0,000603 \text{ m}^2 \quad 603 \text{ mm}^2$$

Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} = 0,0787 \text{ m} \quad 78,7 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2} = 0,4775 \text{ m} \quad 477,5 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z = 125 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$118 \leq 125 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh smykové výztuže:

Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,54$$

$$V_{Rd,max} = v * f_{cd} * b_w * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 552 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad [\text{kN}]$$

$$115 \leq 552 \quad [\text{kN}]$$

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST

Návrh třmínků:

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = 0,000101 \text{ m}^2 \quad 101 \text{ mm}^2$$

Návrh: Dvoustřížné třmínky  $\emptyset 8$

Osová vzdálenost třmínků v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 0,25 \text{ m} \quad 251 \text{ mm}$$

$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,38325 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$

$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínků v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,383 \text{ m} \quad 383 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = A_{sw}/b_w * s_1 = 0,201\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,04\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0025\%$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0025\% \leq 0,201\% \leq 1,04\%$$

**VYHOVUJE**

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 144 \text{ kN}$$

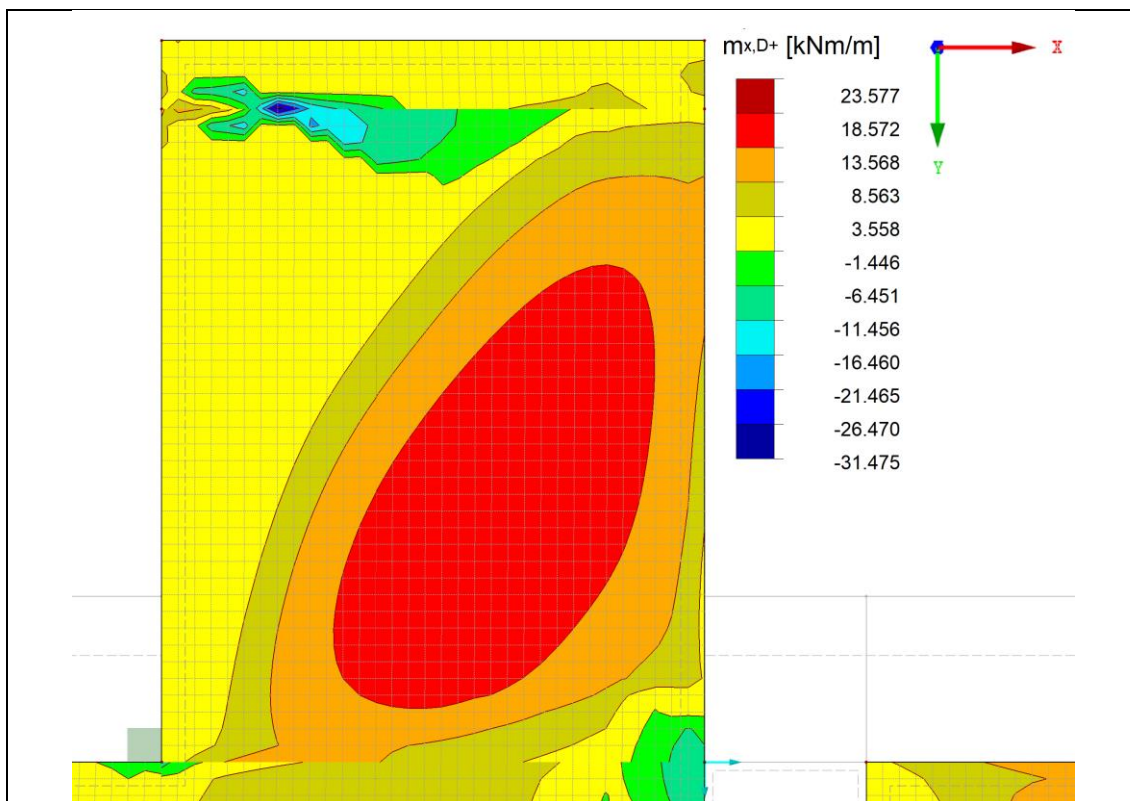
$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$

$$115 \leq 144 \quad [\text{kN}]$$

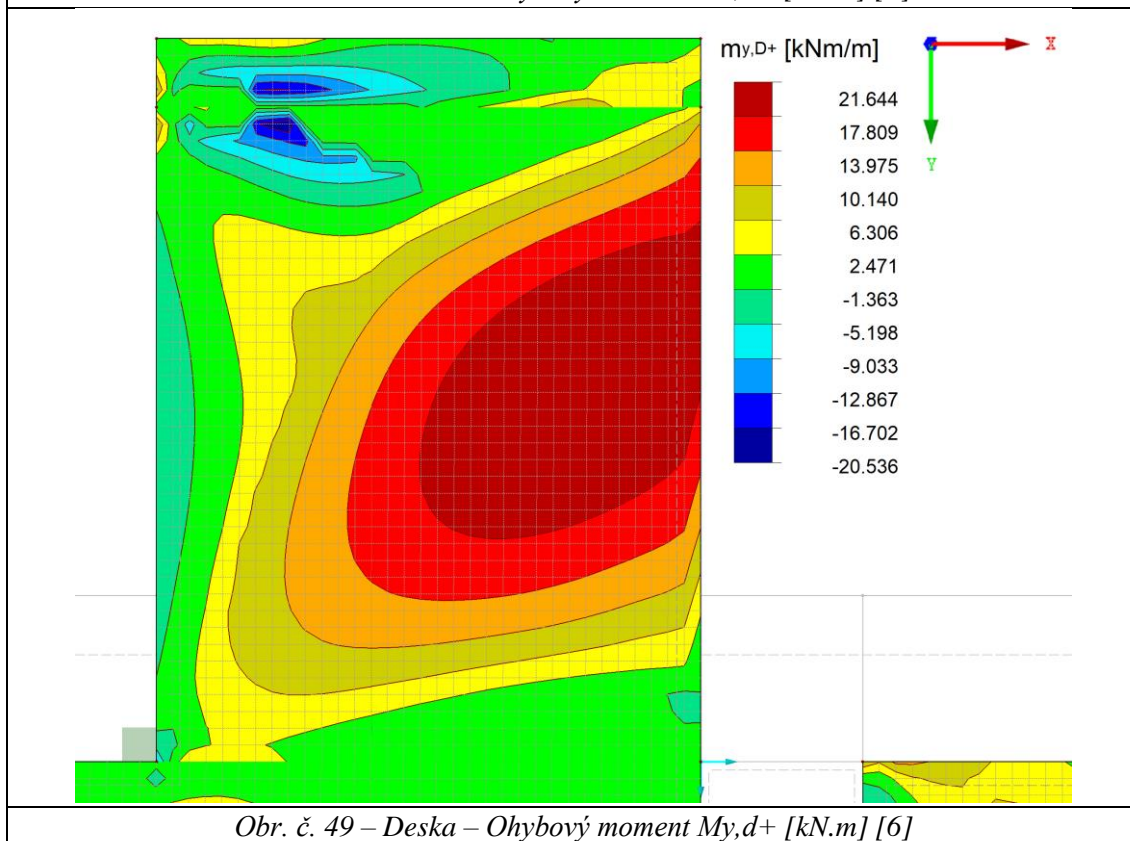
**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

# PŘEPOSOUZENÍ STROPNÍ DESKY 1.NP

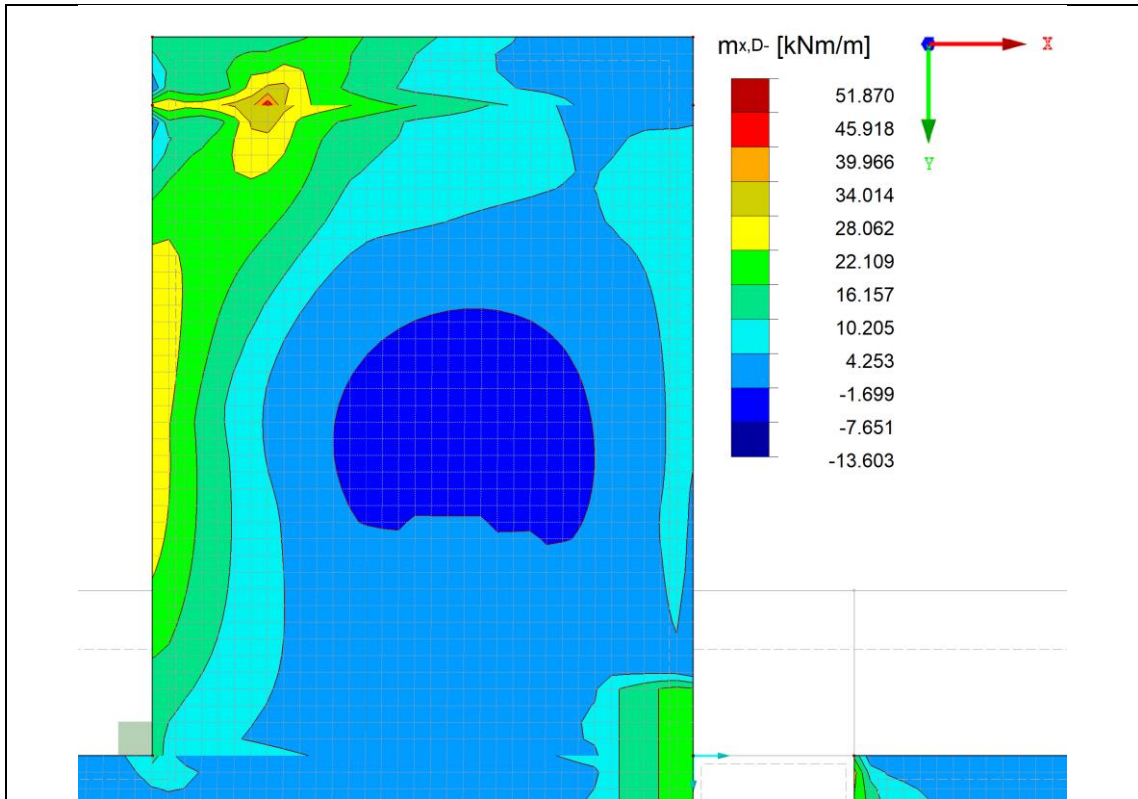
## VNITŘNÍ SÍLY:



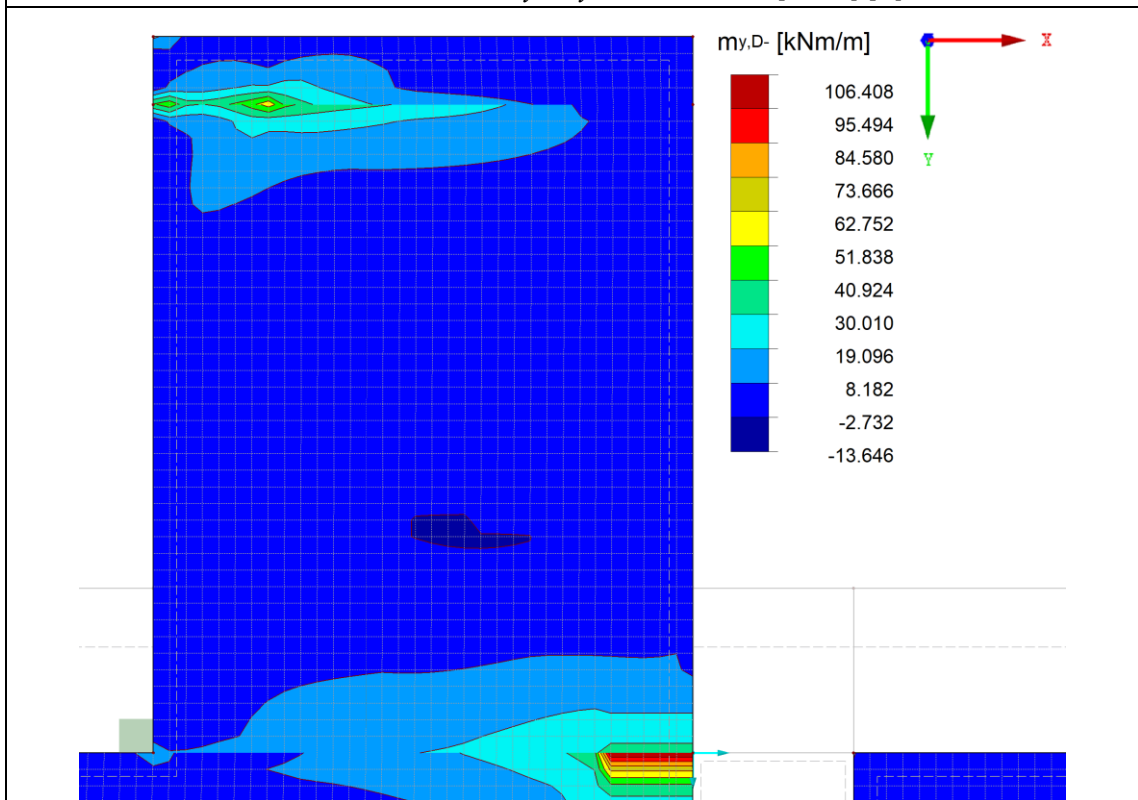
Obr. č. 48 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d+}$  [kN.m] [6]



Obr. č. 49 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d+}$  [kN.m] [6]



Obr. č. 50 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d}$  [kN.m] [6]



Obr. č. 51 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d}$  [kN.m] [6]

## NAVRŽENÍ ZÁKLADNÍHO RASTRU VÝZTUŽE:

Základní rastr výztuže bude navržen na moment u dolního povrchu desky v obou směrech. Tento rastr pak bude použit u obou povrchů i směr. desky. Dále budou navrženy příložky v místech, kde je základní rastr nedostačující.

### Materiálové charakteristiky:

Beton: C30/37	$\gamma_c =$	1,5
$D_{max} =$	16 mm	
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$	
	16,67 MPa	16667 kPa
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$	
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa
Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
	434,8 MPa	434782,6 kPa

### Vstupní hodnoty:

$b =$	1000 mm	1 m
$h_d =$	200 mm	0,2 m

**Návrh ohybové výztuže ve směru x (spodní povrch):****Minimální plocha ohybové výztuže:**

$$M_{x,D,+} = 23 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c - \frac{\emptyset}{2}$$

$$d = 169 \text{ mm} \quad 0,169 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{x,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 0,000321 \text{ m}^2 \quad 321 \text{ mm}^2$$

**Návrh ohybové výztuže:**

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

$$A_{s,min} = 0,000225 \text{ m}^2 \quad 225 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h_d$$

$$A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2$$

**Návrh:**  $4 \times \emptyset 12$   $\emptyset 12 \text{ á } 250 \text{ mm}$

$$A_s = 0,000452 \text{ m}^2 \quad 452 \text{ mm}^2$$

**Posouzení ohybové výztuže:**

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}}$$

$$x = 0,0148 \text{ m} \quad 14,8 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2}$$

$$z = 0,1631 \text{ m} \quad 163,1 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$$

$$M_{Rd} = 32 \text{ kN.m}$$

$$M_{x,D,+} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$23 \leq 32 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE****Návrh ohybové výztuže ve směru y (spodní povrch):****Minimální plocha ohybové výztuže:**

$$M_{y,D,+} = 21 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c - \frac{\emptyset}{2}$$

$$d = 157 \text{ mm} \quad 0,157 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 0,000316 \text{ m}^2 \quad 316 \text{ mm}^2$$

**Návrh ohybové výztuže:**

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

$$A_{s,min} = 0,000209 \text{ m}^2 \quad 209 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h_d$$

$$A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2$$

**Návrh:**  $4 \times \emptyset 12$   $\emptyset 12 \text{ á } 250 \text{ mm}$

$$A_s = 0,000452 \text{ m}^2 \quad 452 \text{ mm}^2$$

**Posouzení ohybové výztuže:**

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}}$$

$$x = 0,0148 \text{ m} \quad 14,8 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2}$$

$$z = 0,1511 \text{ m} \quad 151,1 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$$

$$M_{Rd} = 30 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,D,+} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

$$21 \leq 30 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

## NAVRŽENÍ PŘÍLOŽEK:

Navržení příložek bude provedeno ve třech místech u horního povrchu desky: Pro ohybový moment o velikosti 40 kN.m ve směru osy x nad posuzovaným sloupem, 55 kN.m ve směru osy y nad posuzovaným sloupem a 100 kN.m ve směru osy y u podepření stěnou od výtahové šachty.

### Návrh ohybové výztuže ve směru x (horní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{x,D,-} &= 40 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 169 \text{ mm} \quad 0,169 \text{ m} \\ A_{s,\text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{x,D,-}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,\text{req}} &= 0,000569 \text{ m}^2 \quad 569 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,\text{min}} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,\text{min}} &= 0,000225 \text{ m}^2 \quad 225 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\text{max}} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,\text{max}} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{8 \times \emptyset 12} \quad \underline{\emptyset 12 \text{ á } 125 \text{ mm}} \\ A_s &= 0,000905 \text{ m}^2 \quad 905 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0295 \text{ m} \quad 29,5 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1572 \text{ m} \quad 157,2 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 62 \text{ kN.m} \\ M_{x,D,-} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 40 &\leq 62 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

### Návrh ohybové výztuže ve směru y (horní povrch):

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}M_{y,D,-} &= 55 \text{ kN.m} \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ c &= 25 \text{ mm} \\ d &= h_d - c - \frac{\emptyset}{2} \\ d &= 157 \text{ mm} \quad 0,157 \text{ m} \\ A_{s,\text{req}} &= \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,-}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right) \\ A_{s,\text{req}} &= 0,000868 \text{ m}^2 \quad 868 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}A_{s,\text{min}} &= \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) \\ A_{s,\text{min}} &= 0,000209 \text{ m}^2 \quad 209 \text{ mm}^2 \\ A_{s,\text{max}} &= 0,04 * b * h_d \\ A_{s,\text{max}} &= 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2 \\ \emptyset &= 12 \text{ mm} \\ A_{s,1} &= 0,000113 \text{ m}^2 \quad 113 \text{ mm}^2 \\ \text{Návrh:} & \quad \underline{8 \times \emptyset 12} \quad \underline{\emptyset 12 \text{ á } 125 \text{ mm}} \\ A_s &= 0,000905 \text{ m}^2 \quad 905 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

#### Posouzení ohybové výztuže:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,8 \\ x &= \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}} \\ x &= 0,0295 \text{ m} \quad 29,5 \text{ mm} \\ z &= d - \frac{\lambda * x}{2} \\ z &= 0,1452 \text{ m} \quad 145,2 \text{ mm} \\ M_{Rd} &= A_s * f_{yd} * z \\ M_{Rd} &= 57 \text{ kN.m} \\ M_{y,D,-} &\leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}] \\ 55 &\leq 57 \quad [\text{kN.m}]\end{aligned}$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

Minimální plocha ohybové výztuže:

$$M_{y,D,-} = 100 \text{ kN.m}$$

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c - \emptyset - \frac{\emptyset}{2}$$
$$d = 151 \text{ mm} \quad 0,151 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{f_{cd} * b * d}{f_{yd}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{y,D,+}}{b * d^2 * f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 0,001804 \text{ m}^2 \quad 1804 \text{ mm}^2$$

Návrh ohybové výztuže:

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

$$A_{s,min} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 * b * h_d$$

$$A_{s,max} = 0,008 \text{ m}^2 \quad 8000 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = 0,000201 \text{ m}^2 \quad 201 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $10 \times \emptyset 16$   $\emptyset 16 \text{ á } 100 \text{ mm}$

$$A_s = 0,002011 \text{ m}^2 \quad 2011 \text{ mm}^2$$

Posouzení ohybové výztuže:

$$\lambda = 0,8$$

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{\lambda * b * f_{cd}}$$

$$x = 0,0656 \text{ m} \quad 65,6 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{\lambda * x}{2}$$

$$z = 0,1248 \text{ m} \quad 124,8 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$$

$$M_{Rd} = 109 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,D,-} \leq M_{Rd} \quad [\text{kN.m}]$$

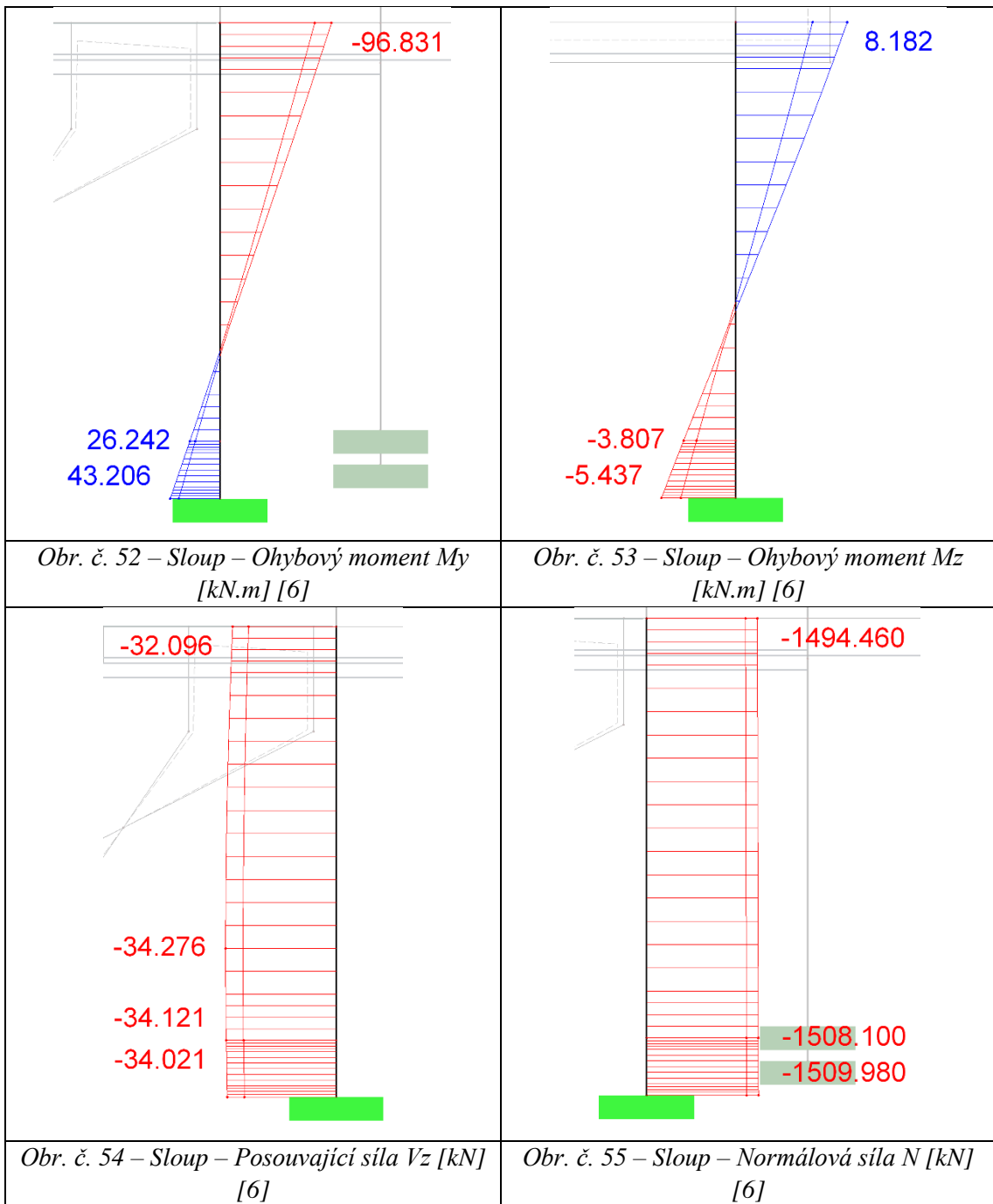
$$100 \leq 109 \quad [\text{kN.m}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**



## PŘEPOSOUZENÍ SLOUPU S3

### VNITŘNÍ SÍLY:

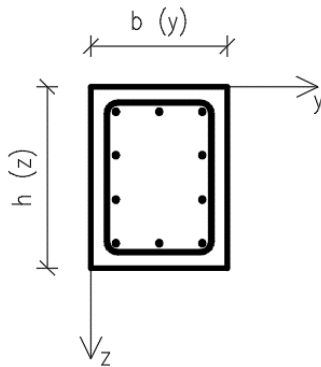


## STATICKÝ VÝPOČET:

### Materiálové charakteristiky:

Beton: C25/30	$\gamma_c =$	1,5	Ocel: B500B	$\gamma_s =$	1,15
$D_{max} =$	16 mm		$f_{yk} =$	500 MPa	500000 kPa
$f_{ck} =$	25 MPa	25000 kPa	$f_{yd} =$	$f_{yk}/\gamma_s$	
$f_{cd} =$	$f_{ck}/\gamma_c$			434,8 MPa	434783 kPa
	16,67 MPa	16667 kPa	$E_s =$	200 GPa	
$f_{ctm} =$	$0,3 * f_{ck}^{(2/3)}$				
$f_{ctm} =$	2,56 MPa	2565 kPa			

### Vstupní hodnoty:



$h =$	450 mm	0,45 m
$b =$	240 mm	0,24 m
$L =$	3500 mm	3,5 m
$A_c =$	108000 mm <sup>2</sup>	0,108 m <sup>2</sup>
$u =$	1380 mm	1,38 m

### Vnitřní síly:

$N_{Ed} =$	-1510 kN		
$M_{y,Ed,h} =$	-97 kN.m	$M_{z,Ed,h} =$	9 kN.m
$M_{y,Ed,p} =$	44 kN.m	$M_{z,Ed,p} =$	-6 kN.m
$M_{y,kv} =$	-80 kN.m	$M_{z,kv} =$	7 kN.m

### Návrh ohybové výztuže:

#### Minimální plocha ohybové výztuže:

$\emptyset_n =$	16 mm	(nosná výztuž)
$\emptyset_s =$	12 mm	(smykový výztuž)
$c =$	40 mm	

$$d_y = h - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$d_z = b - c - \emptyset_s - \frac{\emptyset_n}{2} = 180 \text{ mm}$$

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

$$A_{s,req,z} = \frac{f_{cd} * h * d_z}{f_{yd}} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{z,Ed}}{h * d_z^2 * f_{cd}}} \right)$$

$$A_{s,req,y} = 0,000627 \text{ m}^2 \quad 627 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req,z} = 0,000117 \text{ m}^2 \quad 117 \text{ mm}^2$$

#### Návrh ohybové výztuže:

$$A_{s,min,y} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d_y; 0,0013 * b * d_y\right) \quad A_{s,min,z} = \max\left(0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d_z; 0,0013 * h * d_z\right)$$

$$A_{s,min,y} = 125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,z} = 108 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max,y} = 0,04 * b * h = 4320 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max,z} = 0,04 * b * h = 4320 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = 201 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = 201 \text{ mm}^2$$

Návrh:  $3 \times \emptyset 16$

Návrh:  $2 \times \emptyset 16$

$$A_{s,y} = 603 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,z} = 402 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2 * A_{s,y} + 2 * A_{s,z} - 4 * A_{s,1} = 1206 \text{ mm}^2$$

Vzpěrná délka:

$$L_{0,y} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m} \quad L_{0,z} = L * (1/2) = 1,75 \text{ m}$$

Imperfekce:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 = 1,00$$

$$\alpha_m = 1,00$$

$$\Theta_0 = 0,005$$

$$\Theta_i = \Theta_0 * \alpha_m * \alpha_h = 0,005$$

$$e_i = 0,0044 \text{ m}$$

Momenty prvního řádu vlivem imperfekcí:

$$M_{y,0,Ed,h+} = M_{y,Ed,h+} e_i * |N_{Ed}| = -90,39 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,h+} = M_{z,Ed,h+} e_i * |N_{Ed}| = 15,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p+} = M_{y,Ed,p+} e_i * |N_{Ed}| = 50,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,p+} = M_{z,Ed,p+} e_i * |N_{Ed}| = 0,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,h-} = M_{y,Ed,h-} e_i * |N_{Ed}| = -103,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,h-} = M_{z,Ed,h-} e_i * |N_{Ed}| = 2,39 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0,Ed,p-} = M_{y,Ed,p-} e_i * |N_{Ed}| = 37,39 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,0,Ed,p-} = M_{z,Ed,p-} e_i * |N_{Ed}| = -12,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}); 0,6 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-}))$$

$$M_{z,0e+} = \max(0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+}); 0,6 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}) + 0,4 * \min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}); 0,4 * \max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-}))$$

$$M_{y,0e+} = 20,24 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,0e+} = 9,61 \text{ kN.m}$$

Štíhlost prvku:

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{12} * b * h^3 / b * h} = 0,130 \text{ m} \quad i_z = \sqrt{\frac{1}{12} * h * b^3 / b * h} = 0,069 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_0 / i_y = 13,47 \quad \lambda_z = L_0 / i_z = 25,26$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} = 157 \text{ mm}$$

$$\varphi_{(\infty,t0)} = 2,5$$

$$\varphi_{ef,y} = \varphi_{(\infty,t0)} * \frac{M_{y,kv}}{\min\left(\frac{|M_{y,0,Ed,h+}| + |M_{y,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{y,0,Ed,h-}| + |M_{y,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 2,8369$$

$$\varphi_{ef,z} = \varphi_{(\infty,t0)} * \frac{M_{z,kv}}{\min\left(\frac{|M_{z,0,Ed,h+}| + |M_{z,0,Ed,p+}|}{2}; \frac{|M_{z,0,Ed,h-}| + |M_{z,0,Ed,p-}|}{2}\right)} = 2,3333$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = 0,2914$$

$$r_{m,y} = \max\left(\frac{\min(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}{\max(M_{y,0,Ed,h+}; M_{y,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}{\max(M_{y,0,Ed,h-}; M_{y,0,Ed,p-})}\right) = -1,786$$

$$r_{m,z} = \max\left(\frac{\min(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}{\max(M_{z,0,Ed,h+}; M_{z,0,Ed,p+})}; \frac{\min(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}{\max(M_{z,0,Ed,h-}; M_{z,0,Ed,p-})}\right) = 0,039$$

$$A_y = 1 / (1 + 0,2 * \varphi_{ef,y}) = 0,64 \quad A_y = 1 / (1 + 0,2 * \varphi_{ef,y}) = 0,68$$

$$B_y = \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,26 \quad B_y = \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,26$$

$$C_y = \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 3,49 \quad C_y = \max(1,7 - r_{m,y}; 0,7) = 1,66$$

$$n_y = |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) = 0,84 \quad n_y = |N_{Ed}| / (A_c * f_{cd}) = 0,84$$

$$\lambda_{lim,y} = 20 * A_y * B_y * \frac{C_y}{\sqrt{n_y}} = 61,10 \quad \lambda_{lim,z} = 20 * A_z * B_z * \frac{C_z}{\sqrt{n_z}} = 31,11$$

$$\lambda_y < \lambda_{lim,y} \\ 13,47 < 61,10$$

$$\lambda_z < \lambda_{lim,z} \\ 25,26 < 31,11$$

Bez vlivu 2. řádu

Bez vlivu 2. řádu

Stanovení momentu pro výpočet únosnosti:

$$M_{y,Ed} = \max(M_{y,ed,h}; M_{y,ed,p}; |M_{y,0,Ed,h+}|; |M_{y,0,Ed,p+}|; |M_{y,0,Ed,h-}|; |M_{y,0,Ed,p-}|) = 103,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = \max(M_{z,ed,h}; M_{z,ed,p}; |M_{z,0,Ed,h+}|; |M_{z,0,Ed,p+}|; |M_{z,0,Ed,h-}|; |M_{z,0,Ed,p-}|) = 15,61 \text{ kN.m}$$

ITERAČNÍ DIAGRAM:

Rameno vnitřních sil, přetvoření betonu:

$$z_{s,y} = d_y - h/2 = 165 \text{ mm}$$

$$z_{s,z} = d_z - b/2 = 60 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\epsilon_{yd} = 0,00217$$

$$\epsilon_{cu} = 0,002$$

$$\sigma_{s,y,z} = E_s * \epsilon_{cu} = 0,40 \text{ GPa} \quad 400000 \text{ kPa}$$

Stanovení bodu 0:

$$N_{y,z,Rd,0} = -(b * h * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}) = -2283 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,0} = (A_{s,y} * z_{s,y} - A_{s,y} * z_{s,y}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,0} = (A_{s,z} * z_{s,z} - A_{s,z} * z_{s,z}) * \sigma_{s,y,z} = 0,00 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 1:

$$\lambda = 0,8$$

$$\eta = 1,0$$

$$N_{y,Rd,1} = -(\lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z}) = -1489 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,1} = -(\lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z}) = -1241 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * b * d_y * \eta * f_{cd} * 0,5 * (h - \lambda * d_y) + A_{s,y} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,y} = 125,9 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,1} = \lambda * h * d_z * \eta * f_{cd} * 0,5 * (b - \lambda * d_z) + A_{s,z} * \sigma_{s,y,z} * z_{s,z} = 61,5 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 2:

$$x_{BAL,1,y} = \frac{\epsilon_{cu} * d_y}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 240,7 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,z} = \frac{\epsilon_{cu} * d_z}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 111,1 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,y} = \frac{\epsilon_{cu} * (h - d_y)}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}} = 157,9 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,2,z} = \frac{\epsilon_{cu} * (b - d_z)}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}} = 157,9 \text{ mm}$$

$$x_{BAL,1,y} > x_{BAL,2,y}$$

$$x_{BAL,1,z} < x_{BAL,2,z}$$

$$0,2407 > 0,1579$$

$$0,1111 < 0,1579$$

$$\sigma_s = f_{yd} = 434783 \text{ kPa}$$

$$\sigma_s = \sigma_{s,y,z} = 400000 \text{ kPa}$$

$$N_{y,Rd,2} = -(\lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta + A_{s,y} * \sigma_s - A_{s,y} * f_{yd}) = -770,4 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,2} = -(\lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta + A_{s,z} * \sigma_s - A_{s,z} * f_{yd}) = -652,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,2} = \lambda * b * x_{BAL,1,y} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (h - \lambda * x_{BAL,1,y}) + A_{s,y} * \sigma_s * z_{s,y} + A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 185,7 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Rd,2} = \lambda * h * x_{BAL,1,z} * f_{cd} * \eta * 0,5 * (b - \lambda * x_{BAL,1,z}) + A_{s,z} * \sigma_s * z_{s,z} + A_{s,z} * f_{yd} * z_{s,z} = 70,5 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 3:

$$x_y = \frac{A_{s,y} * f_{yd}}{\lambda * b * \eta * f_{cd}} = 82 \text{ mm}$$

$$x_z = \frac{A_{s,z} * f_{yd}}{\lambda * h * \eta * f_{cd}} = 29 \text{ mm}$$

$$N_{y,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,3} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 93,7 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,3} = A_{s,y} * f_{yd} * (d_y - 0,5 * \lambda * x_y) = 29,4 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 4:

$$N_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} = 262,3 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,4} = A_{s,z} * f_{yd} = 174,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 43,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Rd,4} = A_{s,y} * f_{yd} * z_{s,y} = 10,5 \text{ kN.m}$$

Stanovení bodu 5:

$$N_{y,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 524,5 \text{ kN}$$

$$N_{z,Rd,5} = A_s * f_{yd} = 524,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

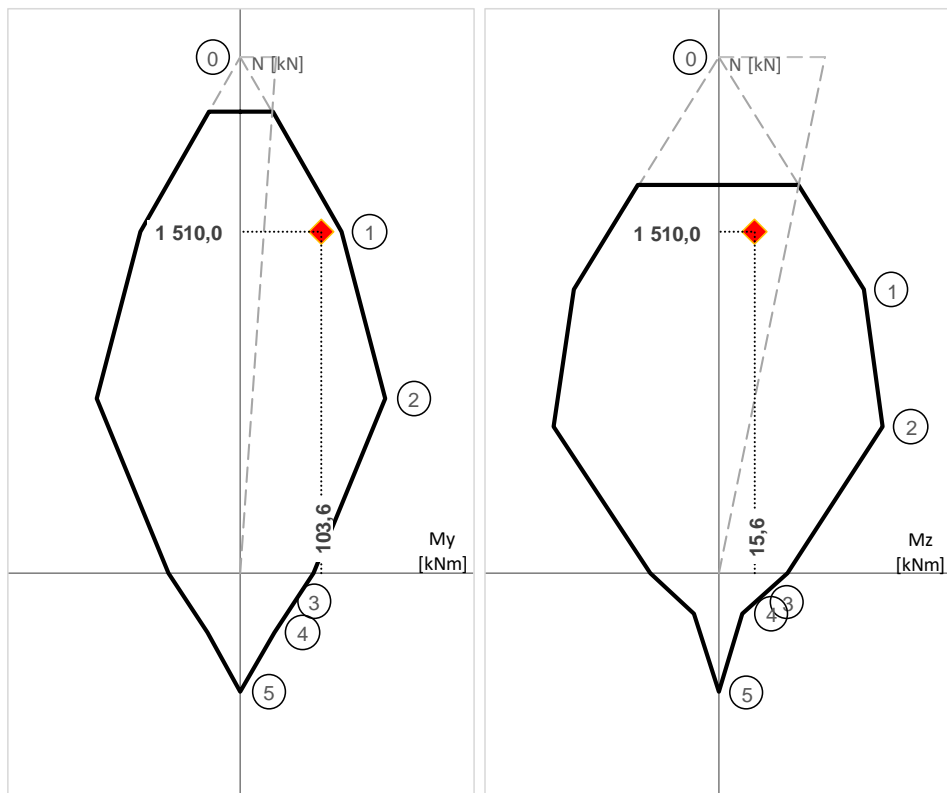
$$M_{z,Rd,5} = 0,0 \text{ kN.m}$$

Omezená hodnota normálové síly:

$$e_{0,y} = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm} \quad e_{0,z} = \max\left(\frac{b}{30}; 20\right) = 20,0 \text{ mm}$$

$$M_{0,y} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,y}| = 45,7 \text{ kN.m} \quad M_{0,z} = |N_{y,z,Rd,0} * e_{0,z}| = 45,7 \text{ kN.m}$$

Interakční diagram:



**POSOUZENÍ:**

Maximální Normálová síla z diagramu:

$$N_{EN,y} = 2039 \text{ kN}$$

$$N_{EN,z} = 1717 \text{ kN}$$

Posouzení normálové síly  $N_{Ed} = -1510 \text{ kN}$

$$N_{Rd,max} = \min(N_{EN,y}; N_{EN,z}) = 1717 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd,max}$$

$$1510,00 < 1716,51$$

**VYHOVUJE**

Mometová únosnost při zatížení  $N_{ed} = -1510 \text{ kN}$

$$M_{Rd,y} = 129 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 47 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,Ed} < M_{Rd,y}$$

$$103,61 < 129$$

$$M_{z,Ed} < M_{Rd,z}$$

$$15,61 < 47$$

**VYHOVUJE**

**VYHOVUJE**

Ověření únosnosti v obou směrech:

$$(e_y/h_{eq})/(e_z/b_{eq}) \leq 0,2$$

$$3,54 > 0,2$$

$$(e_z/b_{eq})/(e_y/h_{eq}) \leq 0,2$$

$$0,28 > 0,2$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět alespoň jedna**

$$\lambda_y/\lambda_z \leq 2$$

$$0,53 < 2,0$$

$$\lambda_z/\lambda_y \leq 2$$

$$1,88 < 2,0$$

**Z těchto podmínek musí vyhovět obě dvě**

Vyhodnocení: => **Posoudit v obou směrech**

$$a = \frac{N_{Ed}}{h * b * \eta * f_{cd} + A_s * \sigma_{s,y,z}} = 1,47$$

$$M_{y,Ed} = 103,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,Ed} = 15,61 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,y} = 129 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,z} = 47 \text{ kN.m}$$

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd,z}}\right)^a \leq 1,0$$

$$0,92 < 1,0$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE V OBOU SMĚRECH**

Návrh smykové výztuže:

Únosnost tlačené diagonály:

$$\cot \Phi = 1,3$$

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

$$V_{Rd,max} = v * f_{cd} * b * z * \frac{\cot \Phi}{1 + \cot^2 \Phi} = 489 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad [\text{kN}]$$

$$35 \leq 489 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ PŮJDE VYZTUŽIT NA SMYKOVOU ÚNOSNOST**

Návrh třmínků:

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = 0,000226 \text{ m}^2 \quad 226 \text{ mm}^2$$

Návrh: **Dvoustřížné třmínky  $\emptyset 8$**

Osová vzdálenost třmínků v podélném směru:

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} * f_{yd}}{V_{Ed}} * z * \cot \Phi \leq 1,46 \text{ m} \quad 1457 \text{ mm}$$

$$s \leq \min(0,75 * d; 400 \text{ mm}) \leq 0,30225 \text{ m} \quad 302 \text{ mm}$$

$$s_1 = 0,2 \text{ m} \quad 200 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínků v příčném směru:

$$s_t \leq \min(0,75 * d; 600 \text{ mm}) \leq 0,302 \text{ m} \quad 302 \text{ mm}$$

Kontrola stupně vyztužení:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b * s_1} = 0,471\%$$

$$\rho_{sw,max} = \frac{0,5 * v * f_{cd}}{f_{yd}} = 1,21\%$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,0028\%$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$0,0028\% \leq 0,471\% \leq 1,21\%$$

**VYHOVUJE**

Posouzení smykové výztuže:

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw} * f_{yd}}{s_1} * z * \cot \Phi = 255 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad [\text{kN}]$$

$$35 \leq 255 \quad [\text{kN}]$$

**NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVUJE**

V případě zkoumání tohoto mimořádného stavu se ukázalo, že to má výrazný vliv na návrh průvlastku, který ležel na daném sloupu a na sousedícím sloupu. Oproti běžnému stavu je zde ve sloupu použita přibližně 2,5x větší plocha ohybové výztuže a přibližně 4,2x větší objem betonu. U průvlastku pak bylo použito přibližně 4x větší plocha ohybové výztuže a přibližně 2,6x větší objem betonu.

Pokud došlo ke kolapsu sloupu S2 a ostatní prvky by zůstaly navrženy stejně jako při běžném stavu, sloup by byl využit přibližně na 300 % a průvlastek přibližně na 640 %. V takovém případě je už docela pravděpodobné, že by konstrukce nevydržela a došlo by k částečnému kolapsu posuzované části objektu.

## 12. SHRNU TÍ NAVRŽENÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE

V této kapitole budou shrnuty návrhy jednotlivých posuzovaných prvků konstrukce při nepůsobení mimořádného zatížení, i při působení jednotlivých typů mimořádného zatížení. Vypsány tu budou následující hodnoty: rozměry, objem betonu, objem výztuže a hmotnost výztuže.

### 12.1. STAV BEZ MIMOŘÁDNÉHO ZATÍŽENÍ

#### PRŮVLAKY:

Průvlak P1					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
8,6	0,25	0,55	1,18	13812	108,4

Průvlak P2					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
8,6	0,25	0,55	1,18	10139	79,6

Průvlak P3					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
6,5	0,2	0,55	0,72	6520	51,2

#### SLOUPY:

Sloup S1					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
3,5	0,21	0,21	0,15	3401	26,7

Sloup S2					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
3,5	0,21	0,21	0,15	3401	26,7

Sloup S3					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
3,5	0,21	0,21	0,15	2610	20,5



**DESKA:**

Deska					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
d [m]	š [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
6,55	8,7	0,2	11,40	121042	950,2

**STĚNA:**

Stěna					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
v [m]	š [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
7,45	10,3	0,2	15,35	219592	1723,8

**12.2. NÁRAZ AUTOMOBILU****SLOUPY:**

Sloup S3					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
L [m]	b [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
3,5	0,21	0,21	0,15	3401	26,7

**12.3. NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA****SLOUPY:**

Sloup S2					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
L [m]	b [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
3,5	0,4	0,21	0,29	6001	47,1

**12.4. KOLAPS SLOUPU S2****PRŮVLAKY:**

Průvlak P2					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
L [m]	b [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
8,6	0,4	0,9	3,10	37315	292,9

Průvlak P3					
Rozměry [m]			Objem	Objem	Hmotnost
L [m]	b [m]	h [m]	betonu [m <sup>3</sup> ]	výztuže [mm <sup>3</sup> ]	výztuže [kg]
6,5	0,25	0,55	0,89	7664	60,2

### SLOUPY:

Sloup S3					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
L [m]	b [m]	h [m]			
3,5	0,24	0,45	0,38	6317	49,6

### DESKA:

Deska					
Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
d [m]	š [m]	h [m]			
6,55	8,7	0,2	11,40	114779	901,0

## 13. POROVNÁNÍ BĚŽNÝCH STAVŮ S MIMOŘÁDNÝM STAVEM

V této kapitole budou porovnány jednotlivé návrhy prvků vlivem působení mimořádného zatížení s návrhem prvků během běžného stavu konstrukce. Vypsány tu budou následující hodnoty: rozměry, objem betonu, objem výztuže, hmotnost výztuže a následně i procentuální přírůstek všech vypsanych hodnot.

### 13.1. NÁRAZ AUTOMOBILU

#### SLOUPY:

Sloup S3	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	L [m]	b [m]	h [m]			
Běžný stav	3,5	0,21	0,21	0,15	2610	20,5
Mimořádný stav	3,50	0,21	0,21	0,15	3401,30	26,70
% přírůstek	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,30%	30,30%

Náraz vozidla měl jistý vliv na návrh konstrukce, ovšem nebylo to nic fatálního. Konstrukce by pravděpodobně vydržela, i kdyby nedošlo ke změně návrhu.

## 13.2. NÁRAZ TĚŽKÉHO VOZIDLA

### SLOUPY:

Sloup S2	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	L [m]	b [m]	h [m]			
Běžný stav	3,5	0,21	0,21	0,15	3401	26,7
Mimořádný stav	3,50	0,40	0,21	0,29	6000,75	47,11
% přírůstek	0,00%	90,48%	0,00%	90,48%	76,43%	76,43%

V tomto zatěžovacím stavu je již vliv na návrh konstrukce poměrně znatelný a rozhodně by se neměl opomíjet. Při jeho zanedbání by mohlo dojít ke kolapsu sloupu vlivem nárazu těžkého vozidla.

## 13.3. KOLAPS SLOUPU S2

### PRŮVLAKY:

Průvlak P2	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	L [m]	b [m]	h [m]			
Běžný stav	8,6	0,25	0,55	1,18	10139	79,6
Mimořádný stav	8,60	0,40	0,90	3,10	37315,40	292,93
% přírůstek	0,00%	60,00%	63,64%	161,82%	268,02%	268,02%

Průvlak P3	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	L [m]	b [m]	h [m]			
Běžný stav	6,5	0,2	0,55	0,72	6520	51,2
Mimořádný stav	6,50	0,25	0,55	0,89	7663,50	60,16
% přírůstek	0,00%	25,00%	0,00%	25,00%	17,55%	17,55%

### SLOUPY:

Sloup S3	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	L [m]	b [m]	h [m]			
Běžný stav	3,5	0,21	0,21	0,15	2610	20,5
Mimořádný stav	3,50	0,24	0,45	0,38	6317,15	49,59
% přírůstek	0,00%	14,29%	114,29%	144,90%	142,01%	142,01%

### DESKA:

Deska	Rozměry [m]			Objem betonu [m <sup>3</sup> ]	Objem výztuže [mm <sup>3</sup> ]	Hmotnost výztuže [kg]
	d [m]	š [m]	h [m]			
Běžný stav	6,55	8,7	0,2	11,40	121042	950,2
Mimořádný stav	6,55	8,70	0,20	11,40	114779,00	901,02
% přírůstek	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-5,17%	-5,17%

Tento zatěžovací stav měl skutečně výrazný vliv na návrh konstrukce a beze změny návrhu dotčených prvků by konstrukce pravděpodobně nemohla přenést zatížení vlivem kolapsu sloupu .

## 14. ZÁVĚR

V diplomové práci se v teoretické části probíralo, co je to mimořádné zatížení, v tomto případě přesněji náraz vozidla na nosnou konstrukci, druhy opatření proti mimořádnému zatížení a co je to robustnost konstrukce. Dále v praktické části byly posuzovány vybrané prvky konstrukce nejdříve na běžný stav a následně s působením mimořádného zatížení. Na závěr práce bylo prováděno porovnání návrhu vybraných prvků vždy mezi běžným stavem a vybraným mimořádným stavem.

Při navrhování vybraných prvků na mimořádné zatížení a porovnávání s běžným stavem, se ukázalo, že při nárazu automobilu by konstrukce pravděpodobně vydržela i beze změny návrhu. Sloup by sice s užitím postupu uvedeného v práci měl využití 112 %, ale vzhledem k bezpečnostním součinitelům, které se používají, by sloup s největší pravděpodobností vydržel.

Při uvažování nárazu autobusu se už návrh vybraného sloupu musel výrazně upravit. Kdyby sloup zůstal v původní stavu, jeho využití při nárazu by bylo přibližně 403 % a to už by s největší pravděpodobností nevydržel a došlo by ke kolapsu sloupu.

Poslední mimořádný stav (kolaps sloupu S2) měl opravdu výrazný vliv na návrh dvou prvků, a to průvlak P2 a sloupu S3. Tyto prvky by s největší pravděpodobností nevydržely, kdyby návrh prvků zachoval jako v běžném stavu. Sloup by měl totiž využití přibližně 300 % a nevyhověl by jak na ohyb, tak i na normálovou sílu. Průvlak by měl využití přibližně 640 %.

Obecně vzato je tedy možné se domnívat, že uvažování mimořádného zatížení při návrhu konstrukce by se nemělo opomíjet. Obzvláště, pokud je reálný scénář, že by do objektu mohlo narazit i těžké vozidlo. Popřípadě by jedno z možných řešení mohlo být osazení nějakého druhu opatření proti mimořádnému zatížení, který buď zcela zamezí nárazu do nosné konstrukce, nebo alespoň výrazně zpomalí rychlost narážejícího vozidla.

## 15. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] NÁRAZ SILNIČNÍHO VOZIDLA: OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ RIZIK, VÝPOČETNÍ METODY A VZOROVÝ PŘÍKLAD – Jakub Holan
- [2] ČSN EN 1991-1-7\_Eurokód 1-Zatížení konstrukcí\_část 1\_7\_obecná zatížení-Mimořádná zatížení
- [3] [https://www.google.cz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.obexia.cz%2Fcs%2Fpevne-patniky-procity-130p.html&psig=A0vVaw35yNbIIP1SYtTPkvWi8a5h&ust=1678731526457000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTClIMkrSA1\\_0CFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.cz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.obexia.cz%2Fcs%2Fpevne-patniky-procity-130p.html&psig=A0vVaw35yNbIIP1SYtTPkvWi8a5h&ust=1678731526457000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTClIMkrSA1_0CFQAAAAAdAAAAABAJ)
- [4] ROBUSTNOST NOSNÝCH KONSTRUKCÍ - Ing. Václav Vimmr, CSc.
- [5] [https://www.archdaily.com/986021/kiran-rest-house-sthapatik?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/986021/kiran-rest-house-sthapatik?ad_source=search&ad_medium=projects_tab)
- [6] Výpočetní program metodou konečných prvků - RFEM - Dlubal
- [7] Program na 3D rýsování - Revit
- [8] ČSN P ENV 1992-1-1
- [9] Program na 2D rýsování – AutoCad
- [10] MS Office Excel
- [11] MS Office Word

## 16. SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. č. 1 – Schéma ekvivalentní statické a dynamické síly (zdroj: [2])
- Obr. č. 2 – Pasivní protinárazová ochrana – pevné patníky (zdroj: [3])
- Obr. č. 3 – Aktivní protinárazová ochrana – otočná klínová bariéra (zdroj: [1])
- Obr. č. 4 – Strategie pro mimořádné návrhové situace (zdroj: [2])
- Obr. č. 5 – Schéma nárazové síly na podpěrné konstrukce (zdroj: [2])
- Obr. č. 6 - Doporučená hodnota součinitele  $r_f$  podle světlé výšky  $h$  (zdroj: [2])
- Obr. č. 7 – Pohled z jihovýchodní strany (zdroj: [5])
- Obr. č. 8 – Pohled ze severozápadní strany (zdroj: [5])
- Obr. č. 9 – Pohled z jihovýchodní strany (zdroj: [6])
- Obr. č. 10 – Pohled ze severozápadní strany (zdroj: [6])
- Obr. č. 11 – Posuzované průvlaky (zdroj: [7])
- Obr. č. 12 – Průvlak P1 – Průhyb  $uz$  [mm] (zdroj: [6])
- Obr. č. 13 – Průvlak P1 – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])
- Obr. č. 14 – Průvlak P1 – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 15 – Průvlak P2 – Průhyb  $uz$  [mm] (zdroj: [6])
- Obr. č. 16 – Průvlak P2 – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])
- Obr. č. 17 – Průvlak P2 – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 18 – Průvlak P3 – Průhyb  $uz$  [mm] (zdroj: [6])
- Obr. č. 19 – Průvlak P3 – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])
- Obr. č. 20 – Průvlak P3 – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 21 – Deska – Průhyb  $uz$  [mm]
- Obr. č. 22 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d+}$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 23 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d+}$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 24 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d-}$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 25 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d-}$  [kN.m] (zdroj: [6])
- Obr. č. 26 – Posuzované sloupy (zdroj: [7])
- Obr. č. 27 – Sloup – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 28 – Sloup – Ohybový moment  $M_z$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 29 – Stěna – Napětí  $\sigma_x$  + (zadní povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 30 – Stěna – Napětí  $\sigma_y$  + (zadní povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 31 – Stěna – Napětí  $\tau_{xy}$  + (zadní povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 32 – Stěna – Napětí  $\sigma_x$  - (přední povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 33 – Stěna – Napětí  $\sigma_y$  - (přední povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 34 – Stěna – Napětí  $\tau_{xy}$  - (přední povrch stěny) [MPa] (zdroj: [6])

Obr. č. 35 – Stěna – Rozdělení stěny na jednotlivé oblasti posouzení

Obr. č. 36 – Sloup – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 37 – Sloup – Ohybový moment  $M_z$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 38 – Sloup – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 39 – Sloup – Normálová síla  $N$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 40 – Sloup – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 41 – Sloup – Ohybový moment  $M_z$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 42 – Sloup – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 43 – Sloup – Normálová síla  $N$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 44 – Průvlak P3 – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 45 – Průvlak P3 – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 46 – Průvlak P3 – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6])

Obr. č. 47 – Průvlak P3 – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 48 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d+}$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 49 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d+}$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 50 – Deska – Ohybový moment  $M_{x,d-}$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 51 – Deska – Ohybový moment  $M_{y,d-}$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 52 – Sloup – Ohybový moment  $M_y$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 53 – Sloup – Ohybový moment  $M_z$  [kN.m] (zdroj: [6])

Obr. č. 54 – Sloup – Posouvající síla  $V_z$  [kN] (zdroj: [6]))

Obr. č. 55 – Sloup – Normálová síla  $N$  [kN] (zdroj: [6])

## **17. SEZNAM TABULEK**

Tab. č. 1 – Ekvivalentní statické síly od nárazu na podpěrné konstrukce (zdroj: [2])

Tab. č. 2 – Ekvivalentní statické síly od nárazu na nosnou konstrukci (zdroj: [2])

Tab. č. 3 – Rozdělení konstrukcí podle tříd následků (zdroj: [2])