



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**ŽELEZOBETONOVÁ NOSNÁ KONSTRUKCE  
ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY**

REINFORCED CONCRETE LOAD BEARING STRUCTURE OF ADMINISTRATION  
BUILDING

**P2. STATICKÝ VÝPOČET**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jiří Pražan

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

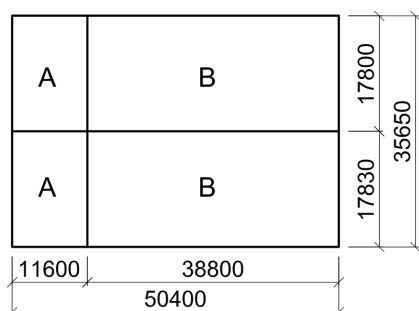
**BRNO 2017**

## Obsah

1	Návrh konstrukce .....	5
1.1	Materiálové charakteristiky .....	5
1.1.1	Beton C 25/30 – XC1 .....	5
1.1.2	Ocel B 500B .....	5
1.2	Statické schéma konstrukce.....	5
1.3	Návrh rozměrů prvků .....	5
1.3.1	Stropní deska .....	5
1.3.2	Ztužující trám – osa 1 .....	5
1.3.3	Železobetonové stěny .....	5
2	Zatížení.....	6
2.1	Zatížení stálé.....	6
2.1.1	Plošné zatížení .....	6
2.1.2	Liniové zatížení .....	6
2.2	Zatížení proměnné .....	7
2.2.1	Užitné zatížení .....	7
2.2.2	Zatížení sněhem.....	8
2.2.3	Zatížení větrem.....	8
2.3	Návrhové situace zatížení.....	8
2.3.1	Zatížení stálé.....	9
2.4	Normově závislé kombinace zatížení – MSÚ .....	14
2.4.1	Program použije rovnice: .....	14
2.4.2	Návrh průřezu sloupu .....	15
3	Výpočet vnitřních sil – SCIA Engineer 16.....	16
3.1	Statické řešení podepření konstrukce .....	17
3.2	Síť konečných prvků .....	18
3.3	Řešič MKP .....	18
3.4	Ohybové momenty na desce – CO10 .....	19
3.4.1	Směr výztuže X- .....	19
3.4.2	Směr výztuže Y- .....	19
3.4.3	Směr výztuže X+ .....	20
3.4.4	Směr výztuže Y+ .....	20
4	Ověření vnitřních sil .....	21
4.1	Metoda náhradních rámců.....	21
4.1.1	Výpočet tuhostí prvků rámu .....	21
4.1.2	Primární momenty .....	22
4.1.3	Celkové momenty.....	23

4.2	Rozdělení momentů do pruhů .....	24
4.2.1	Dimenzační momenty nad podporou.....	25
4.2.2	Dimenzační momenty v poli .....	25
4.3	Zhodnocení výsledků .....	25
5	Dimenzování výztuže desky na MSÚ .....	26
5.1	Dolní výztuž ve směru X.....	26
5.1.1	Přídavná dolní výztuž ve směru X.....	27
5.2	Dolní výztuž ve směru Y .....	28
5.2.1	Přídavná dolní výztuž ve směru Y.....	29
5.3	MSP – podmínka ohybové štíhlosti.....	30
5.4	Horní výztuž ve směru X.....	31
5.4.1	Přídavná horní výztuž ve směru X .....	33
5.5	Horní výztuž ve směru Y.....	34
5.5.1	Přídavná horní výztuž ve směru Y .....	36
5.6	Kotvení betonářské výztuže .....	37
5.6.1	Základní kotevní délka .....	37
5.6.2	Stýkování výztuže .....	37
5.7	Výztuž proti řetězovému zřícení .....	38
5.7.1	Výpočet kotevní délky.....	38
5.7.2	Stýkování výztuže .....	38
5.8	Návrh a posouzení výztuže ozubu desky.....	39
5.8.1	Návrh vodorovné výztuže ozubu na 1 m.....	39
5.8.2	Návrh svislé výztuže na 1 m.....	39
5.9	Návrh smykové výztuže na protlačení desky .....	40
5.9.1	Vnitřní sloup S1.....	40
5.9.2	Vnitřní sloup S1 – ruční ověření výpočtu.....	42
5.9.3	Vnitřní sloup S2.....	44
5.9.4	Okrajový sloup S3 .....	46
6	Dimenzování výztuže – ztužující trám .....	48
6.1	Návrh dolní výztuže trámu .....	48
6.2	Návrh horní výztuže trámu .....	49
6.3	Návrh a posouzení smykové výztuže .....	50
7	Dimenzování výztuže – vnitřní sloup.....	51
7.1	Zatěžovací stavy sloupu .....	51
7.2	Kombinace.....	54
7.3	Vnitřní síly sloupu .....	55
7.3.1	Kombinace CO01: EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B .....	55

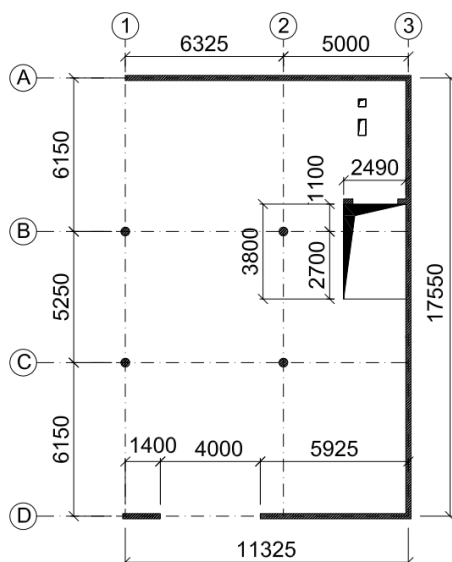
7.3.2	Kombinace CO02: EN-MSP – kvazistálá .....	55
7.3.3	CO01: My .....	56
7.3.4	CO01: Mz .....	56
7.4	Vliv geometrických imperfekcí a účinky 2. řádu .....	57
7.4.1	Štíhlostní kritérium .....	57
7.5	Výsledné namáhání sloupu .....	58
7.6	Posudek únosnosti sloupu .....	59
7.6.1	Návrh výztuže .....	59
7.7	Interakční diagram .....	60
7.7.1	Bod 0 .....	60
7.7.2	Bod 1 .....	60
7.7.3	Bod 2 .....	60
7.7.4	Omezení tlakového namáhání .....	61
7.7.5	Vykreslení interakčního diagramu .....	61



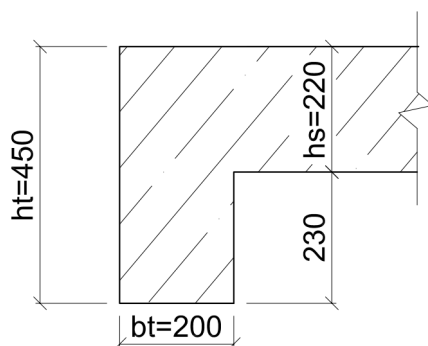
A – administrativní objekt

B – sklad

obr.1 části objektu



obr. 2 idealizace konstrukce administrativního objektu



obr. 3 průřez ztužujícího trámu

## 1 Návrh konstrukce

### 1.1 Materiálové charakteristiky

#### 1.1.1 Beton C 25/30 – XC1

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

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

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

$$f_{ctk0,05} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

#### 1.1.2 Ocel B 500B

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

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200\,000} = 2,17 \text{ ‰}$$

### 1.2 Statické schéma konstrukce

Rozpětí mezi jednotlivými poli je stanoveno podle vzorce:

$$L = L_s + a_1 + a_2$$

$L_s$  je světlá šířka

$a_1$  pro sloup je  $\frac{1}{2}$  průměru sloupu, proto  $a_1 = 300/2 = 150 \text{ mm}$

$a_2$  pro dokonalé vetknutí je:

$$a_2 = \min \{ h_s/2 ; t/2 \} = \min \{ 220/2 ; 200/2 \} = 100 \text{ mm}$$

Kóty v obr. 2 jsou kótovány na osy.

### 1.3 Návrh rozměrů prvků

#### 1.3.1 Stropní deska

Stropní deska bude navržena jako bez průvlaková, bez hlavic, nosná v obou směrech a se ztužujícím trámem při jejím okraji (osa 1, osa D).

$$h_s \geq \frac{1}{30} \cdot L_{max}$$

$$h_s \geq \frac{1}{30} \cdot 6325 = 211 \text{ mm} \Rightarrow \text{navrženo } h_s = 220 \text{ mm}$$

#### 1.3.2 Ztužující trám – osa 1

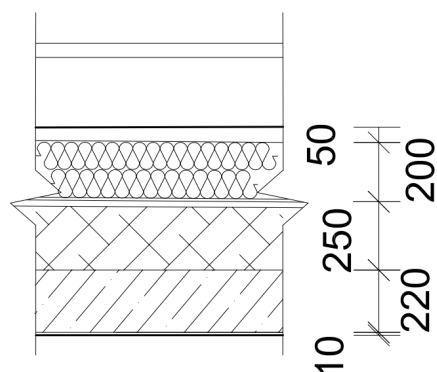
$$h_t \geq \frac{1}{15} \cdot L_{max}$$

$$h_t \geq \frac{1}{15} \cdot 6325 = 422 \text{ mm} \Rightarrow \text{navrženo } h_t = 450 \text{ mm}$$

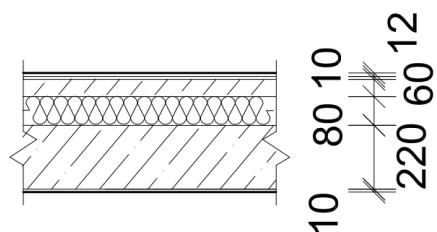
$b_t$  = šířka nadpraží = 200 mm

#### 1.3.3 Železobetonové stěny

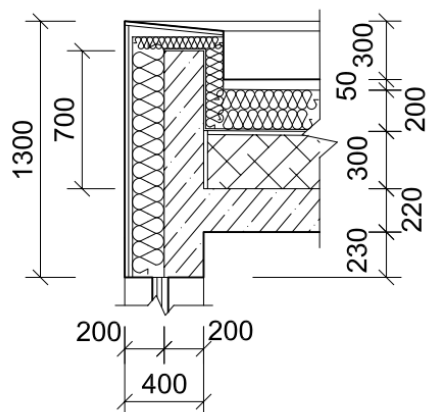
navrženo  $t_s = 200 \text{ mm}$



obr. 4 skladba střechy



obr. 5 skladba typického podlaží



obr. 6 skladba atiky

## 2 Zatížení

### 2.1 Zatížení stálé

#### 2.1.1 Plošné zatížení

Střecha

skladba	tloušťka [m]	$\gamma$ [KNm <sup>-3</sup> ]	$g_{ki}$ [KNm <sup>-2</sup> ]
kačírek	0,05	23	1,15
2x asfaltový pás typ S			0,1
pěnový polystyren	0,2	0,3	0,06
spádová vrstva keramzitbeton	průměrná tl. 0,25	12	3
asfaltový pás typ S			0,05
vl. tíha ŽB stropu	0,22	25	5,50
cementová omítka	0,01	21	0,21
celkové zatížení $\sum g_{k, \text{střecha}} =$			10,07

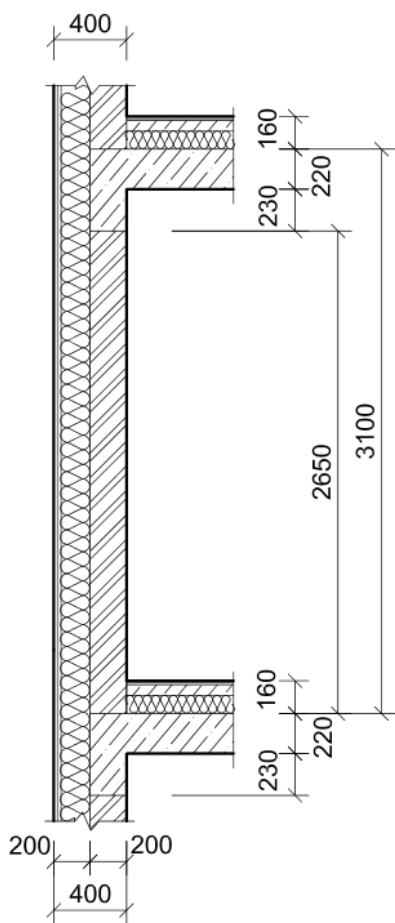
Typické podlaží

skladba	tloušťka [m]	$\gamma$ [KNm <sup>-3</sup> ]	$g_{ki}$ [KNm <sup>-2</sup> ]
keramická dlažba	0,012	22	0,264
cementové lepidlo	0,01	23	0,23
betonová mazanina	0,06	23	1,38
extrudovaný polystyren	0,08	1,5	0,12
vl. tíha ŽB stropu	0,22	25	5,50
cementová omítka	0,01	21	0,21
celkové zatížení $\sum g_{k, \text{podlaží}} =$			7,70

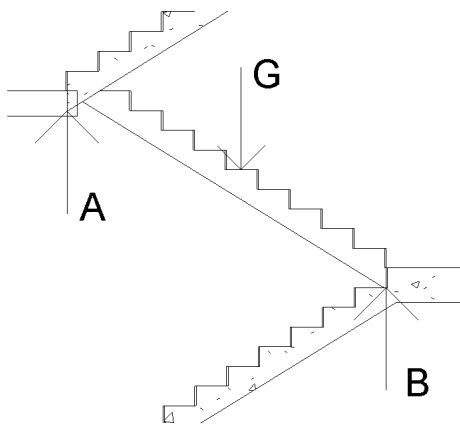
#### 2.1.2 Liniové zatížení

Atika

skladba	rozměr [m]	$\gamma$ [KNm <sup>-3</sup> ]	$g_{ki}$ [KNm <sup>-1</sup> ]
CESTRIS desky + rošt	1,3	0,5	0,65
izolace - minerální vlákna	0,16 x 1,3	1,5	0,31
izolace atiky - extrudovaný polystyren	0,06 x 0,4 + 0,09 x 0,4	1,5	0,09
vlastní tíha ŽB atiky	0,2 x 0,7	25	3,5
vl. tíha ŽB ztužujícího trámu včetně omítky	0,2 x 0,45	25	2,25
celkové zatížení $\sum g_{k, \text{atika}} =$			6,80



obr. 7 obvodová stěna – osa 1



obr. 8 zatížení od schodiště

Obvodová stěna plně vyzděná – osy 1, D

skladba	rozměr [m]	$\gamma$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$g_{kj}$ [ $\text{kNm}^{-1}$ ]
CESTRIS desky + rošt	3,1	$0,5 \text{ kNm}^{-2}$	1,55
izolace - minerální vlákna	$0,16 \times 3,1$	1,5	0,74
pórobetonové tvárnice	$0,2 \times 2,65$	6	4,77
vl. tíha ŽB ztužujícího trámu včetně omítky	$0,2 \times 0,45$	25	2,25
celkové zatížení $\sum g_{k, \text{stěna}} =$			9,31

Obvodová stěna s otvory – osy 1, D

skladba	rozměr [m]	$\gamma$ [ $\text{kNm}^{-3}$ ]	$g_{kj}$ [ $\text{kNm}^{-1}$ ]
CESTRIS desky + rošt	1,45	$0,5 \text{ kNm}^{-2}$	0,73
izolace - minerální vlákna	$0,16 \times 1,45$	1,5	0,35
okno	1,65	$0,4 \text{ kNm}^{-2}$	0,66
pórobetonové tvárnice	$0,2 \times 1,0$	6	1,2
vl. tíha ŽB ztužujícího trámu včetně omítky	$0,2 \times 0,45$	25	2,25
celkové zatížení $\sum g_{k, \text{stěna+okno}} =$			4,53

Schodiště

vlastní tíha schodišťového ramene na 1 metr šířky:

$$G = A \cdot \gamma$$

$$= (0,35 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,45 \cdot 0,163 + 0,3 \cdot 0,163) \cdot 25 =$$

$$= 18,95 \text{ kN/m}$$

Tuto tíhu přenáší reakce A, B.

$$G - (A + B) = 0$$

Po zaokrouhlení a započtení tíhy nášlapné vrstvy, lze zjednodušeně uvažovat, že  $G = 20 \text{ kN/m} \Rightarrow A = B = 10 \text{ kN/m}$  a pak zatížení na hranu desky od schodišťových ramen.

$$g_{k, \text{schodiště}} = 10 \text{ kN/m}$$

## 2.2 Zatížení proměnné

### 2.2.1 Užiténé zatížení

Střecha

Kategorie: H – nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby, oprav  $\Rightarrow q_{k, \text{střecha}} = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Typické podlaží

Kategorie: B – kancelářské plochy  $\Rightarrow q_{k, \text{plocha}} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

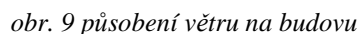
Přídavné užiténé zatížení: přemístitelné přčky s vlastní tíhou  $\leq 1,0 \text{ kN/m} \Rightarrow q_{k,} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

$$\text{celkem } \sum q_{k, \text{podlaží}} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Schodiště

Kategorie A – obytné budovy  $\Rightarrow q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_{k, \text{schodiště}} = q_k \cdot L/2 = 3,0 \cdot 2,865 / 2 = 4,3 \text{ kN/m}$$


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

$\mu_1$  je tvarový součinitel (pro plochou střechu  $\alpha < 1^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$ )

$C_e$  je součinitel expozice (normální = 1,0)

$C_t$  je tepelný součinitel

$s_k$  je charakteristická hodnota zatížení sněhem

(pro sněhovou oblast II  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ )

Zatížení větrem působí na celý komplex budov dle *obr. 1*.

Budova A je dostatečně tuhá vzhledem k tomu, že má tři nadzemní podlaží a tuhé, železobetonové, obvodové zdi.

Vodorovné zatížení od působení větru bude přeneseno dostatečně tuhými obvodovými zdmi do základů budovy.

Zatížení větrem má na posuzované části konstrukce jen minimální vliv.

Zatěžovací stavy

Všechny

ZS1 - vlastní tíha	Jméno	ZS1 - vlastní tíha
ZS2 - ostatní stálé	Popis	
ZS3 - užité šach 1	Typ působení	Stálé
ZS4 - užité šach 2	Skupina zatížení	SZ1
ZS5 - užité pás Y 1	Typ zatížení	Vlastní tíha
ZS6 - užité pás Y 2	Směr	-Z
ZS7 - užité pásy X krajní		
ZS8 - užité pás X prostřední		
ZS9 - užité pás X levý+prostřední		
ZS10 - užité pás X pravý+prostřední		
ZS11 - užité plné		

Nový

Vložit

Upravit

Smazat

Zavřít

Skupiny zatížení

Všechny

SZ1	Jméno	SZ1
SZ2	Zatížení	Stálé

Skupiny zatížení

Všechny

SZ1	Jméno	SZ2
SZ2	Vztah	Standard
	Zatížení	Proměnné
	Konstrukce	Budova
	Typ zatížení	Kat B : kanceláře

*Obr. 10 návrhové situace zatížení*



### 2.3.1 Zatížení stálé

#### ZS1 – vlastní tíha

Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Směr
ZS1 - vlastní tíha	Stálé	SZ1	Vlastní tíha	-Z

Je generována programem, objemová tíha betonu  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

#### ZS2 – ostatní stálé

Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení
ZS2 - ostatní stálé	Stálé	SZ1	Standard

Typické podlaží

$g_{k, \text{podlaží}} = 7,70 \text{ kN/m}^2$

vlastní tíha ŽB stropu =  $5,50 \text{ kN/m}^2$

$\Rightarrow 7,7 - 5,50 = \underline{\underline{2,2 \text{ kN/m}^2}}$

Obvodová stěna s otvory – osy 1, D

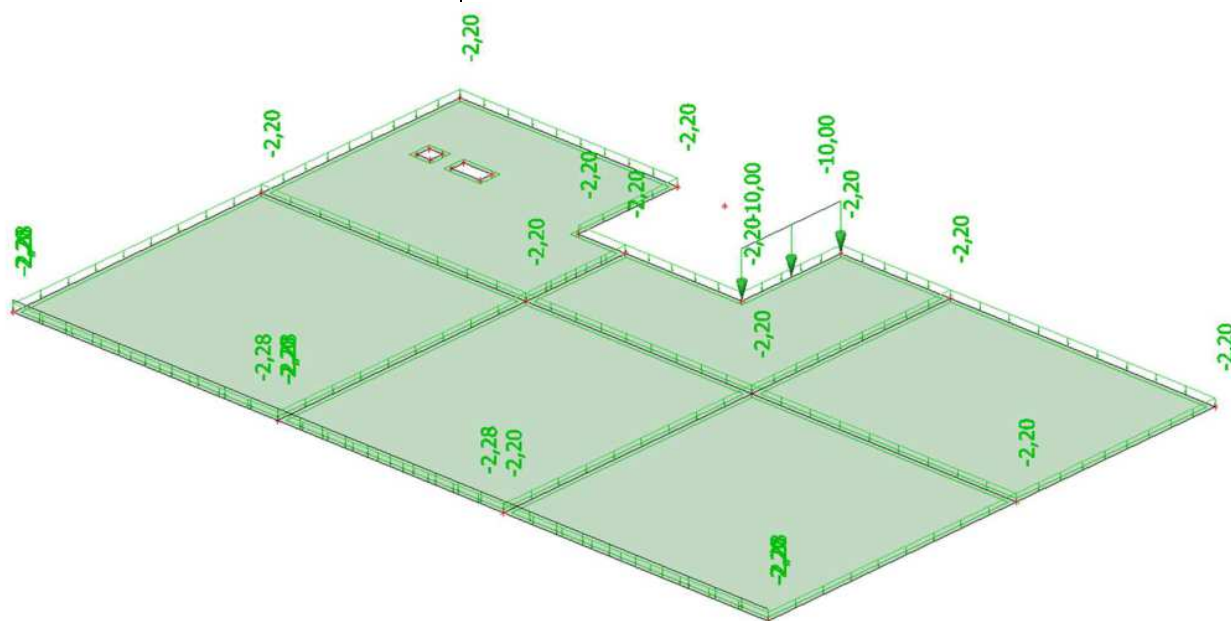
$g_{k, \text{stěna}} = 4,53 \text{ kN/m}$

vlastní tíha stěny =  $2,25 \text{ kN/m}$

$\Rightarrow 4,53 - 2,25 = \underline{\underline{2,28 \text{ kN/m}}}$

Schodiště

$g_{k, \text{schodiště}} = \underline{\underline{10 \text{ kN/m}}}$



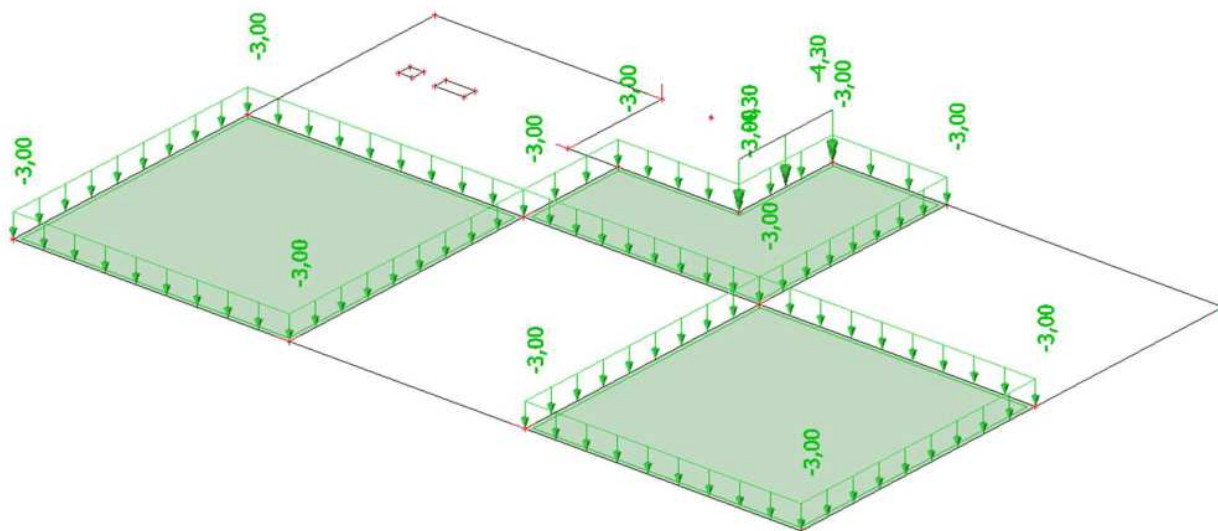
Obr. 11 ZS1+ZS2

### ZS3 – užitné, šach 1

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

$q_{k, \text{schodiště}} = 4,3 \text{ kN/m}^2$

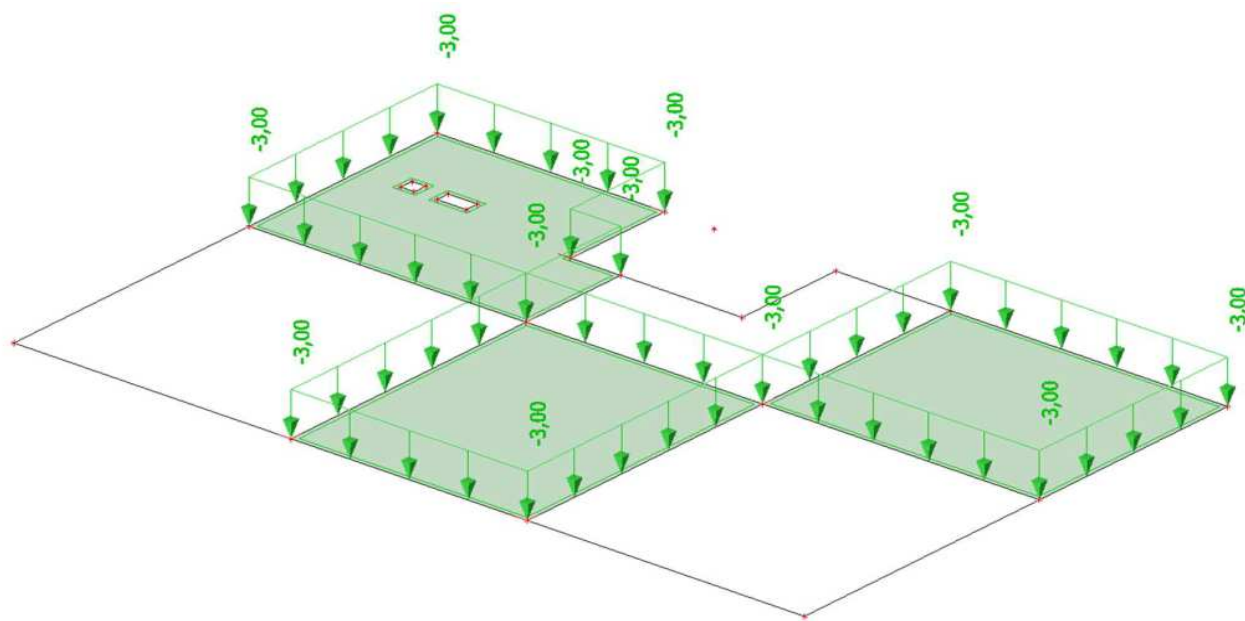
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídící zat. stav
ZS3 - užitné šach 1	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 12 ZS3

### ZS4 – užitné, šach 2

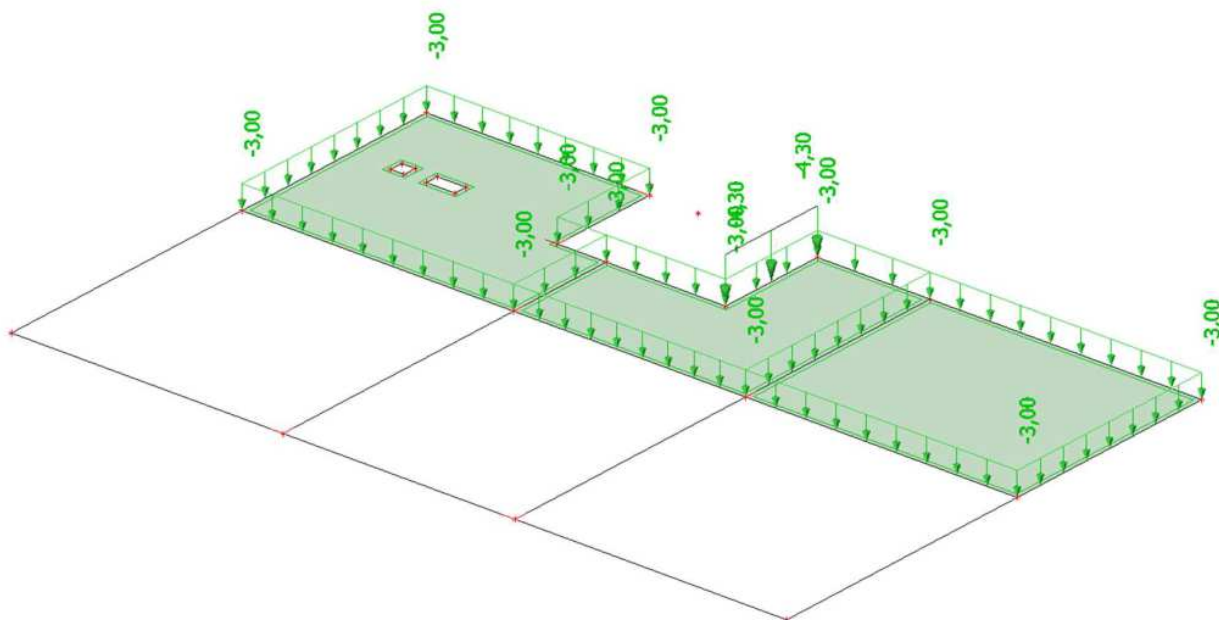
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídící zat. stav
ZS4 - užitné šach 2	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 13 ZS4

### ZS5 – užitné, pás Y 1

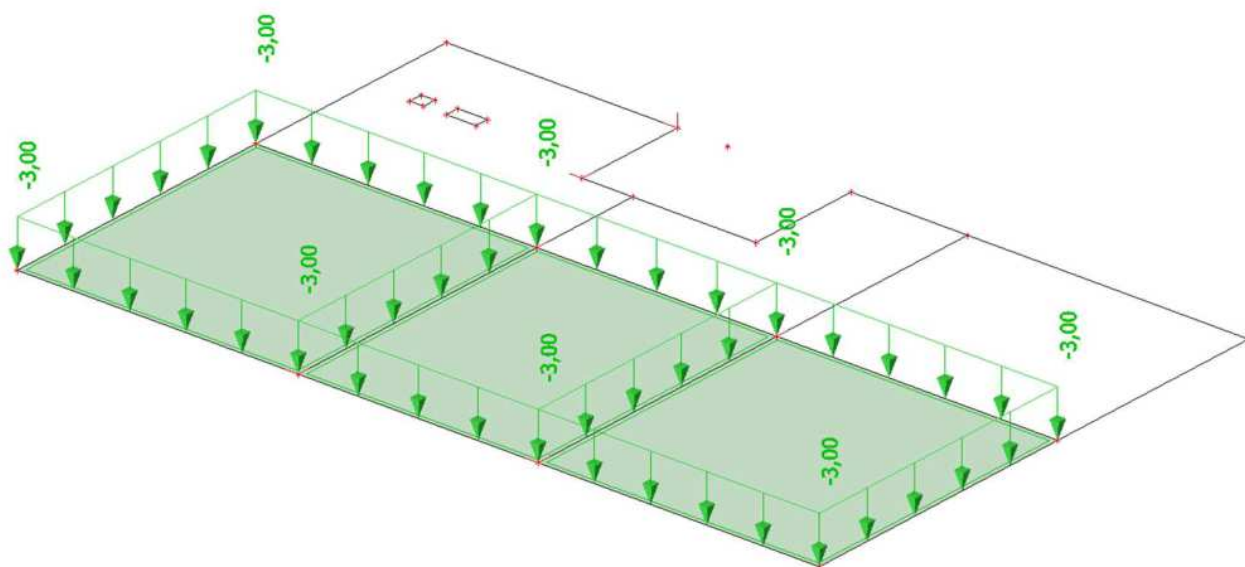
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídící zat. stav
ZS5 - užitné pás Y 1	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 14 ZS5

### ZS6 – užitné, pás Y 2

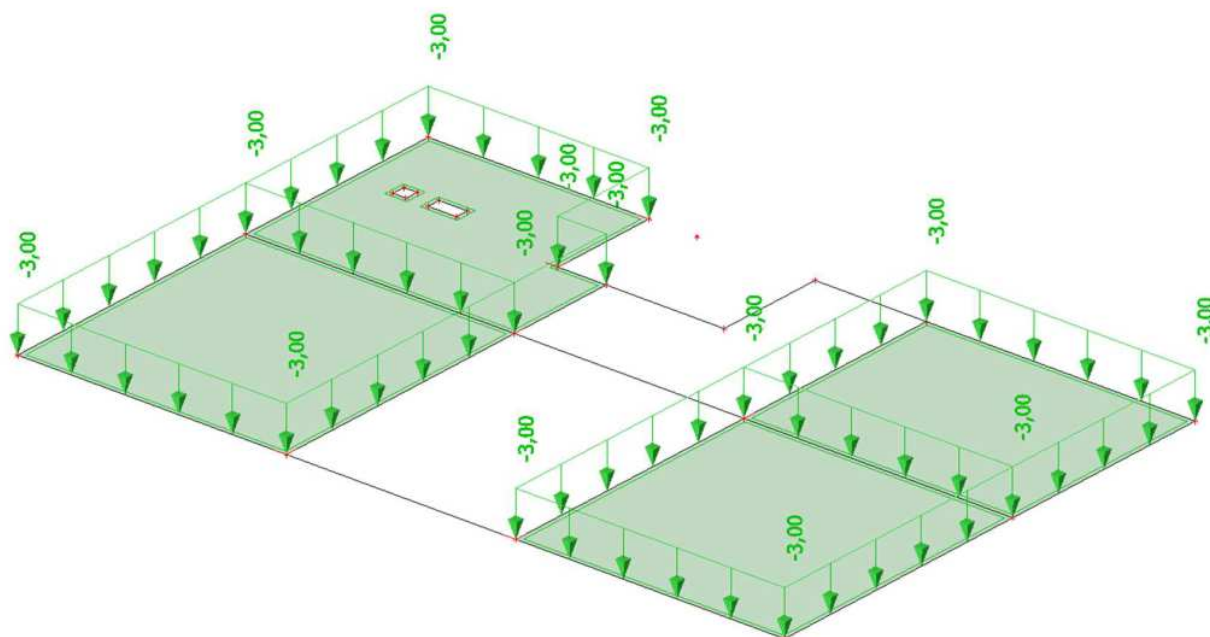
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídící zat. stav
ZS6 - užitné pás Y 2	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 15 ZS6

### ZS7 – užitné, pás X krajní

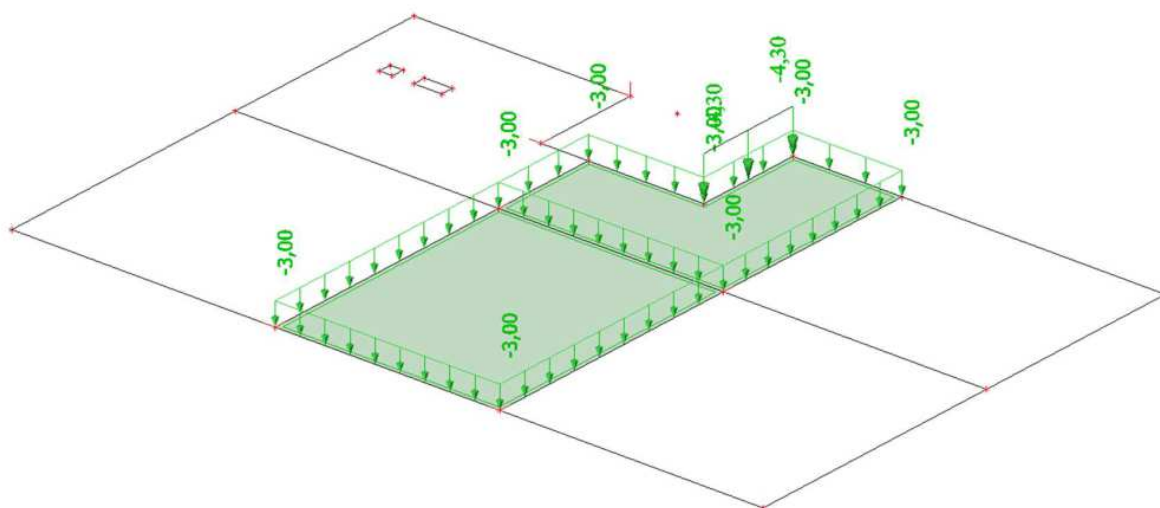
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídicí zat. stav
ZS7 - užitné pásy X krajní	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 16 ZS7

### ZS8 – užitné, pás X prostřední

Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídicí zat. stav
ZS8 - užitné pás X prostřední	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný

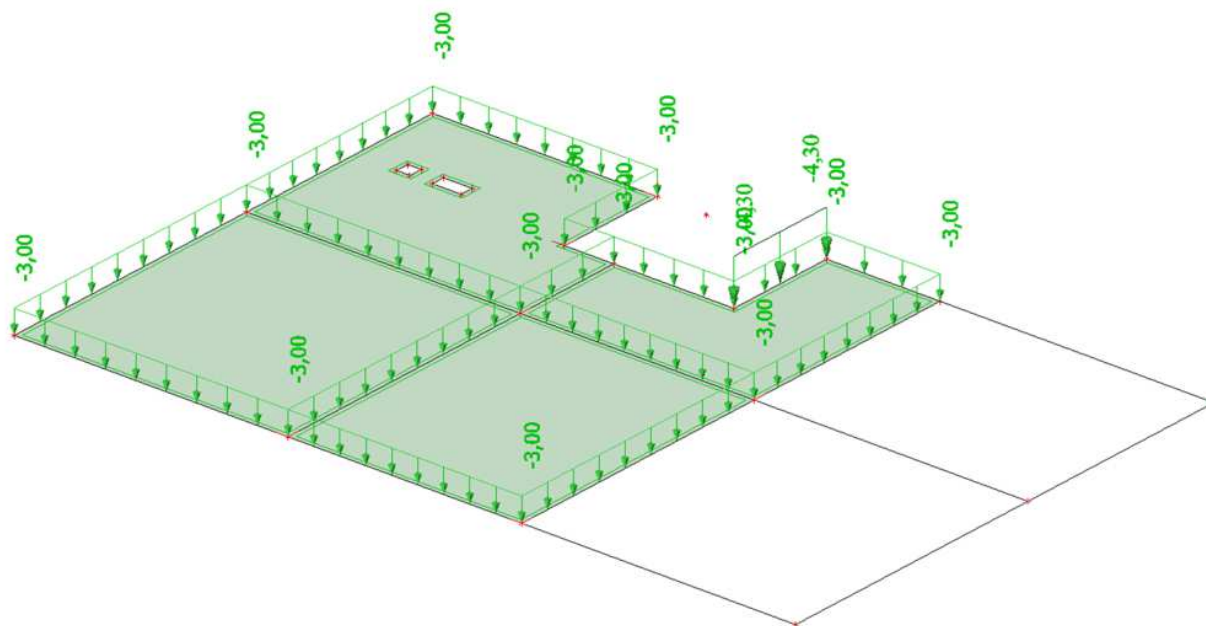


Obr. 17 ZS8



### ZS9 – užitné, pás X levý + prostřední

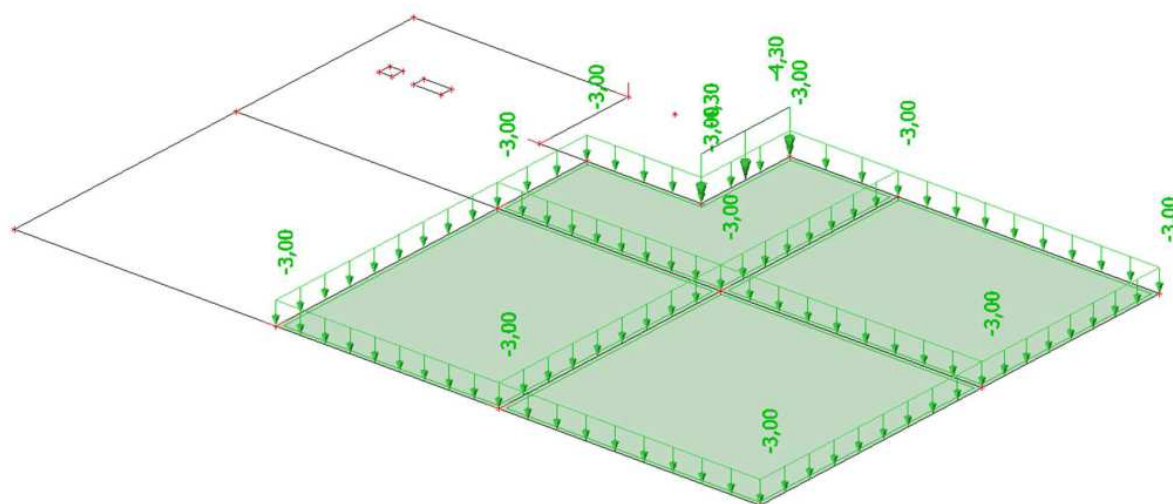
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídicí zat. stav
ZS9 - užitné pás X levý+prostřední	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 18 ZS9

### ZS10 – užitné, pás X pravý + prostřední

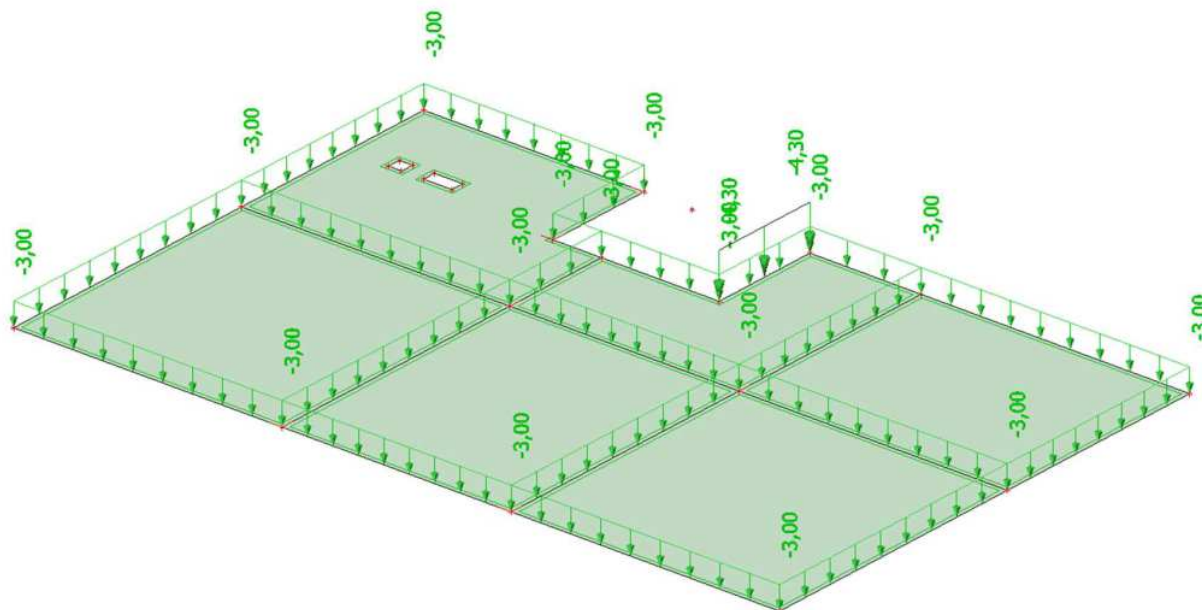
Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídicí zat. stav
ZS10 - užitné pás X pravý+prostřední	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 19 ZS10

## ZS11 – užitné, plné

Jméno	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Spec	Působení	Řídicí zat. stav
ZS11 - užitné plné	Proměnné	SZ2	Statické	Standard	Krátkodobé	Žádný



Obr. 20 ZS11

## 2.4 Normově závislé kombinace zatížení – MSÚ

V programu SCIA Engineer 16 jsem použil normově závislou kombinaci **EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B** – pro horní stavbu.

### 2.4.1 Program použije rovnice:

#### 6.10a

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

#### 6.10b

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

Kombinace				
alternativa (STR/GEO)				
EN 1990: 6.4.3.2 (3)				
Kombinace				
Hodnoty				
Rov.6.10a && rov.6.10b				
2	Kategorie B	Psi0	Psi1	Psi2
		0,7	0,5	0,3
Základní kombinace (STR/GEO) Soubor B				
EN 1990: Příloha A1 Tabulka A1.2(B)				
Stálé zatížení - nepříznivé				
Hodnota				
		1,35		
Stálé zatížení - příznivé				
Hodnota				
		1,00		
Hlavní proměnné zatížení				
Hodnota				
		1,50		
Doprovodné proměnné zatížení				
Hodnota				
		1,50		
Redukční součinitel ksi				
Hodnota				
		0,85		

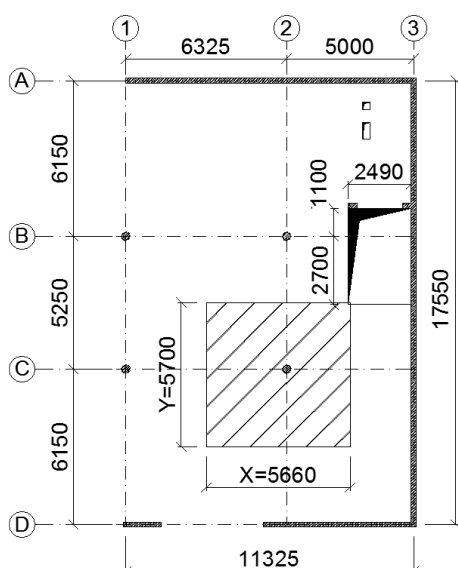
Hodnoty součinitele  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$  pro kategorii B – kancelářské plochy.

Hodnoty součinitelů zatížení  $\gamma$

Obr. 21 nastavení kombinací v programu SCIA Engineer 16

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
C01	ZS1+ZS2+ZS3	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS3 - užité šach 1
C03	ZS1+ZS2+ZS4	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS4 - užité šach 2
C04	ZS1+ZS2+ZS5	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS5 - užité pás Y 1
C05	ZS1+ZS2+ZS5	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS6 - užité pás Y 2
C06	ZS1+ZS2+ZS7	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS7 - užité pásy X krajní
C07	ZS1+ZS2+ZS8	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS8 - užité pás X prostřední
C08	ZS1+ZS2+ZS9	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS9 - užité pás X levý+prostřední
C09	ZS1+ZS2+ZS10	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS10 - užité pás X pravý+prostřední
C010	ZS1+ZS2+ZS11	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS11 - užité plné
MSP - charakteristická	ZS1+ZS2+ZS11	EN-MSP charakteristická	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS11 - užité plné
MSP - častá	ZS1+ZS2+ZS11	EN-MSP častá	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS11 - užité plné
MSP - kvazistálá	ZS1+ZS2+ZS11	EN-MSP kvazistálá	ZS1 - vlastní tíha ZS2 - ostatní stálé ZS11 - užité plné

Obr. 22 kombinace



Obr. 23 zatěžovací plocha sloupu

## 2.4.2 Návrh průřezu sloupu

Kombinace CO10

### 6.10a

$$f_d = \gamma_G \cdot g_{k,podlaží} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_{k,podlaží} = 1,35 \cdot 7,7 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 3 = 13,55 \text{ kN/m}^2$$

### 6.10b

$$f_d = \gamma_G \cdot \xi \cdot g_{k,podlaží} + \gamma_Q \cdot q_{k,podlaží} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 7,7 + 1,5 \cdot 3 = 13,34 \text{ kN/m}^2$$

rozhoduje rovnice 6.10a  $\Rightarrow f_{d,podlaží} = 13,55 \text{ kN/m}^2$

$$f_d = \gamma_G \cdot g_{k,střecha} + \gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot S =$$

$$f_{d,střecha} = 1,35 \cdot 10,07 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 14,19 \text{ kN/m}^2$$

Maximální zatěžovací plocha sloupu  $A = x \cdot y$

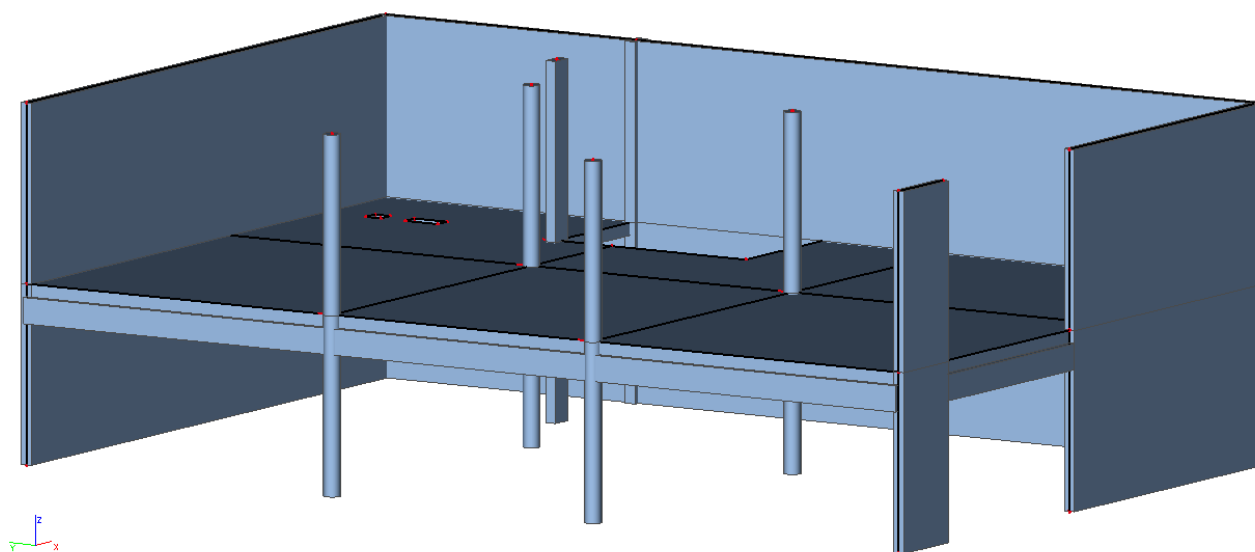
$$A_c \geq \frac{1,05 \cdot (n \cdot f_{d,podlaží} + f_{d,střecha}) \cdot A}{\eta \cdot f_{cd} + \rho_s \cdot \sigma_s} = \frac{1,05 \cdot (2 \cdot 13,55 + 14,19) \cdot 5,7 \cdot 5,66}{0,8 \cdot 16670 + 0,02 \cdot 400000} = 0,066 \text{ m}^2$$

Návrh kruhového sloupu o průměru 300 mm

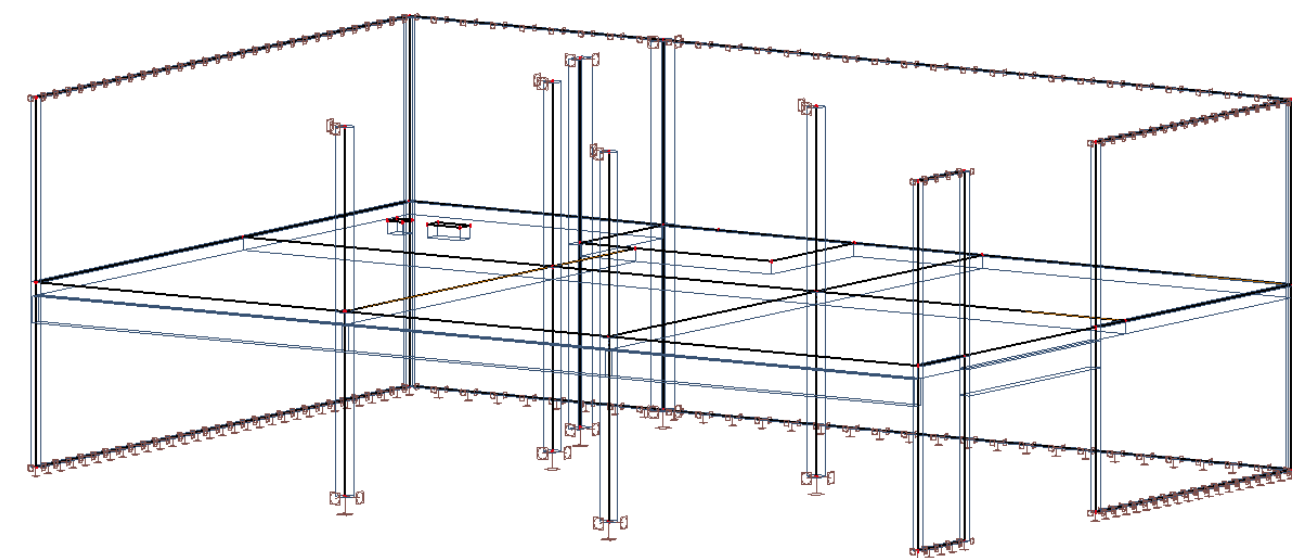
$$A_c = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,15^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$0,071 > 0,066 \Rightarrow$  Navržený průřez vyhovuje

### 3 Výpočet vnitřních sil – SCIA Engineer 16



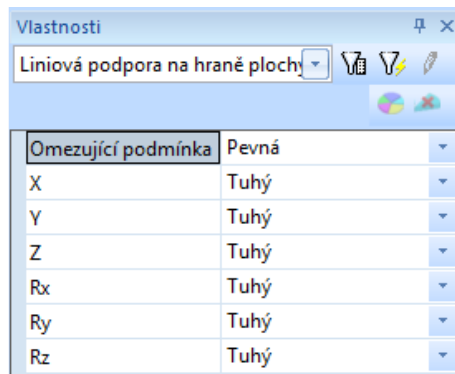
Obr. 24 model konstrukce



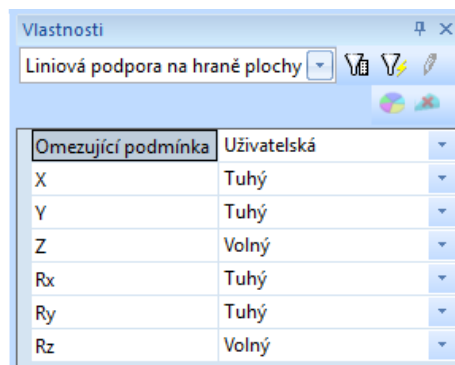
Obr. 25 statický model konstrukce



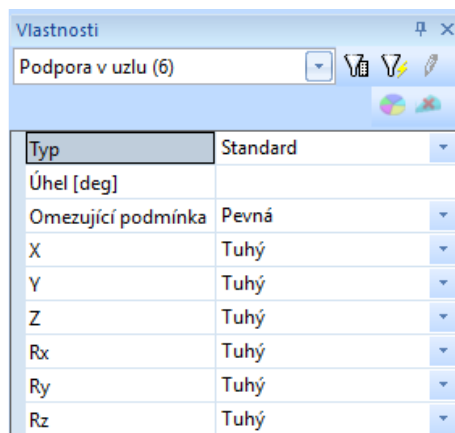
### 3.1 Statické řešení podepření konstrukce



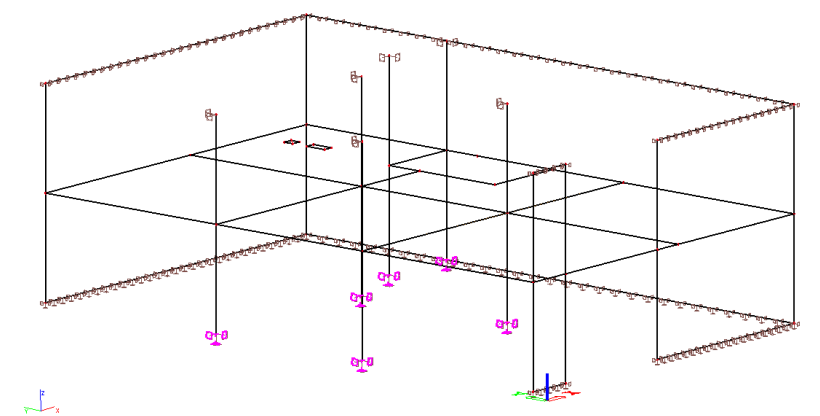
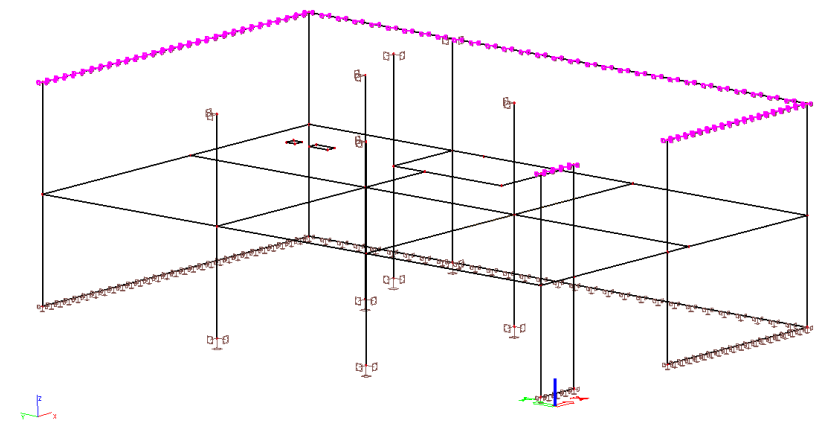
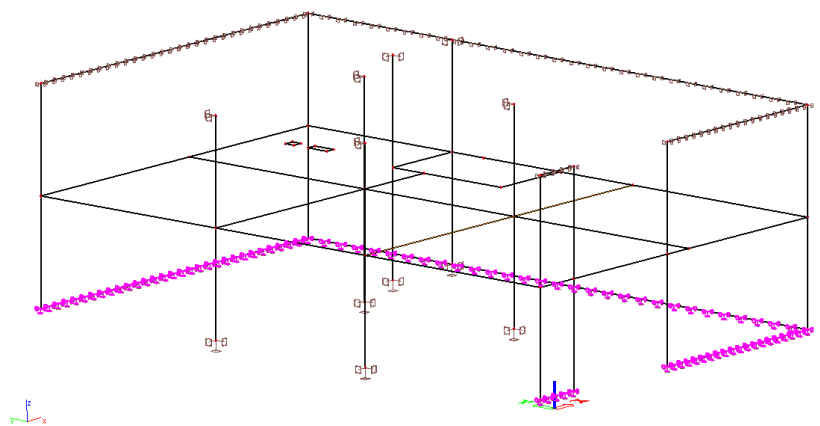
Obr. 26 dolní liniová podpora stěn

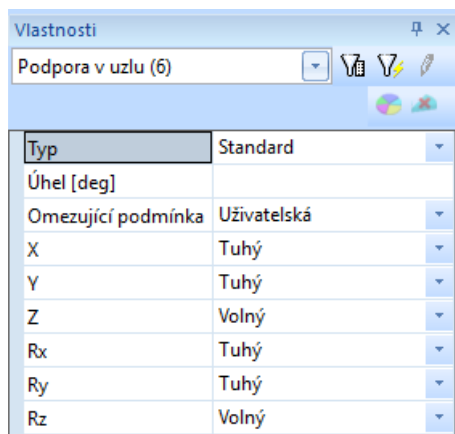


Obr. 27 horní liniová podpora stěn

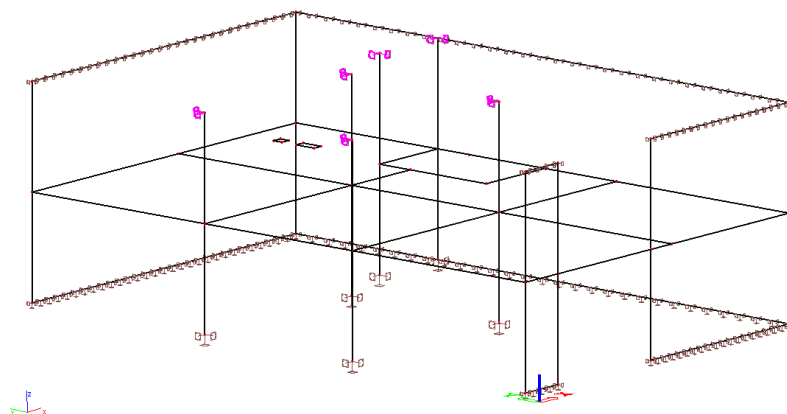


Obr. 28 dolní podpora sloupů





Obr. 29 horní podpora sloupů



### 3.2 Síť konečných prvků

Síť konečných prvků na desce jsem nastavil na velikost 0,2 m.

Obecná nastavení sítě	
Minimální vzdálenost mezi body [m]	0,001
Průměrný počet dílků na prutu	10
Průměrná velikost plošného/zakřiveného prvku [m]	0,200
Definice velikosti prvků sítě pro panely	Manuálně
Průměrná velikost prvku panelu [m]	1,000
Pružná síť	<input checked="" type="checkbox"/>
Použít automatické zjemnění sítě	<input type="checkbox"/>

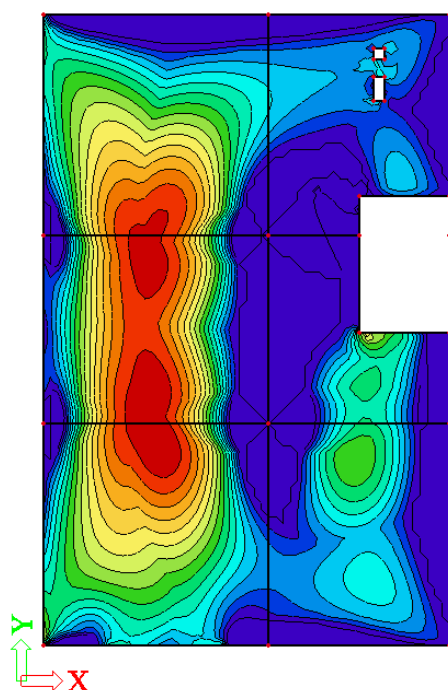
Obr. 30 nastavení sítě

### 3.3 Řešič MKP

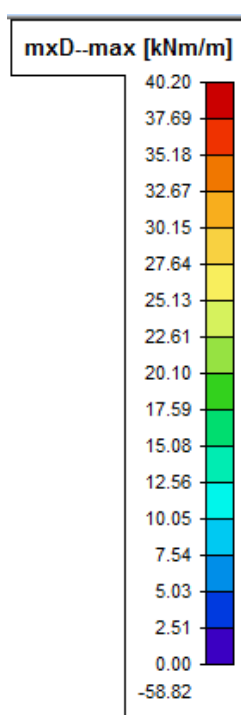
Obecné	
Zanedbat deformaci od smykové síly ( $A_y, A_z \gg A$ )	<input type="checkbox"/>
Teorie ohybu pro výpočet desek/skořepin	Mindlin
Typ řešiče	Přímý
Počet řezů na průměrném prutu	10

Obr. 31 nastavení řešiče

### 3.4 Ohybové momenty na desce – C010

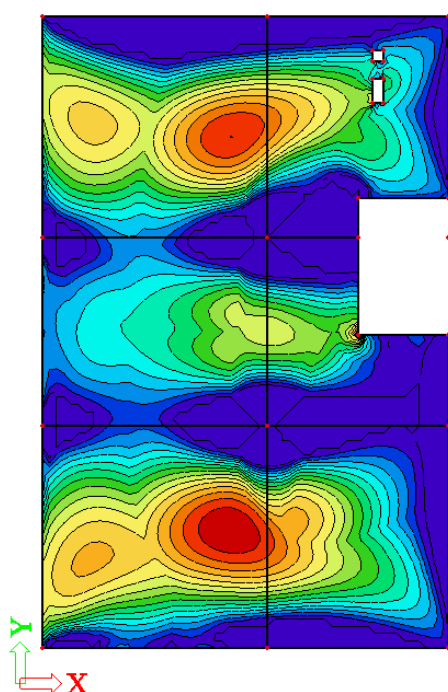


Obr. 32  $m_{xD}$ -

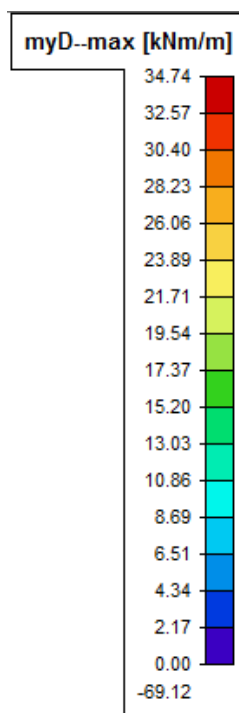


#### 3.4.1 Směr výztuže X-

Výztuž při spodním okraji desky ve směru X bude navržena na dimenzační moment  $m_{xD}$ -

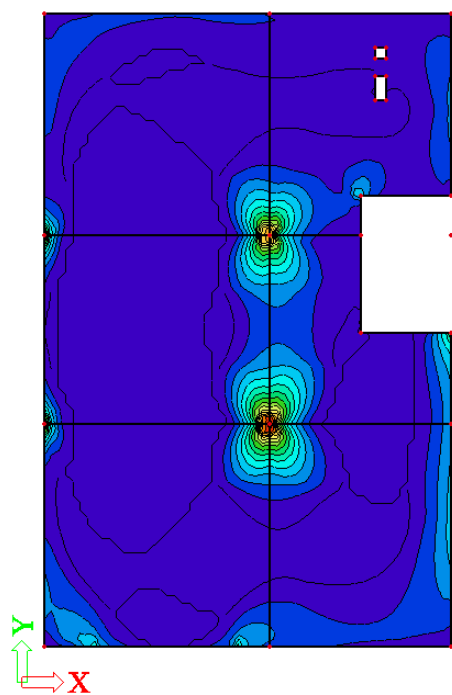


Obr. 33  $m_{yD}$ -

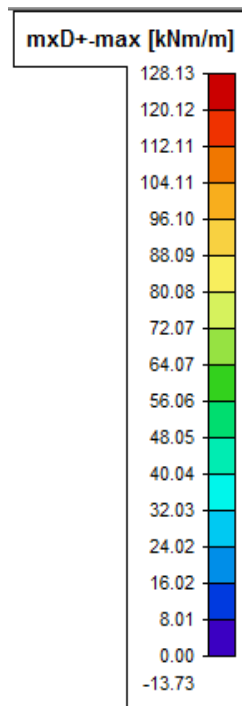


#### 3.4.2 Směr výztuže Y-

Výztuž při spodním okraji desky ve směru Y bude navržena na dimenzační moment  $m_{yD}$ -

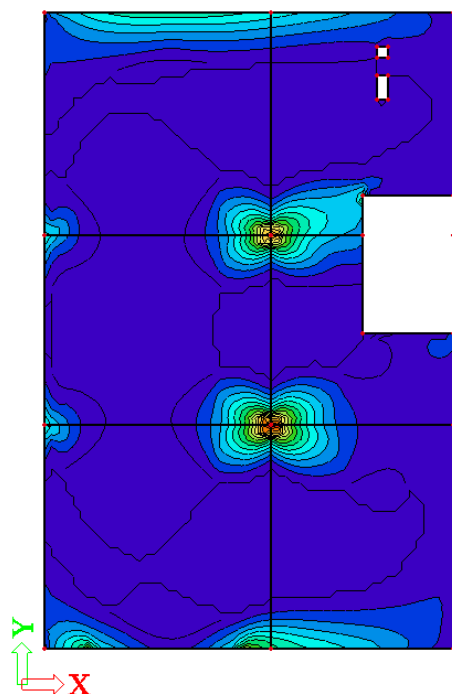


Obr. 34  $mxD+$

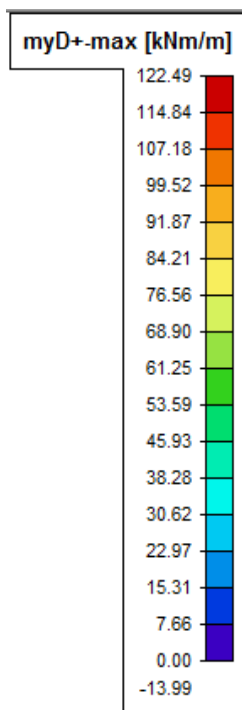


3.4.3

Směr výztuže X+

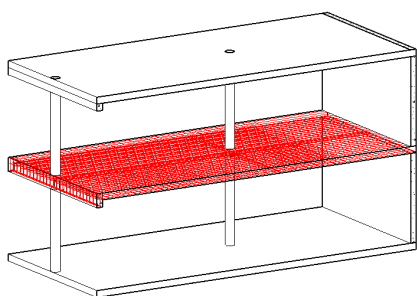


Obr. 35  $myD+$

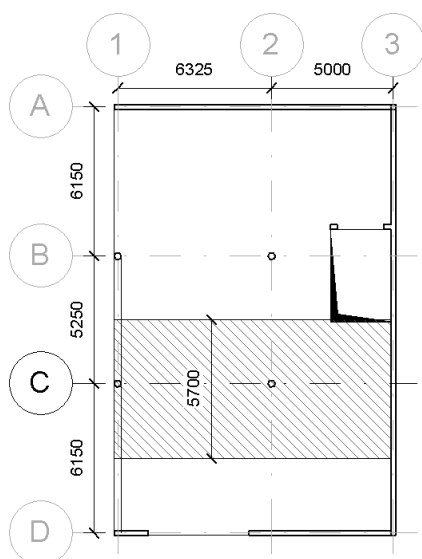


3.4.4

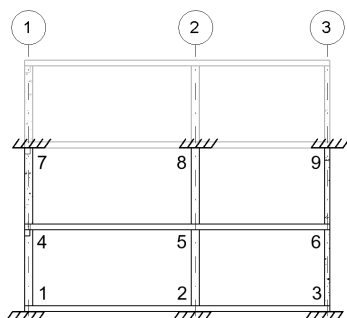
Směr výztuže Y+



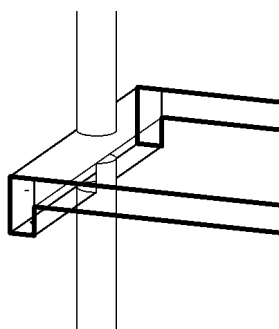
Obr. 36 výsek náhradního rámu



Obr. 37 půdorys výseku náhradního rámu



Obr. 38 řez náhradního rámu



Obr. 39 náhradní sloup

## 4 Ověření vnitřních sil

### 4.1 Metoda náhradních rámu

Ověření vnitřních sil provedu na rámovém výseku náhradního rámu, ve sloupové ose C. Šířka pruhu  $b = 5,7 \text{ m}$ .

#### 4.1.1 Výpočet tuhostí prvků rámu

Tuhost příčle desky

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 5,7 \cdot 0,22^3 = 5,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

sekundární moment pro oboustranně monoliticky připojený prut konstantního průřezu

$$\widehat{M}_{ab} = k_{ab} \cdot (2\varphi_a + \varphi_b); k_{ab} = \frac{2EI}{L_{ab}} \Rightarrow 2E = \text{konstanta } c$$

$$k_{65} = k_{56} = \frac{c \cdot I_c}{L_{65}} = 1 \Rightarrow c = \frac{L_{65}}{I_c} = \frac{5}{5,06 \cdot 10^{-3}} = 988$$

$$k_{45} = k_{54} = \frac{c \cdot I_c}{L_{45}} = \frac{I_c}{L_{45}} \cdot \frac{L_{65}}{I_c} = \frac{L_{65}}{L_{45}} = \frac{5}{6,325} = 0,79$$

Tuhost stěny

$$b = 5,7 \text{ m}; t = 0,2 \text{ m}; H_{69} = 3,1 \text{ m}; H_{63} = 3,17 \text{ m}$$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \cdot 5,7 \cdot 0,2^3 = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$k_{69} = \frac{c \cdot I_c}{H_{69}} = \frac{988 \cdot I_c}{H_{69}} = \frac{988 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3}}{3,1} = 1,21$$

$$k_{63} = \frac{c \cdot I_c}{H_{63}} = \frac{988 \cdot I_c}{H_{63}} = \frac{988 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3}}{3,17} = 1,18$$

Tuhost vnitřního sloupu

$$I_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^4 = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$k_{58} = \frac{c \cdot I_c}{H_{58}} = \frac{988 \cdot I_c}{H_{58}} = \frac{988 \cdot 3,98 \cdot 10^{-4}}{3,1} = 0,13$$

$$k_{52} = \frac{c \cdot I_c}{H_{52}} = \frac{988 \cdot I_c}{H_{52}} = \frac{988 \cdot 3,98 \cdot 10^{-4}}{3,17} = 0,12$$

Tuhost okrajového sloupu

Pokud řešíme metodu náhradních rámu na účinky svislého zatížení, je možné použít tzv. koncepci náhradního sloupu. Tato koncepce spojuje tuhost podporujícího prvku a kroucených prvků ve složený prvek.

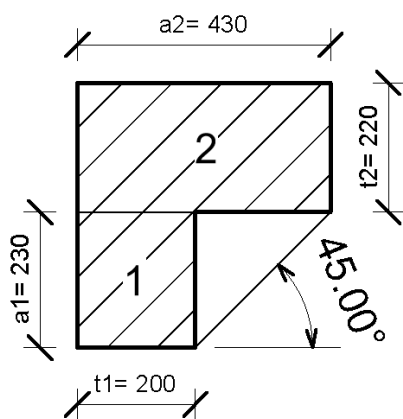
Náhradní sloup je tedy tvořen podporujícími prvky nad a pod deskovou příčlím a k nim je připojen kroucený ztužující trám.

Tuhost Náhradního sloupu

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_t} \Rightarrow K_{ec} = \frac{\sum K_c \cdot \sum K_t}{\sum K_c + \sum K_t}$$

$\sum K_c$  ... je součet tuhostí sloupů, které jsou ve styčnicku

$\sum K_t$  ... je součet torzních tuhostí kroucených prvků



Obr. 40 obvodový trám

$$K_t = \sum \frac{9E \cdot I_t}{b \cdot \left(1 - \frac{c}{b}\right)^3}$$

$I_t$  ... je moment tuhosti průřezu v kroucení ztužujícího trámu

$c$  ... je průměr sloupu

$b$  ... je šířka rámového výseku

$$I_t = \sum \left(1 - 0,63 \frac{t_i}{a_i}\right) \cdot \frac{t_i \cdot a_i^3}{3} = \left(1 - 0,63 \frac{0,2}{0,23}\right) \cdot \frac{0,2 \cdot 0,23^3}{3} + \left(1 - 0,63 \frac{0,22}{0,43}\right) \cdot \frac{0,22 \cdot 0,43^3}{3} = 1,31 \cdot 10^{-3} m^4$$

$$K_t = \frac{9E \cdot 1,31 \cdot 10^{-3}}{5,7 \cdot \left(1 - \frac{0,3}{5,7}\right)^3} = 2,43 \cdot 10^{-3} E$$

$$K_c = 2E \cdot I_c \cdot \left(\frac{1}{H_h} + \frac{1}{H_d}\right) = 2E \cdot 3,98 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1}{3,1} + \frac{1}{3,17}\right) = 5,08 \cdot 10^{-4} E$$

$$K_{ec} = \frac{5,08 \cdot 10^{-4} E \cdot 2,43 \cdot 10^{-3} E}{5,08 \cdot 10^{-4} E + 2,43 \cdot 10^{-3} E} = 4,20 \cdot 10^{-4} E$$

Tuhost náhradního sloupu

$$k_{47} = k_{41} = \frac{K_{ec}}{2E} \cdot c = \frac{4,20 \cdot 10^{-4} E}{2E} \cdot 988 = 0,21$$

#### 4.1.2 Primární momenty

$$\overline{M}_{ab} = -\frac{1}{12} \cdot f_{d,x} \cdot L^2 ; \overline{M}_{ba} = -\overline{M}_{ab}$$

zatížení příčle  $f_d$  je stanoveno kombinací všech stálých zatížení (ZS1+ZS2) a plného užitného zatížení (ZS11)

##### 6.10a

$$f_d = \gamma_G \cdot g_{k,podlaží} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_{k,podlaží} = 1,35 \cdot 7,7 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 3 = 13,55 \text{ kN/m}^2$$

##### 6.10b

$$f_d = \gamma_G \cdot \xi \cdot g_{k,podlaží} + \gamma_Q \cdot q_{k,podlaží} = 1,35 \cdot 0,85 \cdot 7,7 + 1,5 \cdot 3 = 13,34 \text{ kN/m}^2$$

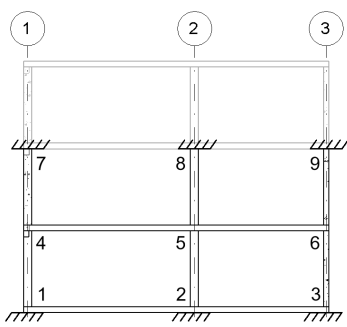
Rozhoduje rovnice 6.10a  $\Rightarrow f_{d,podlaží} = 13,55 \text{ kN/m}^2$

Rámová příčel je zatížena zatížením, které připadá na celou šířku řešeného výseku stropní desky.

$$f_{d,x} = f_d \cdot b_x = 13,55 \cdot 6,325 = 85,70 \text{ kN/m}^2$$

$$\overline{M}_{45} = \frac{1}{12} \cdot 85,70 \cdot 6,325^2 = 285,71 \text{ kN/m}$$

$$\overline{M}_{56} = \frac{1}{12} \cdot 85,70 \cdot 5^2 = 178,54 \text{ kN/m}$$



Obr. 38 řez náhradního rámu

### 4.1.3 Celkové momenty

Vycházíme z momentové podmínky, která nám říká, že součet všech momentů ve styčném bodě se musí rovnat nule.

$$M_{ab} = \overline{M}_{ab} + \hat{M}_{ab} = \overline{M}_{ab} + k_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b)$$

$$M_{47} = \overline{M}_{47} + k_{47}(2\varphi_4 + \varphi_7) = 0 + 0,21 \cdot (3\varphi_4)$$

$$M_{45} = \overline{M}_{45} + k_{45}(2\varphi_4 + \varphi_5) = 0,79 \cdot (2\varphi_4 + \varphi_5) - 285,71$$

$$M_{41} = \overline{M}_{41} + k_{41}(2\varphi_4 + \varphi_1) = 0 + 0,21 \cdot (2\varphi_4 + 0)$$

$$0,79\varphi_5 + (0,21 \cdot 3 + 0,79 \cdot 2 + 0,21 \cdot 2) \cdot \varphi_4 - 285,71 = 0$$

$$M_{58} = \overline{M}_{58} + k_{58}(2\varphi_5 + \varphi_8) = 0 + 0,13 \cdot (3\varphi_5)$$

$$M_{56} = \overline{M}_{56} + k_{56}(2\varphi_5 + \varphi_6) = 1 \cdot (2\varphi_5 + \varphi_6) - 178,54$$

$$M_{52} = \overline{M}_{52} + k_{52}(2\varphi_5 + \varphi_2) = 0 + 0,12 \cdot (2\varphi_5 + 0)$$

$$M_{54} = \overline{M}_{54} + k_{54}(2\varphi_5 + \varphi_4) = 285,71 + 0,79 \cdot (2\varphi_5 + \varphi_4)$$

$$\varphi_6 + (0,13 \cdot 3 + 1 \cdot 2 + 0,12 \cdot 2 + 0,79 \cdot 2) \cdot \varphi_5 + 0,79\varphi_4 - 178,54 + 285,71 = 0$$

$$M_{69} = \overline{M}_{69} + k_{69}(2\varphi_6 + \varphi_9) = 0 + 1,21 \cdot (3\varphi_6)$$

$$M_{63} = \overline{M}_{63} + k_{63}(2\varphi_6 + \varphi_3) = 0 + 1,18 \cdot (2\varphi_6 + 0)$$

$$M_{65} = \overline{M}_{65} + k_{65}(2\varphi_6 + \varphi_5) = 178,54 + 1 \cdot (2\varphi_6 + \varphi_5)$$

$$\varphi_5 + (1,21 \cdot 3 + 1,18 \cdot 2 + 1 \cdot 2) \cdot \varphi_6 + 178,54 = 0$$

$$0,79\varphi_5 + 2,63\varphi_4 = 285,71$$

$$\varphi_6 + 4,21\varphi_5 + 0,79\varphi_4 = -107,17$$

$$\varphi_5 + 7,99\varphi_6 = -178,54$$

soustava tří rovnic o třech neznámých vyřešena v programu PTC Mathcad Prime 3.1

$$\varphi_4 = 121,957$$

$$\varphi_5 = -44,352$$

$$\varphi_6 = -16,794$$

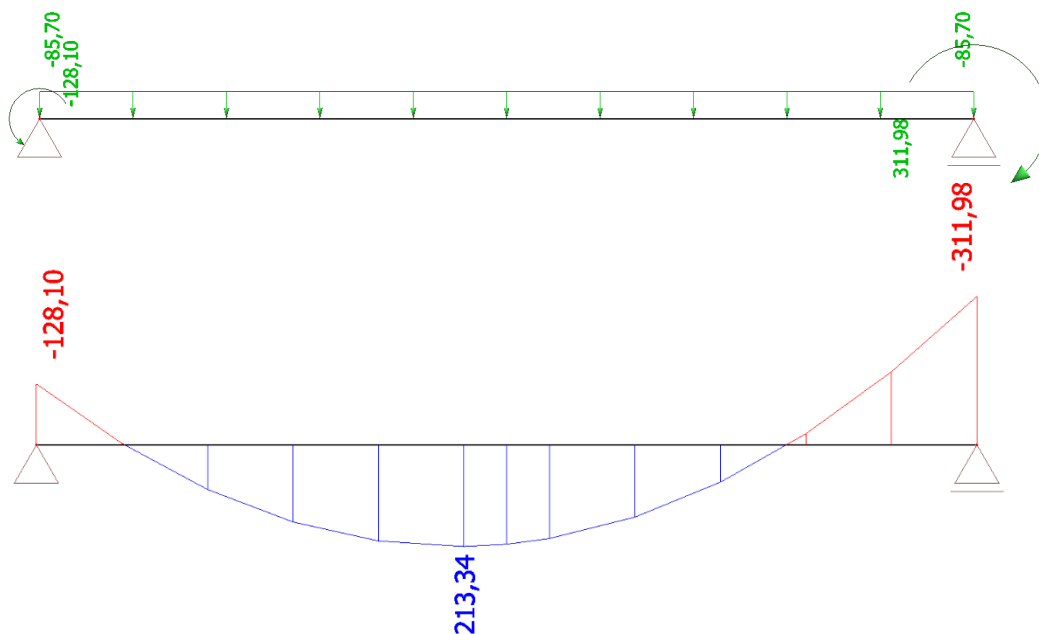
$$M_{45} = 0,79 \cdot (2 \cdot 121,957 - 44,352) - 285,71 = -128,056 \text{ kNm}$$

$$M_{54} = 285,71 + 0,79 \cdot (2 \cdot (-44,352) + 121,957) = 311,98 \text{ kNm}$$

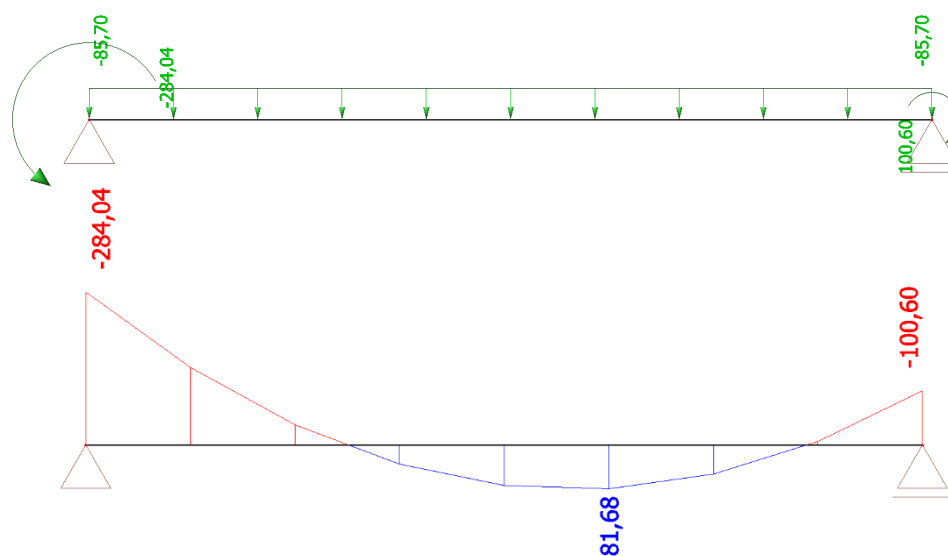
$$M_{56} = 1 \cdot (2(-44,352) + (-16,794)) - 178,54 = -284,038 \text{ kNm}$$

$$M_{65} = 178,54 + 1 \cdot (2(-16,794) + (-44,352)) = 100,6 \text{ kNm}$$

### Moment v poli 4-5



### Moment v poli 5-6



## 4.2 Rozdělení momentů do pruhů

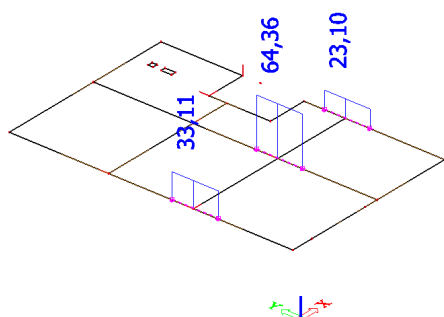
Deska je rozdělena na sloupové a mezisloupové pruhu.

Šířka sloupového pruhu se rovná  $2 \cdot \frac{1}{4}$  rozpětí menšího z přilehlých polí.

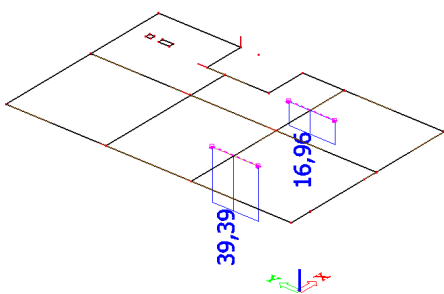
Šířka mezisloupového pruhu je doplňkem mezi pruhu sloupové.

Celkové momenty v pruzích jsou na celou šířku rámového výseku, proto musí být rozděleny do sloupového a mezisloupového pruhu. Toto rozdělení se provede vynásobením momentu příslušným součinitelem  $\omega$ . Následné momenty podělíme šířkou sloupového pruhu a dostaneme momenty, které můžeme porovnat s momenty z programu SCIA Engineer 16.





Obr. 41 dimenzační momenty nad podporou



Obr. 42 dimenzační momenty v poli

#### 4.2.1 Dimenzační momenty nad podporou

##### Krajní podpora $M_{45}$

$$\beta_t = \frac{G_{cb} \cdot I_t}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{13,02 \cdot 1,31 \cdot 10^{-3}}{31 \cdot 5,06 \cdot 10^{-3}} = 0,11$$

$G_{cb}$ ... modul pružnosti ve smyku okrajového krouceného prvku

$$G_{cb} = 0,42 \cdot E_{cs} = 0,42 \cdot 31 = 13,02 \text{ GPa}$$

$I_s$ ... moment setrvačnosti průřezu desky o šířce  $b=5,7$  m

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 5,7 \cdot 0,22^3 = 5,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\beta_t = 0 \Rightarrow \omega = 1$$

$$\beta_t \geq 2,5 \Rightarrow \omega = 0,75$$

$$\text{součinitel kroucení } \beta_t = 0,11 \Rightarrow \omega = 0,989$$

$$b = 2,85$$

$$\frac{\omega \cdot M_{45}}{2,85} = \frac{0,989 \cdot 128,056}{2,85} = 44,44 \text{ kNm}; \text{ SCIA } M = 33,11 \text{ kNm}$$

$$\text{rozdíl} \Rightarrow 25,5 \%$$

##### Vnitřní podpora $M_{54}$ a $M_{56}$

$$\omega = 0,75; b = 2,85$$

$$\frac{\omega \cdot M_{54}}{2,85} = \frac{0,75 \cdot 311,98}{2,85} = 82,1 \text{ kNm}$$

$$\frac{0,75 \cdot M_{56}}{2,85} = \frac{0,75 \cdot 284,038}{2,85} = 74,747 \text{ kNm}$$

$$\text{průměr: } 78,42 \text{ kNm}; \text{ SCIA } M = 64,36 \text{ kNm}$$

$$\text{rozdíl} \Rightarrow 17,93 \%$$

##### Krajní podpora $M_{65}$

$$\omega = 1; b = 2,85$$

$$\frac{\omega \cdot M_{65}}{2,85} = \frac{100,6}{2,85} = 35,30 \text{ kNm}; \text{ SCIA } M = 23,10 \text{ kNm}$$

$$\text{rozdíl} \Rightarrow 34,56 \%$$

#### 4.2.2 Dimenzační momenty v poli

##### Moment v poli 4-5

$$\omega = 0,6; b = 2,85; M_{5-6} = 213,34 \text{ kNm}$$

$$\frac{\omega \cdot M_{4-5}}{2,85} = \frac{0,6 \cdot 213,34}{2,85} = 44,91 \text{ kNm}; \text{ SCIA } M = 39,39 \text{ kNm}$$

$$\text{rozdíl} \Rightarrow 12,29 \%$$

##### Moment v poli 5-6

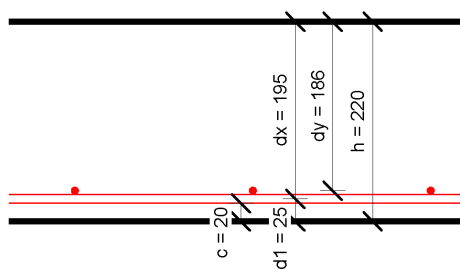
$$\omega = 0,6; b = 2,85; M_{5-6} = 81,68 \text{ kNm}$$

$$\frac{\omega \cdot M_{5-4}}{2,85} = \frac{0,6 \cdot 81,68}{2,85} = 17,20 \text{ kNm}; \text{ SCIA } M = 16,96 \text{ kNm}$$

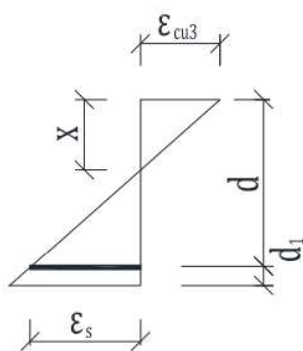
$$\text{rozdíl} \Rightarrow 1,40 \%$$

#### 4.3 Zhodnocení výsledků

Výsledné hodnoty jsou srovnatelné, největším rozdílem je 34,56 %. Tento rozdíl je u podporového momentu  $M_{65}$ , z důvodu blízkosti schodišťového otvoru. Nejmenší rozdíl je u momentů v poli v rozmezí 1,4 % až 12,29 %. Ověření výsledků je přijatelné, pro dimenzování budou použity dimenzační momenty z programu SCIA Engineer 16.



obr. 43 schéma dolní výztuže – řez ve směru X



obr. 44 přetvoření výztuže

## 5 Dimenzování výztuže desky na MSÚ

Deska bude při obou površích vyztužena na  $M_{Rd,1}$ , plocha výztuže  $A_{st,1} \geq A_{s, \min}$ . V místech, kde bude  $M_{ED} > M_{Rd,1}$  bude navržena přídavná výztuž.

### 5.1 Dolní výztuž ve směru X

odhad  $\Rightarrow \varnothing 10 \text{ mm}$

Stupeň vlivu prostředí XC1, třída konstrukce S4 (pro prvky s geometrií desek lze posunout třídu konstrukce o jednu níže, uvažují S3).

Krytí:

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

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max \{10; 10; 10\} = 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 10 + 10 = 20 \text{ mm} \Rightarrow c = 20 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing/2 = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 25 = 195 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,195}{500} = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,195 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{navrženo } \varnothing 10 \text{ po } 200 \text{ mm} \Rightarrow A_{st,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st,1}$$

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,013 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

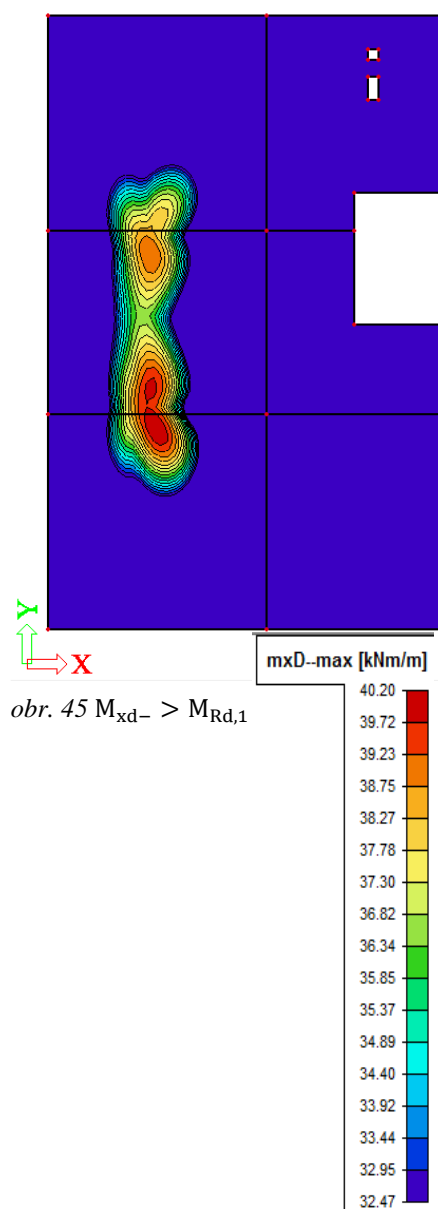
$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,013} \cdot (0,195 - 0,013) = 0,049$$

$$\varepsilon_s = 49\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$\text{Rameno vnitřních sil } z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,195 - \frac{0,8 \cdot 0,013}{2} = 0,19 \text{ m}$$

$$\text{Moment na mezi únosnosti } M_{Rd,1} = A_{st,1} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,19 = 32,47 \text{ kNm}$$



### 5.1.1 Přídavná dolní výztuž ve směru X

Obr. 31 znázorňuje momenty, které jsou větší než

$M_{Rd,1} = 32,47 \text{ kNm}$  a také místo, kde bude navržena přídavná výztuž ve směru X.

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

$$= 1 \cdot 0,195 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 40,20}{1 \cdot 0,195^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) =$$

$$= 4,90 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,2} \geq (A_{s,req} - A_{st,1})$$

$$A_{st,2} \geq (4,90 \cdot 10^{-4} - 3,93 \cdot 10^{-4}) = 0,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo Ø10 po 400mm  $\Rightarrow A_{st,2} = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{nom} + \phi/2 = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 25 = \mathbf{195 \text{ mm}}$$

Celková plocha výztuže  $A_{st}$

$$A_{st} = A_{st,1} + A_{st,2} = 3,93 \cdot 10^{-4} + 1,96 \cdot 10^{-4} = \mathbf{5,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Konstrukční zásady

$$A_{st} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,195}{500} = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,195 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$5,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st}$$

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 5,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{5,89 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,019 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,019} \cdot (0,195 - 0,019) = 0,032 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 32\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$\text{Rameno vnitřních sil } z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,195 - \frac{0,8 \cdot 0,019}{2} = 0,19 \text{ m}$$

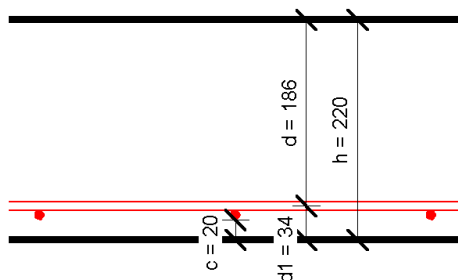
Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd} = 5,89 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,19 = \mathbf{47,97 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$\mathbf{47,97 \text{ kNm} > 40,20 \text{ kNm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}}$$



obr. 46 schéma dolní výztuže – řez ve směru Y

## 5.2 Dolní výztuž ve směru Y

odhad  $\Rightarrow \varnothing 8 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \varnothing + \varnothing/2 = 20 + 10 + 8/2 = 34 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 34 = 186 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,186}{500} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,186 = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{navrženo } \varnothing 8 \text{ po } 200 \text{ mm} \Rightarrow A_{st,1} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st,1}$$

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{\max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{\max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{2,51 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,008 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,008} \cdot (0,186 - 0,008) = 0,076 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 76\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

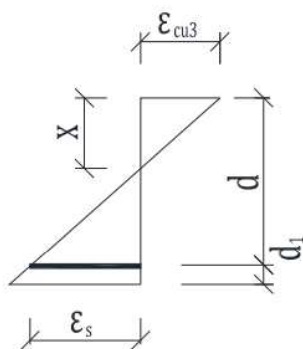
Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,186 - \frac{0,8 \cdot 0,008}{2} = 0,183 \text{ m}$$

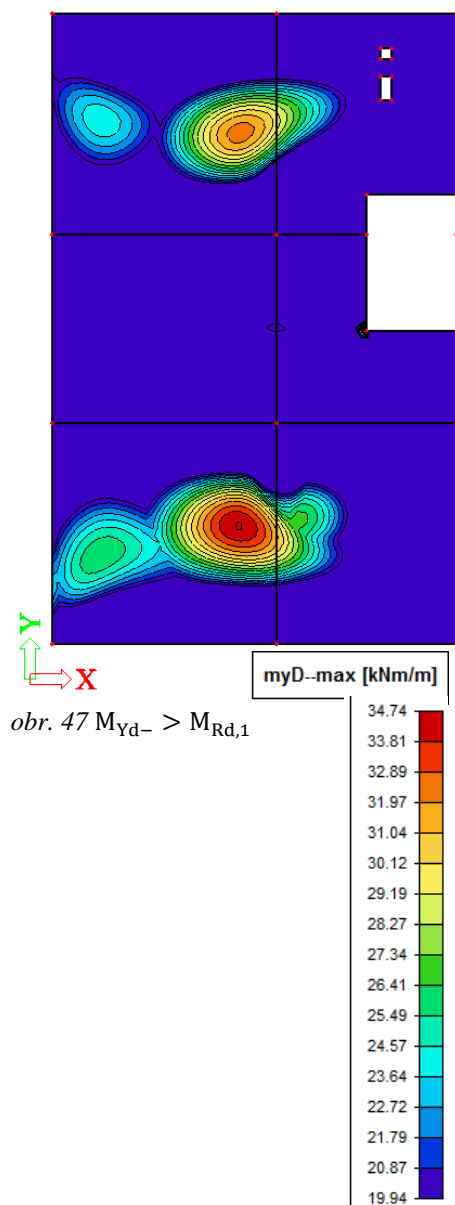
Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st,1} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd,1} = 2,51 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,183 = 19,94 \text{ kNm}$$



obr. 44 přetvoření výztuže



## 5.2.1 Přídavná dolní výztuž ve směru Y

Obr. 47 znázorňuje momenty, které jsou větší než

$M_{Rd,1} = 19,94 \text{ kNm}$  a také místo, kde bude navržena přídavná výztuž ve směru Y.

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

$$= 1 \cdot 0,186 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 34,74}{1 \cdot 0,186^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) =$$

$$= 4,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,2} \geq (A_{s,req} - A_{st,1})$$

$$A_{st,2} \geq (4,43 \cdot 10^{-4} - 2,51 \cdot 10^{-4}) = 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo  $\varnothing 8$  po 200mm  $\Rightarrow A_{st,2} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing + \varnothing/2 = 20 + 10 + 8/2 = 34 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 34 = 186 \text{ mm}$$

Celková plocha výztuže  $A_{st}$

$$A_{st} = A_{st,1} + A_{st,2} = 2,51 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 5,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady

$$A_{st} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,186}{500} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,1965 = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$5,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st}$$

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 5,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{5,02 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,016 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,016} \cdot (0,186 - 0,016) = 0,036 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 36\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,186 - \frac{0,8 \cdot 0,016}{2} = 0,179 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd} = 5,02 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,179 = 39,17 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$39,17 \text{ kNm} > 34,74 \text{ kNm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

### 5.3 MSP – podmínka ohybové štíhlosti

$$\frac{l}{d} \leq \lambda_d \quad [6]$$

$$l = 6,325 \text{ m}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,195 + 0,185}{2} = 0,19 \text{ m}$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \dots \text{pro obdélníkový průřez}$$

$$\kappa_{c2} = 1 \dots \text{pro } l \leq 7 \text{ m}$$

$$\kappa_{c3} = \frac{310}{\sigma_s} \cong \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{25} \cdot \frac{5,89}{4,90} = 1,2$$

$\lambda_{d,tab}$  je tabulková hodnota, která vymezuje ohybovou štíhlost lokálně podepřené desky

$\rho$  ... stupeň vyztužení podélnou výztuží u dolního líce desky v polovině rozpětí

$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} = \frac{3,93 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0,195} = 0,002$$

$\rho_0$  ... referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{25} \cdot 10^{-3} = 0,005$$

Pro třídu betonu C25/30 a  $\rho < \rho_0$

$$\begin{aligned} \lambda_{d,tab} &= K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = \\ &= 1,2 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot 5 \cdot \frac{0,005}{0,002} + 3,2 \cdot 5 \cdot \left( \frac{0,005}{0,002} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = \end{aligned}$$

$$\lambda_{d,tab} = 70,97$$

K ... pro desku lokálně podepřenou = 1,2

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 70,97 = 85,16$$

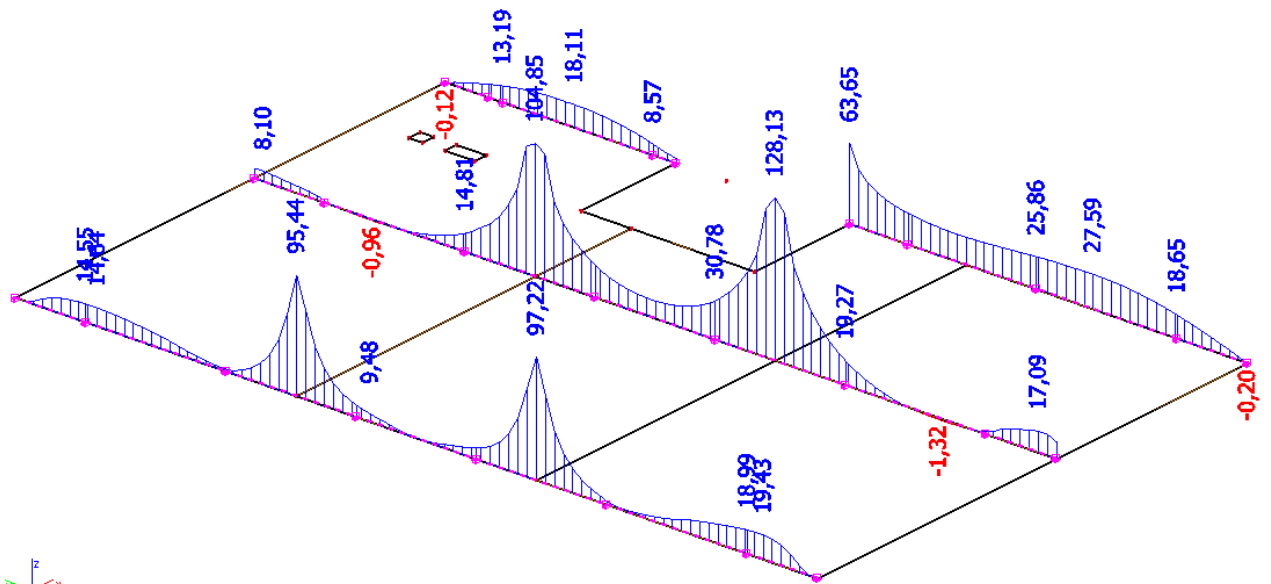
$$\frac{l}{d} \leq \lambda_d$$

$$\frac{6,325}{0,19} \leq 85,16$$

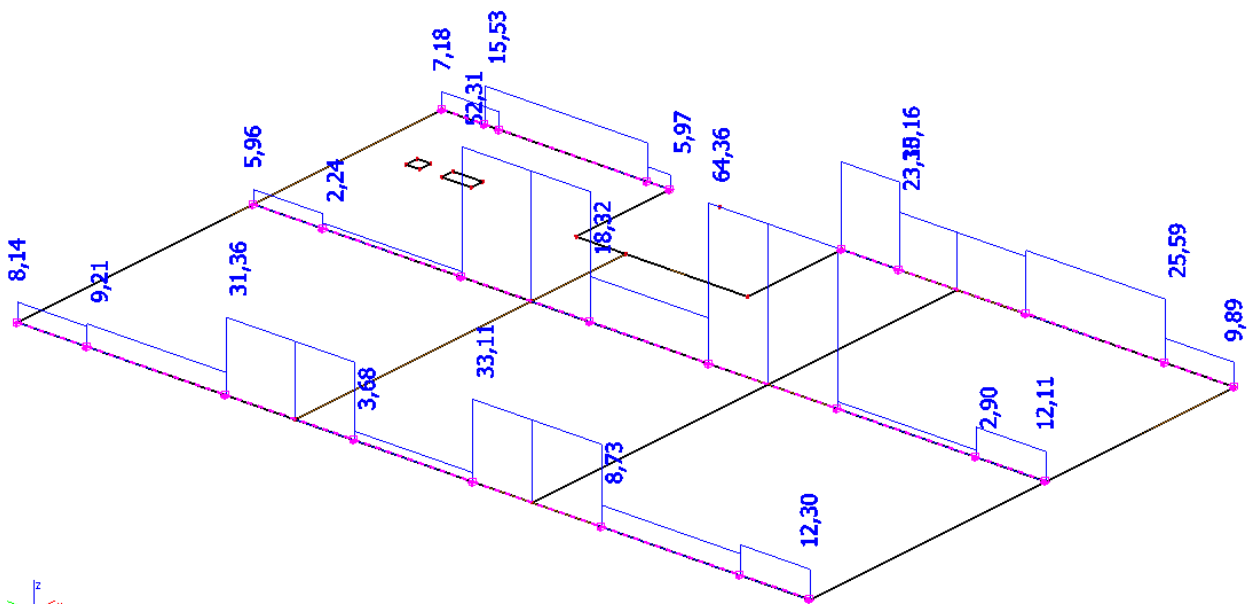
$$33,29 \leq 85,16 \Rightarrow \checkmark \text{ splněna podmínka ohybové štíhlosti}$$

Není nutné prokazovat průhyb konstrukce výpočtem.

## 5.4 Horní výztuž ve směru X



Obr. 48  $mDx+$  přesné zobrazení



Obr. 49  $mDx+$  rovnoměrné zobrazení,  
dimenzační momenty

Deska je rozdělena na sloupové a mezisloupové pruhy.

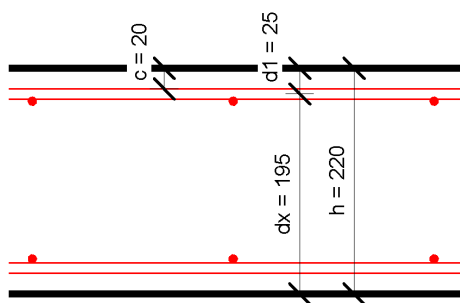
Šířka sloupového pruhu se rovná  $2 \cdot \frac{1}{4}$  rozpětí menšího z přilehlých polí.

Šířka mezisloupového pruhu je doplňkem mezi pruhy sloupové.

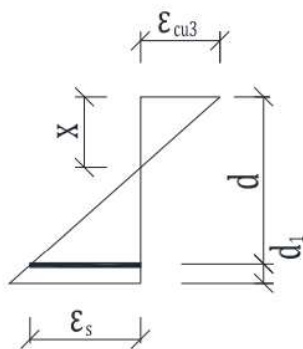
V takto stanovených pruzích jsou dimenzační momenty pro horní výztuž  $mDx+$  a  $mDy+$  rovnoměrně rozděleny po své šířce.

např. max  $mDx+$  = 128,13 kNm

=> **dimenzační moment = 64,36 kNm** (na tento moment bude navržena horní výztuž nad vnitřní podporou)



obr. 50 schéma horní a dolní výztuže, řez ve směru X



obr. 44 přetvoření výztuže

Deska bude při obou površích vyztužena na  $M_{Rd,1}$ , plocha výztuže  $A_{st,1} \geq A_{s, \min}$ . V místech, kde  $M_{ED} > M_{Rd,1}$ , bude navržena přídatná výztuž.

odhad  $\Rightarrow \varnothing 10 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \varnothing/2 = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 25 = 195 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,196}{500} = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,196 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo  $\varnothing 10 \text{ po } 200 \text{ mm} \Rightarrow A_{st,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Konstrukční zásady

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st,1}$$

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{\max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{\max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,013 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,013} \cdot (0,195 - 0,013) = 0,049 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 49\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Rameno vnitřních sil

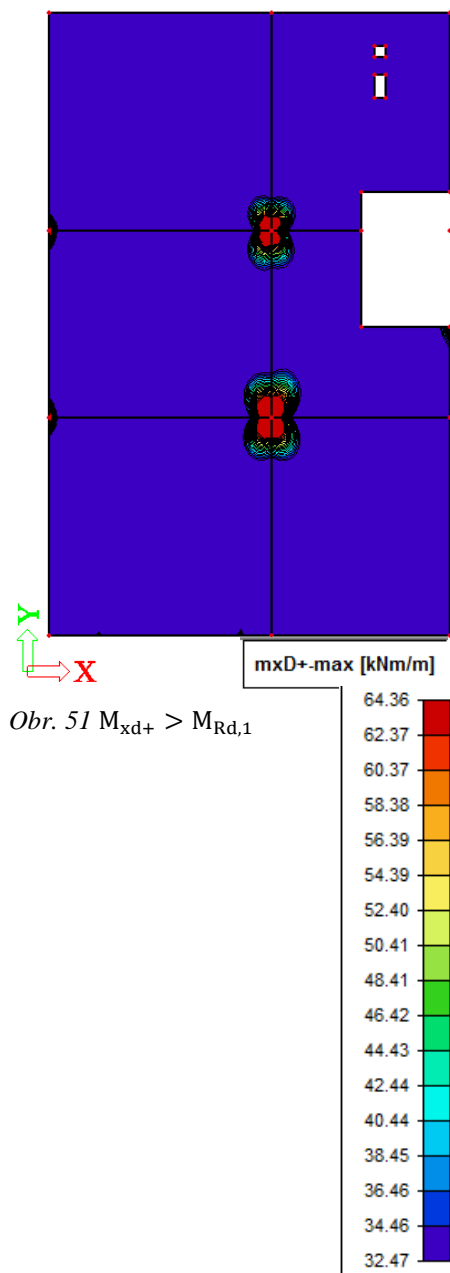
$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,195 - \frac{0,8 \cdot 0,013}{2} = 0,19 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st,1} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,19 = 32,47 \text{ kNm}$$





#### 5.4.1 Přídavná horní výztuž ve směru X

Obr. 51 znázorňuje momenty, které jsou větší než

$M_{Rd,1} = 32,47 \text{ kNm}$  a také místo, kde bude navržena přídavná výztuž ve směru X.

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

$$= 1 \cdot 0,195 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 64,36}{1 \cdot 0,195^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) =$$

$$= 8,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,2} \geq (A_{s,req} - A_{st,1})$$

$$A_{st,2} \geq (8,02 \cdot 10^{-4} - 3,93 \cdot 10^{-4}) = 4,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo  $\varnothing 10$  po 150mm  $\Rightarrow A_{st,2} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing/2 = 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 25 = 195 \text{ mm}$$

Celková plocha výztuže  $A_{st,x}$

$$A_{st,x} = A_{st,1} + A_{st,2} = 3,93 \cdot 10^{-4} + 5,24 \cdot 10^{-4} = 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady

$$A_{st,x} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,195}{500} = 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,195 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s,max} \geq A_{st,x}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{9,17 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,03 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,03} \cdot (0,195 - 0,03) = 0,019 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 19\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$\text{Rameno vnitřních sil } z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,195 - \frac{0,8 \cdot 0,03}{2} = 0,183 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

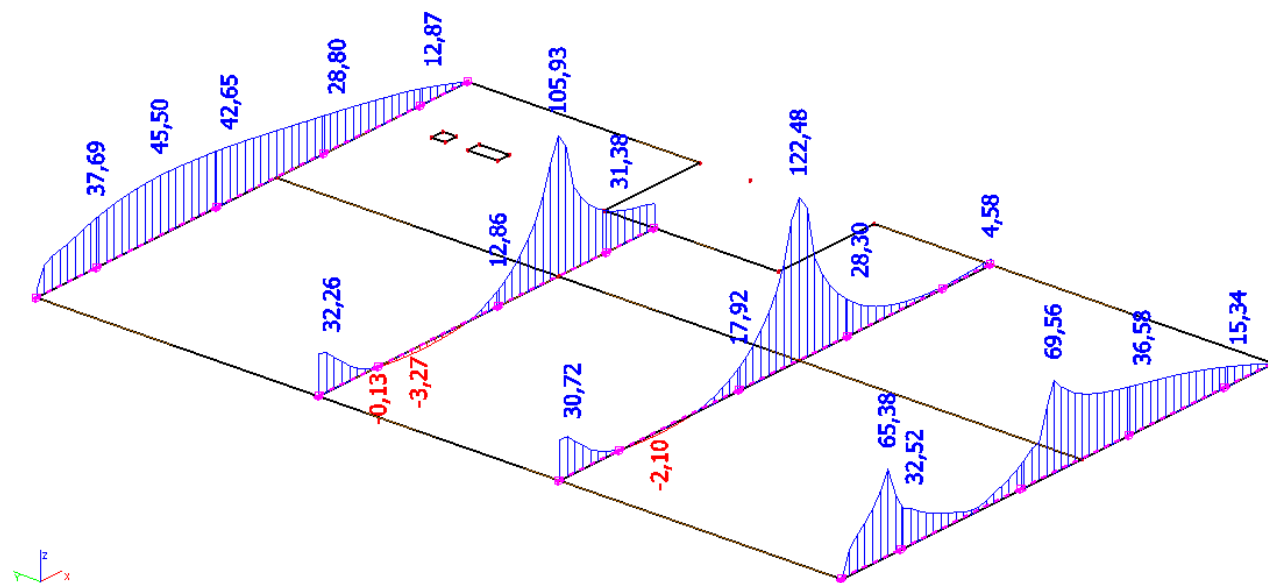
$$M_{Rd,1} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd} = 9,17 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,183 = 72,98 \text{ kNm}$$

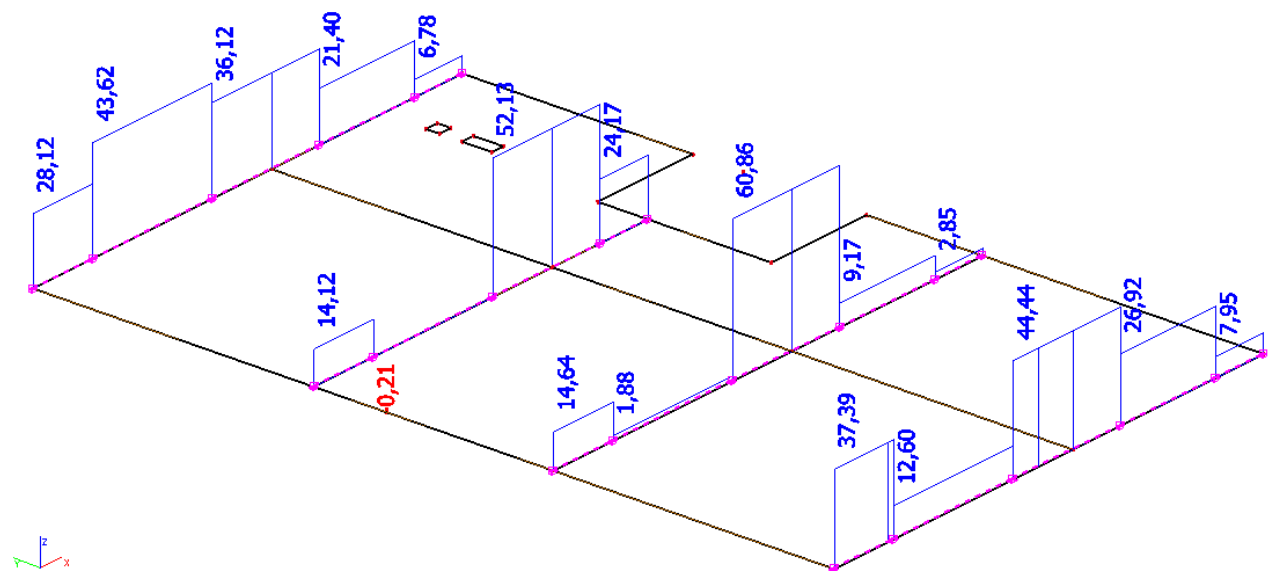
$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$72,98 \text{ kNm} > 64,36 \text{ kNm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

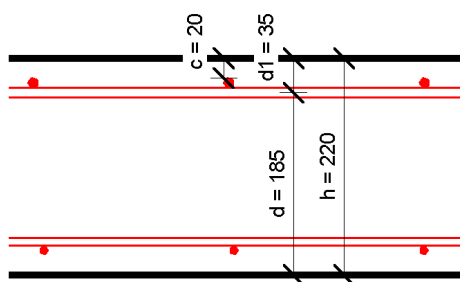
## 5.5 Horní výztuž ve směru Y



Obr. 52 mDy+ přesné zobrazení



Obr. 53 mDy+ rovnoměrné zobrazení,  
dimenzační momenty



obr. 54 schéma horní a dolní výztuže, řez ve směru Y

odhad  $\Rightarrow \varnothing 10 \text{ mm}$

#### Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \varnothing + \varnothing/2 = 20 + 10 + 10/2 = 35 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 35 = 185 \text{ mm}$$

#### Minimální plocha výztuže

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$A_{s, \min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,185}{500} = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,185 = 2,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo  $\varnothing 10$  po 200mm  $\Rightarrow A_{st,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

#### Konstrukční zásady

$$A_{st,1} \geq A_{s, \min}$$

$$3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s, \max} \geq A_{st,1}$$

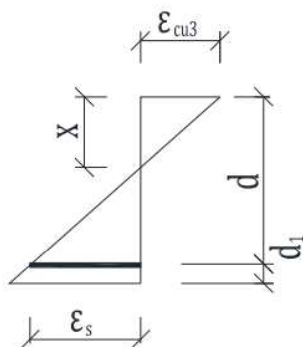
$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

#### Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{\max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{\max} \Rightarrow 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$



obr. 44 přetvoření výztuže

#### Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,013 \text{ m}$$

#### Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,013} \cdot (0,185 - 0,013) = 0,047 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 47\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

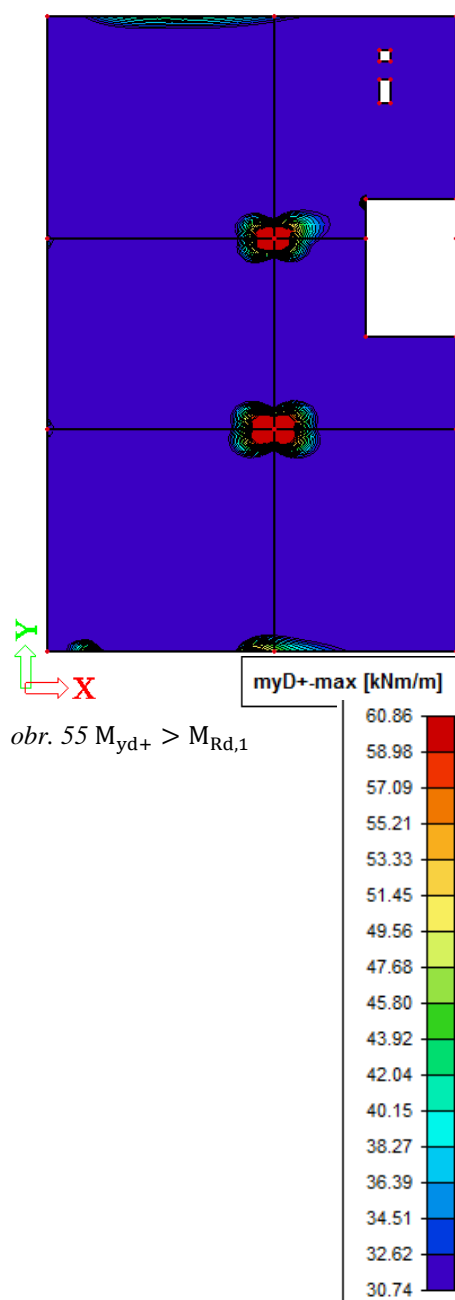
#### Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,185 - \frac{0,8 \cdot 0,013}{2} = 0,18 \text{ m}$$

#### Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st,1} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd,1} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,19 = 30,74 \text{ kNm}$$



### 5.5.1 Přídavná horní výztuž ve směru Y

Obr. 55 znázorňuje momenty, které jsou větší než

$M_{Rd,1} = 30,74 \text{ kNm}$  a také místo, kde bude navržena přídavná výztuž ve směru X.

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

$$= 1 \cdot 0,185 \cdot \frac{16,67}{434,78} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 60,86}{1 \cdot 0,185^2 \cdot 16,67 \cdot 10^3}}\right) =$$

$$= 8,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,2} \geq (A_{s,req} - A_{st,1})$$

$$A_{st,2} \geq (8,02 \cdot 10^{-4} - 3,93 \cdot 10^{-4}) = 4,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo  $\varnothing 10$  po 150mm  $\Rightarrow A_{st,2} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

Účinná výška průřezu

$$d_1 = c_{nom} + \varnothing + \varnothing/2 = 20 + 10 + 10/2 = 35 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 220 - 35 = 185 \text{ mm}$$

Celková plocha výztuže  $A_{st,y}$

$$A_{st,y} = A_{st,1} + A_{st,2} = 3,93 \cdot 10^{-4} + 5,24 \cdot 10^{-4} = 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Konstrukční zásady:

$$A_{st,y} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1 \cdot 0,185}{500} = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,195 = 2,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$A_{s,max} \geq A_{st,y}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,22 = 88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$S_{max} = \min(2h_s; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 220; 300) = 300 \text{ mm}$$

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Poloha neutrální osy

– předpoklad plného využití výztuže, nad mez kluzu

$$x = \frac{A_{st,y} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{9,17 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{1 \cdot 0,8 \cdot 16,67} = 0,03 \text{ m}$$

Ověření využití výztuže nad mez kluzu

– přes přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,03} \cdot (0,195 - 0,03) = 0,018 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = 18\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{yd} \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,185 - \frac{0,8 \cdot 0,03}{2} = 0,173 \text{ m}$$

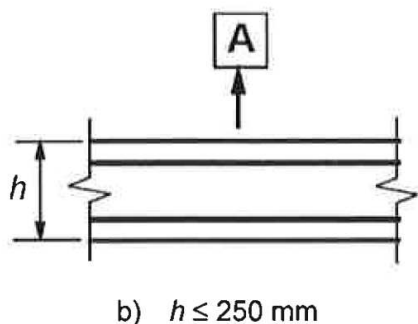
Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd,1} = A_{st,y} \cdot f_{yd} \cdot z$$

$$M_{Rd} = 9,17 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,173 = 68,99 \text{ kNm}$$

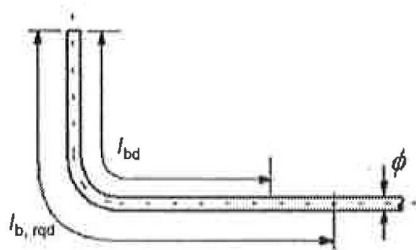
$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$68,99 \text{ kNm} > 60,86 \text{ kNm} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$

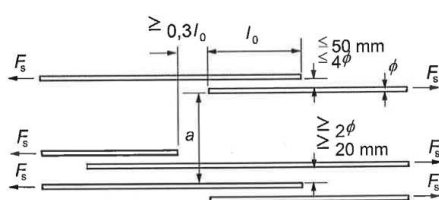


Obr. 56 dobré podmínky soudržnosti [2]

A – směr betonáže



Obr. 57 základní kotevní délka [2]



Obr. 58 sousední styky přesahem [2]

## 5.6 Kotvení betonářské výztuže

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

$\eta_1 \dots$  je součinitel závislý na kvalitě podmínek v soudržnosti a poloze prutu během betonáže. Pro  $h_{desky} \leq 250 \text{ mm}$ ,  $\eta_1 = 1,0$

$\eta_2 \dots$  je součinitel závislý na průměru prutu.

Pro  $\phi \leq 32 \text{ mm}$ ,  $\eta_2 = 1,0$

$f_{ctd} \dots$  je návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 10^6 = 2,7 \text{ MPa}$$

### 5.6.1 Základní kotevní délka

Základní požadovaná kotevní délka  $l_{b,reqd}$  je délka přímé části

prutu, která je potřebná k zachycení síly  $F_{td} = A_s \cdot \sigma_{sd}$

$f_{bd}$  podél tohoto prutu je konstantní, pak platí vztah:

Horní výztuž:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{8,02}{9,17} = 380,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{0,010}{4} \cdot \frac{380,25 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} = 0,352 \text{ m}$$

Dolní výztuž:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{4,90}{5,89} = 361,40 \text{ MPa}$$

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{0,010}{4} \cdot \frac{361,40 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} = 0,335 \text{ m}$$

$$l_{b,reqd} = 40 \cdot \phi = 40 \cdot 0,010 = 0,400 \text{ m}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,reqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}\} = \max\{121; 100; 100\} = 121 \text{ mm}$$

### Návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,reqd} \geq l_{b,min}$$

$$l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,352 \geq 0,121 \text{ m} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

### 5.6.2 Stykování výztuže

Střídavé stykování – 50% prutů v průřezu je stykováno

$$\text{přesahem} \quad \alpha_6 = \left(\frac{50}{25}\right)^{0,5} = 1,4$$

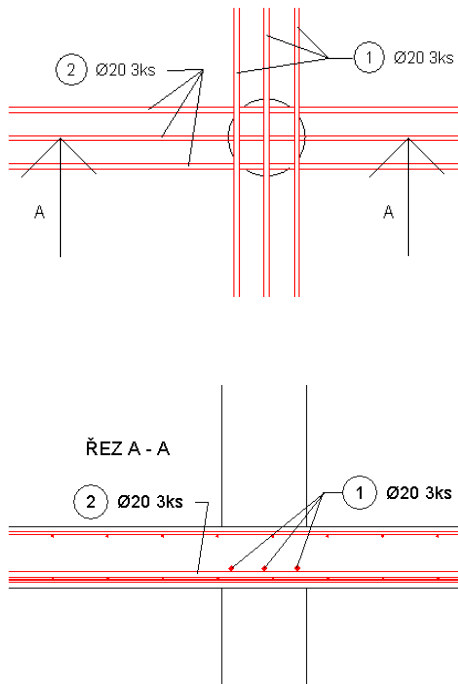
$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,reqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,reqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} = \max\{167; 150; 200\} = 200 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,403 \geq l_{0,min}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,403 \geq l_{0,min}$$

$$l_0 \geq l_{0,min} \Rightarrow 564 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$



Obr. 59 schéma výztuže proti řetězovému zřícení

## 5.7 Výztuž proti řetězovému zřícení

Tato výztuž prochází sloupy v obou směrech při spodním okraji desky. Pokud by došlo k selhání jedné z podpor desky, tak by tato výztuž měla zabránit zřícení celé konstrukce.

Výztuž bude kladena jako 3. a 4. vrstva při spodním okraji desky.

$$f = \max(q_d; 2 \cdot g_{d, \text{podlaží}}) \geq 20 \text{ kN/m}^2$$

$$f = \max(1,5 \cdot 3,0; 2 \cdot 1,35 \cdot 7,7) = \max(4,5; 20,79) = 20,79 \text{ kN/m}^2$$

$$N_s = \frac{f \cdot L_x \cdot L_y}{2,5} = \frac{20,76 \cdot 6,325 \cdot 6,15}{2,5} = 323 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{323}{424,78 \cdot 10^3} = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{navrženo } 3\text{Ø}20 \Rightarrow A_s = 9,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### 5.7.1 Výpočet kotevní délky

Minimální délka výztuže je  $l_{bd} + h_s$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{0,020}{4} \cdot \frac{350,78 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^6} = 0,650 \text{ m}$$

$$\sigma_{sd} = f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} = 434,78 \cdot \frac{7,60}{9,42} = 350,78 \text{ MPa}$$

$$l_{bd} + h_s = 650 + 220 = 870 \text{ mm}$$

### 5.7.2 Stykování výztuže

Střídavé stykování – 2/3 prutů v průřezu je stykováno

$$\text{přesahem} \Rightarrow 66,7\% \Rightarrow \alpha_6 = \left(\frac{66,7}{25}\right)^{0,5} = 1,6; \alpha_6 \leq 1,5$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} = \max\{293; 300; 200\} = 300 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 650 \geq l_{0,min}$$

$$l_0 \geq l_{0,min} \Rightarrow 975 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Střídavé stykování – 1/3 prutů v průřezu je stykováno

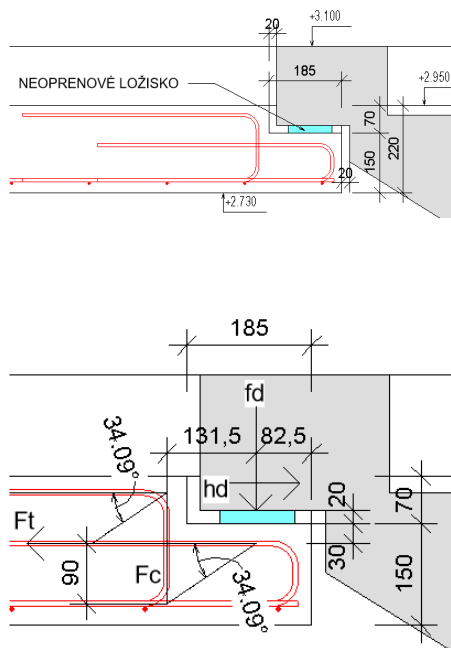
$$\text{přesahem} \Rightarrow 33,3\% \Rightarrow \alpha_6 = \left(\frac{33,3}{25}\right)^{0,5} = 1,15$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

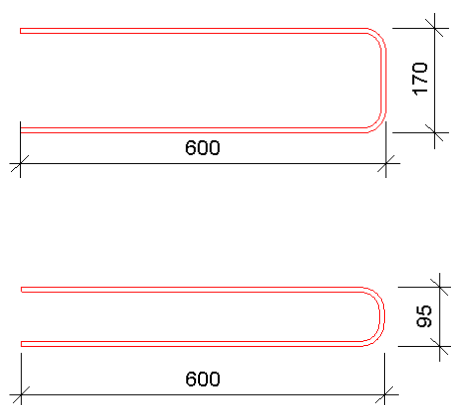
$$l_{0,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\} = \max\{224; 300; 200\} = 300 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 650 \geq l_{0,min}$$

$$l_0 \geq l_{0,min} \Rightarrow 748 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$



Obr. 60 ozub desky



Obr. 61 navržené trmínky

## 5.8 Návrh a posouzení výztuže ozubu desky

Ozub desky je zatížen od prefabrikovaného schodiště, které je uloženo na neoprenovém ložisku tl. 20 mm.

$$f_{d,schod} = 20 \text{ kN/m}$$

doporučená hodnota vodorovné síly

$$h_d = 0,2 \cdot f_{d,schod} = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ kN/m}$$

rameno vnějších sil

$$a = 82,5 + 131,5 + \left(\frac{h_d}{f_d}\right) \cdot (30 + 20) = 224 \text{ mm}$$

rameno vnitřních sil ozubu

$$z_c = 90 \text{ mm}$$

sklon tlačené diagonály

$$\theta = 34,09^\circ$$

síla v tlačené diagonále

$$F_c = \frac{f_d}{\sin \theta} = \frac{20}{\sin 34,09} = 35,68 \text{ kN/m}$$

síla v táhle

$$F_t = \frac{f_d \cdot (a + z_c)}{z_c} + h_d = \frac{20 \cdot (224 + 90)}{90} + 4 = 73,78 \text{ kN/m}$$

### 5.8.1 Návrh vodorovné výztuže ozubu na 1 m

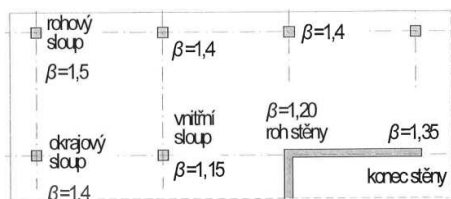
$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{73,78 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### 5.8.2 Návrh svislé výztuže na 1 m

$$A_{s,req} = \frac{F_c}{f_{yd}} = \frac{35,68 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 0,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

**navrženo Ø8 po 200mm =>  $A_{st,1} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  ✓ vyhovuje**

Navrženy dva U profily délky 600 mm > 2 · h<sub>desky</sub>



Obr. 62 doporučené hodnoty  $\beta$  [1]

Výpočet programem Schöck BOLE

verze 2.12.00

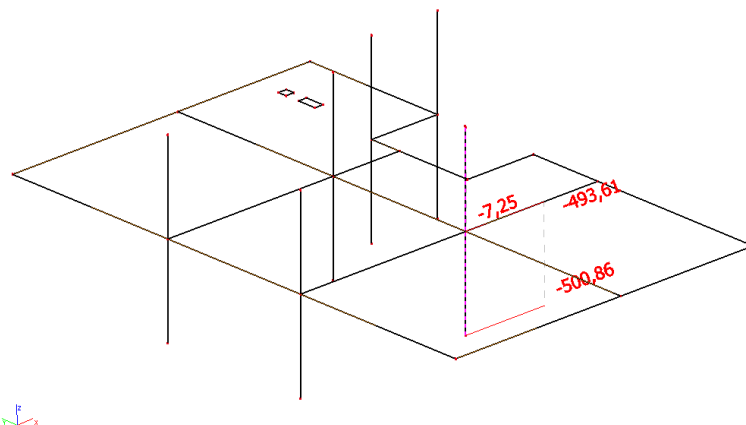


## 5.9 Návrh smykové výztuže na protlačení desky

### 5.9.1 Vnitřní sloup S1

Hodnota posouvající síly způsobující protlačení je určena jako hodnota normálové síly v hlavě sloupu.

$$N = 493,61 \text{ kN} \Rightarrow V_{Ed} = 493,61 \text{ kN}$$



Obr. 63 max. průběh normálové síly sloupu S1 od kombinace CO09

#### Účinky zatížení

Zatížení způsobující protlačení  
Podíl dynamického zatížení  
Součinitel excentricity zat. b (manuálně)

$$V_{Ed} = 494 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,dyn} = 0 \text{ kN}$$

$$\beta = 1,15$$

#### Rozměr - Vnitřní sloup Kruhový průřez

Průměr  
Tloušťka desky  
Účinná výška průřezu  
Krytí horní (spodní) výztuže

$$D = 300 \text{ mm}$$

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$d = 190 \text{ mm}$$

$$co; cu = 20; 20 \text{ mm}$$

#### Materiál

Beton

$$C25/30 (f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2)$$

Ocel

$$B500 (f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2)$$

Stupeň vyztužení

$$\rho = (\rho_x \cdot \rho_y)^{1/2} = (0,48 \cdot 0,48)^{1/2} = 0,48 \%$$

$$A_{sx} = 9,1 \text{ cm}^2/\text{m} (\sim \emptyset 10/86 \text{ mm}); A_{sy} = 9,1 \text{ cm}^2/\text{m} (\sim \emptyset 10/86 \text{ mm})$$

Výztuž musí být zakotvena za vnějším kontrolovaným obvodem "Uout"

Nad podporou je nutno umístit následující výztuž proti řetězovému zřícení:

$$V_{Ed} / 1,4 / f_{yk} = 7,1 \text{ cm}^2$$

#### Posouzení na protlačení dle EC2 + ETA

Faktor  $\kappa$

$$\kappa = \min\{1 + (200/d)^{1/2}; 2\} = 2,00$$

Vliv tloušťky desky

$$\eta = 1 + (d - 200)/1000 \{\min 1,0; \max 1,6\} = 1,00$$

Faktor  $C_{Rd,c}$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,12$$

Minimální únosnost betonu

$$v_{min} = (0,0525/\gamma_c) \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 495,0 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c} = \max\{C_{Rd,c} \cdot \kappa \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{1/3}; v_{min}\} = 549,1 \text{ kN/m}^2$$

#### Okraj sloupu $u_0$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = 0,943 \text{ m}$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c,max,u0} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4500,0 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost betonu

$$V_{Rd,c,max,u0} = v_{Rd,c,max,u0} \cdot d \cdot u_0 = 805,9 \text{ kN}$$

#### Kritický obvod $u_{crit}$

Kritická vzdálenost

$$a_{crit} = 2,0d = 380 \text{ mm}$$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_{crit} = 3,330 \text{ m}$$

Působící posouvající síla

$$V_{Ed,\beta} = \beta \cdot V_{Ed} = 568,1 \text{ kN}$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c,crit} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_{crit} = 347,4 \text{ kN}$$

Maximální únosnost

$$V_{Rd,max,crit} = V_{Rd,c,crit,(CRdc=0,12)} \cdot 1,96 = 680,9 \text{ kN}$$

$$\min\{V_{Rd,c,crit}; V_{Rd,c,max,u0}\} = 347,4 \text{ kN} \leq V_{Ed,\beta} = 568,1 \text{ kN} \leq V_{Rd,max,crit} = 680,9 \text{ kN}$$

Výztuž proti protlačení je nutná, zvoleno:

**8x Schöck BOLE O 12/180-4/A520**



### Posouzení únosnosti oceli

$$V_{Ed,\beta} = 568,1 \text{ kN} \leq V_{Rd,sy,crit} = m_c \cdot \eta_c \cdot A_{s,i} \cdot f_{yd} / \eta = 787 \text{ kN}$$

### Vnější kontrolovaný obvod $u_{out}$ (vorh $l_s + 1,5d$ )

Délka vyztužené oblasti

$$l_s = 455 \text{ mm}$$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_{out} = 5,592 \text{ m}$$

Součinitel excentricity zat. b

$$\beta_{red} = \beta = 1,15$$

Působící posouvající síla

$$V_{Ed,out} = \beta_{red} \cdot V_{Ed} = 568,1 \text{ kN}$$

Únosnost betonu

$$V_{Rd,c,out} = \max\{C_{Rd,c,out} \cdot \kappa \cdot (p \cdot f_{ck})^{1/3}, v_{min}\} = 549,1 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost betonu

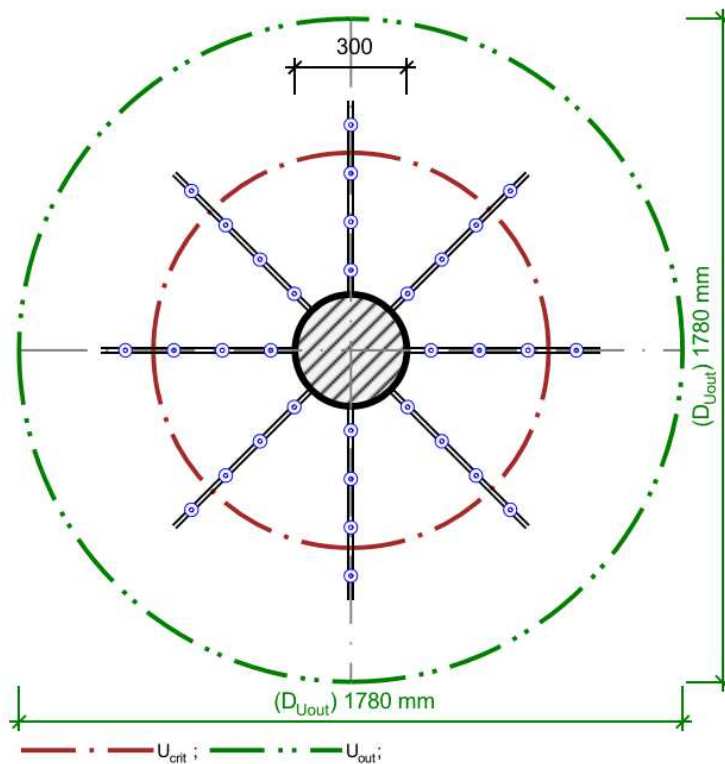
$$V_{Rd,c,out} = v_{Rd,c,out} \cdot d \cdot u_{out} = 583,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,out} = 568,1 \text{ kN} \leq V_{Rd,c,out} = 583,4 \text{ kN}$$

**Délka výztuže proti protlačení je dostatečná**

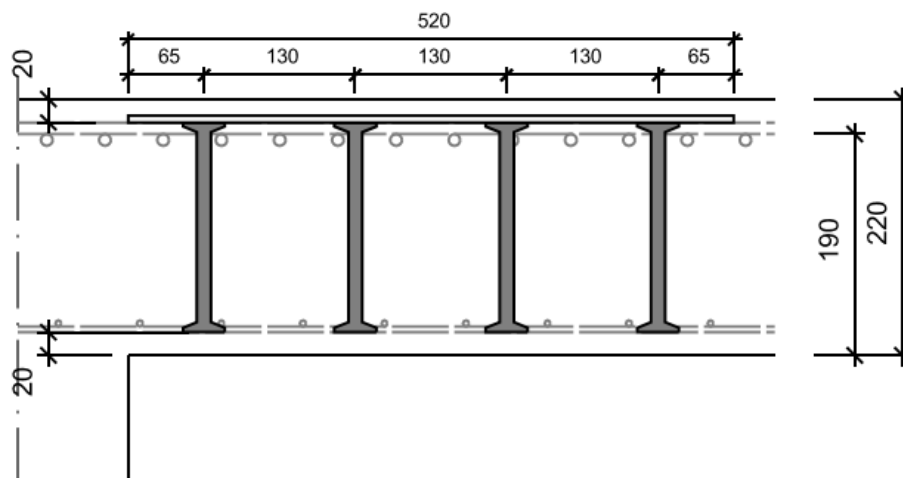
#### 5.9.1.1

#### Schéma vyztužení na protlačení – sloup S1

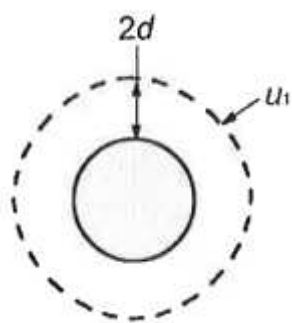


Obr. 64 schéma vyztužení S1 – půdorys

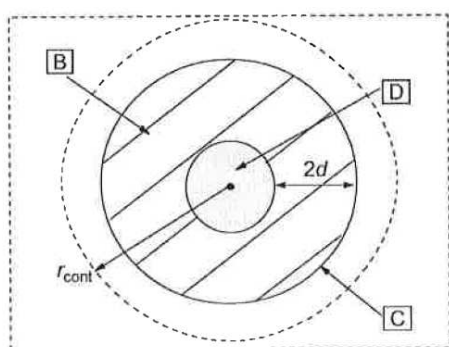
8x Schöck BOLE O 12/180-4/A520



Obr. 65 schéma vyztužení S1 – řez



Obr. 66 kontrovaný obvod [2]



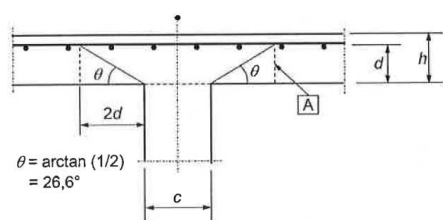
[B] – základní kontrovaná plocha  $A_{cont}$

[C] – základní kontrovaný obvod  $u_1$

[D] – zatěžovaná plocha  $A_{load}$

$r_{cont}$  poloměr dalšího kontrovaného obvodu

Obr. 67 půdorys [2]



[A] – základní kontrovaný průřez

Obr.68 řez [2]

## 5.9.2 Vnitřní sloup S1 – ruční ověření výpočtu

$V_{Ed} = 493,61 \text{ kN}$

$c = 20 \text{ mm}$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{185 + 195}{2} = 190 \text{ mm}$$

$D = 300 \text{ mm}$

Základní kontrolní obvod  $u_0$ ;  $u_1$

$$u_0 = \pi \cdot D = \pi \cdot 300 = 942,5 \text{ mm}$$

$$u_1 = \pi \cdot (D + 4 \cdot d) = \pi \cdot (300 + 4 \cdot 190) = 3330 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,15$$

Ověření smykové únosnosti na obvodu sloupu  $u_0$

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{25}{250} \right) = 0,54$$

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = 1,15 \frac{493,61 \cdot 10^{-3}}{0,9425 \cdot 0,19} = 3,17 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,67 = 4,5 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,max} \Rightarrow 3,17 \text{ MPa} < 4,5 \text{ MPa} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

Smyková únosnost v základní kontrovaném obvodu  $u_1$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{190}} = 2,03 \not\leq 2,0 \Rightarrow k = 2,0$$

$$A_{st,x} = A_{st,y} = 9,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 917 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{lx} = \frac{A_{st,x}}{b \cdot d_x} = \frac{917}{1000 \cdot 185} = 4,96 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{st,y}}{b \cdot d_y} = \frac{917}{1000 \cdot 195} = 4,70 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{4,96 \cdot 10^{-3} \cdot 4,70 \cdot 10^{-3}} = 0,0048 \leq 0,02$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} =$$

$$= \frac{0,18}{1,5} \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0048 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} = 0,549 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,495 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} > v_{min} \Rightarrow 0,549 \text{ MPa} > 0,495 \text{ MPa} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$v_{Ed,1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{493,61 \cdot 10^{-3}}{3,33 \cdot 0,19} = 0,897 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,max} > v_{Ed,1} > v_{Rd,c}$$

$$4,5 \text{ MPa} > 0,897 \text{ MPa} > 0,595 \text{ MPa} \Rightarrow \text{nutná smyková výztuž}$$

Smyková výztuž se smykovými trny

$$\text{vliv tl. desky } \eta = 1 + \frac{d-200}{1000} = 1 + \frac{190-200}{1000} = 0,99 \not\geq 1$$

$$\Rightarrow \eta = 1$$

$$A_{sw,req} = \frac{\eta \cdot \beta \cdot V_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{1 \cdot 1,15 \cdot 493,61 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 13,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

předběžně navrženo  $\phi 12 \text{ mm}$

$$\text{počet lišt } n = \frac{A_{sw,req}}{2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \right)} = \frac{13,06 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} \right)} = 5,77 \Rightarrow \text{navrženo 8 lišt}$$

požadovaný obvod

$$u_{out} = u_a = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{493,61 \cdot 10^3}{0,549 \cdot 10^6 \cdot 0,19} = 5,47 \text{ m}$$

požadovaná délka lišty

$$l_{s,req} = \frac{u_a - u_0}{2 \cdot \pi} - 1,5 \cdot d = \frac{5,47 - 0,943}{2 \cdot \pi} - 1,5 \cdot 0,19 = 0,435 \text{ m}$$

Konstrukční zásady lišty BOLE

$$S_{w,1} \leq 0,375 \cdot d = 0,375 \cdot 0,19 = 0,071 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo } S_{w,1} = 65 \text{ mm}$$

$$S_{w,2} \leq 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,19 = 0,1425 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{navrženo } S_{w,2} = 130 \text{ mm}$$

navržená délka lišty

$$l_s = 2 \cdot S_{w,1} + 3 \cdot S_{w,2} = 2 \cdot 65 + 3 \cdot 130 = 520 \text{ mm}$$

výška smykových trnů

$$h_b = h_s - 2 \cdot c = 220 - 2 \cdot 20 = 180 \text{ mm}$$

**navrženo 8x Schöck BOLE O 12/180-4/A520**

Posouzení výztuže

pevnost smykové výztuže

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d = 250 + 0,25 \cdot 190 = 297,5 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd,ef} \leq f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{S_{w2}} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha = \\ &= 0,75 \cdot 0,549 + 1,5 \cdot \frac{0,19}{0,13} \cdot \frac{8 \cdot \pi \cdot 0,012^2}{4} \cdot 297,5 \cdot \frac{1}{3,33 \cdot 0,19} \cdot \sin 90 = \\ &= 1,344 \text{ MPa} > v_{Ed,1} = 0,897 \text{ MPa} \quad \checkmark \text{ vyhovuje} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c,out} &= \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \\ &= \frac{0,18}{1,5} \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0048 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} = 0,549 \text{ MPa} \end{aligned}$$

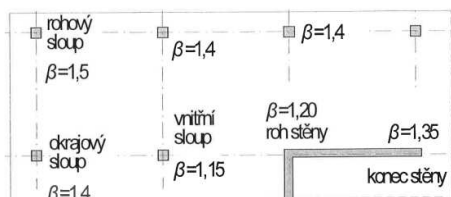
$$\begin{aligned} V_{Rd,c,out} &= v_{Rd,c,out} \cdot d \cdot u_{out} = 0,549 \cdot 10^6 \cdot 0,19 \cdot 5,47 = \\ &= 570,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Ed,out} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,15 \cdot 493,61 = 567,65 < V_{Rd,c,out}$$

$$\mathbf{567,65 \text{ kN} < 570,58 \text{ kN} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}}$$

$\Rightarrow$  ruční ověření výpočtu se shoduje s výpočtem z programu  
*Schöck BOLE verze 2.12.00*

Pro návrh smykové výztuže na protlačení desky u ostatních  
sloupů použiji program *Schöck BOLE verze 2.12.00*



Obr. 62 doporučené hodnoty  $\beta$  [1]

Výpočet programem Schöck BOLE

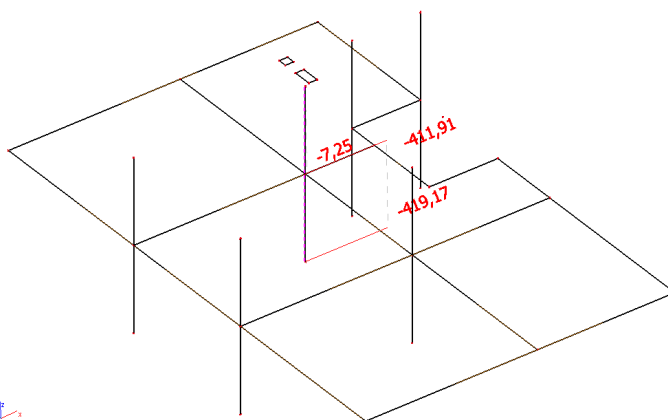
verze 2.12.00



### 5.9.3 Vnitřní sloup S2

Hodnota posouvající síly způsobující protlačení je určena jako hodnota normálové síly v hlavě sloupu.

$$N = 411,91 \text{ kN} \Rightarrow V_{Ed} = 411,91 \text{ kN}$$



Obr. 69 max. průběh normálové síly sloupu S2 od kombinace CO08

#### Účinky zatížení

Zatížení způsobující protlačení  
Podíl dynamického zatížení  
Součinitel excentricity zat. b (manuálně)

$$V_{Ed} = 412 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,dyn} = 0 \text{ kN}$$

$$\beta = 1,15$$

#### Rozměr - Vnitřní sloup Kruhový průřez

Průměr  
Tloušťka desky  
Účinná výška průřezu  
Krytí horní (spodní) výztuže

$$D = 300 \text{ mm}$$

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$d = 190 \text{ mm}$$

$$co; cu = 20; 20 \text{ mm}$$

#### Materiál

Beton  
Ocel  
Stupeň vyztužení  
 $A_{sx} = 9,1 \text{ cm}^2/\text{m}$  ( $\sim \emptyset 10/86 \text{ mm}$ );  $A_{sy} = 9,1 \text{ cm}^2/\text{m}$  ( $\sim \emptyset 10/86 \text{ mm}$ )

$$C25/30 (f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2)$$

$$B500 (f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2)$$

$$\rho = (\rho_x \cdot \rho_y)^{1/2} = (0,48 \cdot 0,48)^{1/2} = 0,48 \%$$

Výztuž musí být zakotvena za vnějším kontrolovaným obvodem "Uout"

Nad podporou je nutno umístit následující výztuž proti řetězovému zřícení:

$$V_{Ed} / 1,4 / f_{yk} = 5,9 \text{ cm}^2$$

#### Posouzení na protlačení dle EC2 + ETA

Faktor  $\kappa$   
Vliv tloušťky desky  
Faktor  $C_{Rd,c}$   
Minimální únosnost betonu  
Únosnost betonu

$$\kappa = \min\{1 + (200/d)^{1/2}; 2\} = 2,00$$

$$\eta = 1 + (d - 200)/1000 \{\min 1,0; \max 1,6\} = 1,00$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,12$$

$$v_{min} = (0,0525 / \gamma_c) \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 495,0 \text{ kN/m}^2$$

$$v_{Rd,c} = \max\{C_{Rd,c} \cdot \kappa \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{1/3}; v_{min}\} = 549,1 \text{ kN/m}^2$$

#### Okraj sloupu $u_0$

Délka kontrolovaného obvodu  
Únosnost betonu  
Únosnost betonu

$$u_0 = 0,943 \text{ m}$$

$$v_{Rd,c,max,u0} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4500,0 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Rd,c,max,u0} = v_{Rd,c,max,u0} \cdot d \cdot u_0 = 805,9 \text{ kN}$$

#### Kritický obvod $u_{crit}$

Kritická vzdálenost  
Délka kontrolovaného obvodu  
Působící posouvající síla  
Únosnost betonu  
Maximální únosnost

$$a_{crit} = 2,0d = 380 \text{ mm}$$

$$u_{crit} = 3,330 \text{ m}$$

$$V_{Ed,\beta} = \beta \cdot V_{Ed} = 473,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,crit} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_{crit} = 347,4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max,crit} = V_{Rd,c,crit} \cdot (CRdc = 0,12) \cdot 1,96 = 680,9 \text{ kN}$$

$$\min\{V_{Rd,c,crit}; V_{Rd,c,max,u0}\} = 347,4 \text{ kN} \leq V_{Ed,\beta} = 473,8 \text{ kN} \leq V_{Rd,max,crit} = 680,9 \text{ kN}$$

Výztuž proti protlačení je nutná, zvoleno:

**8x Schöck BOLE O 12/180-3/A390**

### Posouzení únosnosti oceli

$$V_{Ed,ls} = 473,8 \text{ kN} \leq V_{Rd,ls,crit} = m_c \cdot n_c \cdot A_{s,i} \cdot f_{yd} / \eta = 787 \text{ kN}$$

### Vnější kontrolovaný obvod $u_{out}$ (vorh $ls + 1,5d$ )

Délka vyztužené oblasti

Délka kontrolovaného obvodu

Součinitel excentricity zat. b

Působící posouvající síla

Únosnost betonu

Únosnost betonu

$$V_{Ed,out} = 473,8 \text{ kN} \leq V_{Rd,c,out} = 498,2 \text{ kN}$$

**Délka výztuže proti protlačení je dostatečná**

$$ls = 325 \text{ mm}$$

$$u_{out} = 4,775 \text{ m}$$

$$\beta_{red} = \beta = 1,15$$

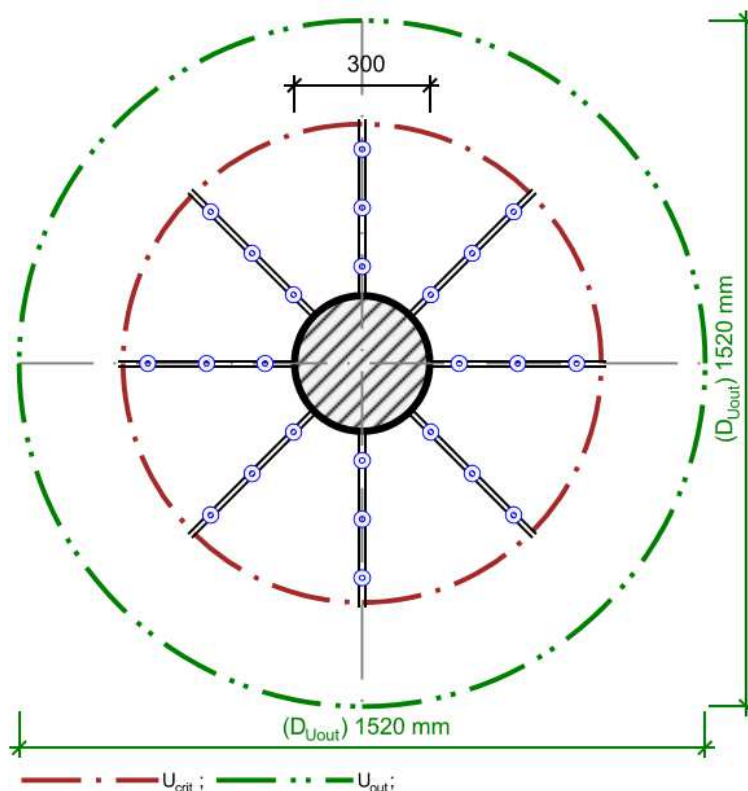
$$V_{Ed,out} = \beta_{red} \cdot V_{Ed} = 473,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,out} = \max\{C_{Rd,c,out} \cdot \kappa \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{1/3}; v_{min}\} = 549,1 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Rd,c,out} = v_{Rd,c,out} \cdot d \cdot u_{out} = 498,2 \text{ kN}$$

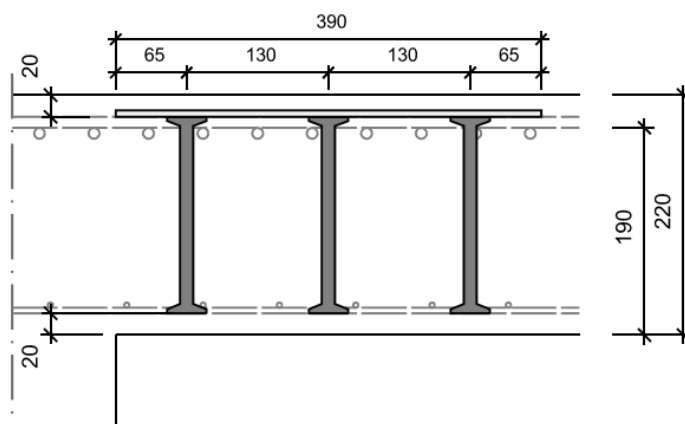
#### 5.9.3.1

#### Schéma vyztužení na protlačení – sloup S1

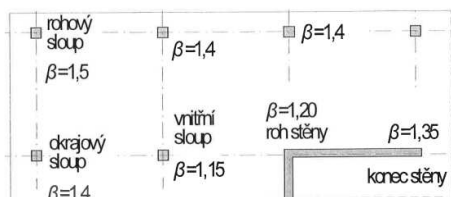


Obr. 70 schéma vyztužení S2 – půdorys

8x Schöck BOLE O 12/180-3/A390



Obr. 71 schéma vyztužení S2 – řez



Obr. 62 doporučené hodnoty  $\beta$  [1]

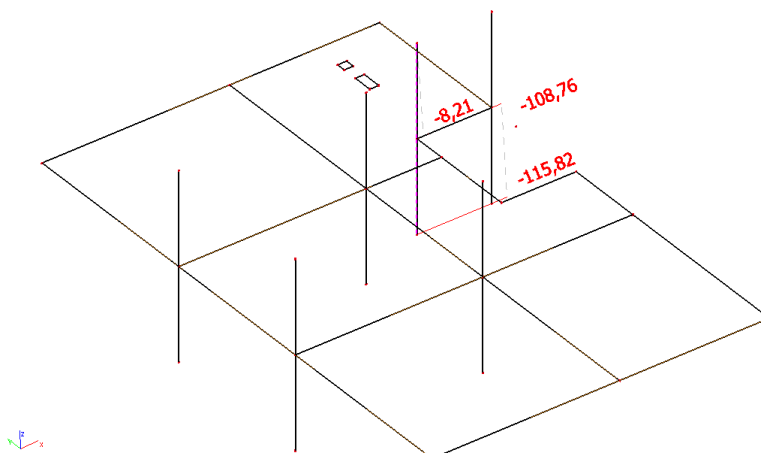
Výpočet programem Schöck BOLE  
verze 2.12.00



### 5.9.4 Okrajový sloup S3

Hodnota posouvající síly způsobující protlačení je určena jako hodnota normálové síly v hlavě sloupu.

$$N = 108,76 \text{ kN} \Rightarrow V_{Ed} = 108,76 \text{ kN}$$



Obr. 72 max. průběh normálové síly sloupu S3 od kombinace CO04

#### Účinky zatížení

Zatížení způsobující protlačení

Podíl dynamického zatížení

Součinitel excentricity zat. b

$$V_{Ed} = 109 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,dyn} = 0 \text{ kN}$$

$$\beta = 1,40$$

#### Rozměr - Okrajový sloup Obdélníkový průřez

Šířka sloupu

Tloušťka sloupu

Tloušťka desky

Účinná výška průřezu

Krytí horní (spodní) výztuže

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

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

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$d = 190 \text{ mm}$$

$$co; cu = 20; 20 \text{ mm}$$

#### Otvory

Nr	X	Y	I1	I2
1	540	2975	300	650

#### Materiál

Beton

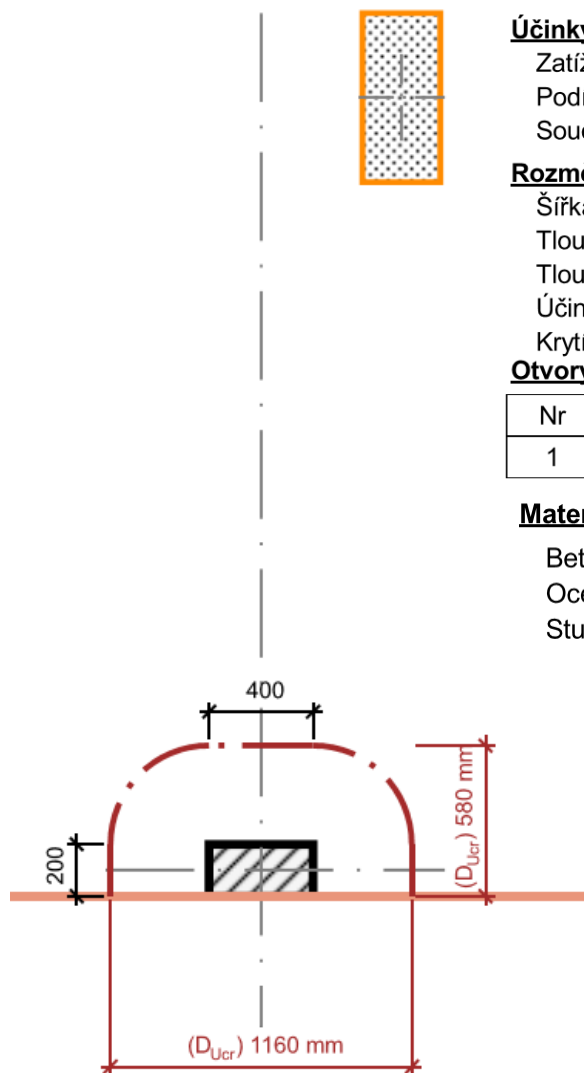
Ocel

Stupeň vyztužení

$$C25/30 (f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2)$$

$$B500 (f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2)$$

$$\rho = (\rho_x \cdot \rho_y)^{1/2} = (0,48 \cdot 0,48)^{1/2} = 0,48 \%$$



Obr. 73 půdorys sloupu S3

### **Posouzení na protlačení dle EC2 + ETA**

Faktor  $\kappa$

$$\kappa = \min\{1 + (200/d)^{1/2}; 2\} = 2,00$$

Vliv tloušťky desky

$$\eta = 1 + (d - 200)/1000 \{\min 1,0; \max 1,6\} = 1,00$$

Faktor  $C_{Rd,c}$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,12$$

Minimální únosnost betonu

$$v_{\min} = (0,0525/\gamma_c) \cdot \kappa^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 495,0 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c} = \max\{C_{Rd,c} \cdot \kappa \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{1/3}; v_{\min}\} = 549,1 \text{ kN/m}^2$$

### **Okraj sloupu $u_0$**

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = 0,800 \text{ m}$$

Únosnost betonu

$$v_{Rd,c,max,u0} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 4500,0 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost betonu

$$V_{Rd,c,max,u0} = v_{Rd,c,max,u0} \cdot d \cdot u_0 = 684,0 \text{ kN}$$

### **Kritický obvod $u_{crit}$**

Kritická vzdálenost

$$a_{crit} = 2,0d = 380 \text{ mm}$$

Délka kontrolovaného obvodu

$$u_{crit} = 1,994 \text{ m}$$

Zkrácení kontrolovaného obvodu vlivem otvorů

$$\Delta u_{crit,offn} = 0,000 \text{ m}$$

Působící posouvající síla

$$V_{Ed,\beta} = \beta \cdot V_{Ed} = 152,6 \text{ kN}$$

Únosnost betonu

$$V_{Rd,c,crit} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_{crit} = 208,0 \text{ kN}$$

Maximální únosnost

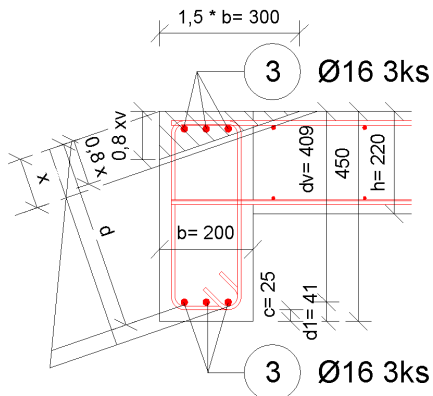
$$V_{Rd,max,crit} = V_{Rd,c,crit,(CRdc=0,12)} \cdot 1,96 = 407,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\beta} = 152,6 \text{ kN} \leq V_{Rd,c,crit} = 208,0 \text{ kN}$$

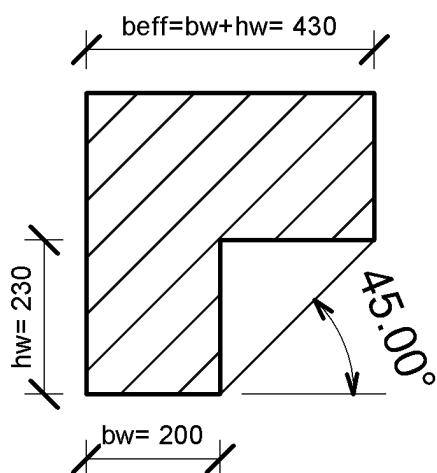
**Výztuž proti protlačení není nutná!**

Jméno	Vnitřní síly na prutu
Výběr	Aktuální
Typ zatížení	Kombinace
Kombinace	CO6 - ZS1+ZS2+ZS7
Filtr	Ne
Žebro / integrační pás	<input checked="" type="checkbox"/>
Prefabrikovaný desk...	<input type="checkbox"/>
Hodnoty	My
Systém	LSS
Extrém	Prvek
Nastavení kreslení 1D	...
Řez	Vše

Obr. 74 zaškrtnutá funkce spolupůsobícího žebra s efektivní šířkou  
 $b_{eff} = b_w + h_w$   
 $b_{eff} = 0,2 + 0,23 = 0,43 \text{ m}$



Obr. 76 schéma dolní výztuže trámu

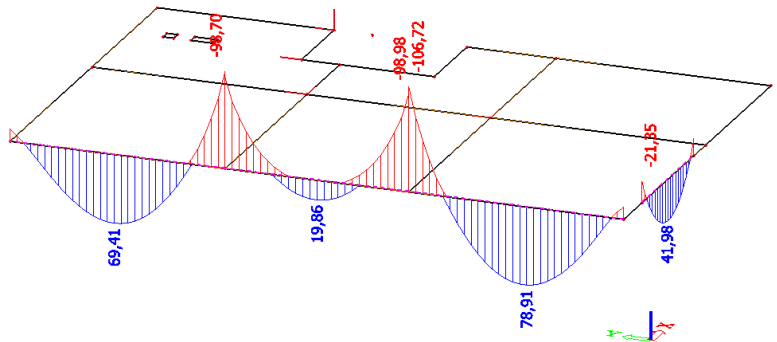


Obr. 77 určení účinného průřezu ztužujícího trámu

## 6 Dimenzování výztuže – ztužující trám

Výztuž bude navržena na nejnepříznivější účinky od zatížení a bude ve všech trámech stejná.

Maximální moment v poli  $M_y = 78,91 \text{ kNm}$



Obr. 75 průběh ohybových momentů  $M_y$  od kombinace CO06

### Krytí:

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

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max \{12; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm} \Rightarrow c = 25 \text{ mm}$$

### Účinná výška průřezu

předpoklad:  $\phi_{tr} 8 \text{ mm}$ ;  $\phi_s = 16 \text{ mm}$

$$d_{1v} = h - d_v = 450 - 411 = 39 \text{ mm}$$

$$d_v = h - \left(c + \phi_{tr} + \frac{\phi_s}{2}\right) = 450 - \left(25 + 8 + \frac{16}{2}\right) = 409 \text{ mm}$$

### 6.1 Návrh dolní výztuže trámu

$$A_{s,req} = \frac{M_y}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{78,91}{0,9 \cdot 0,409 \cdot 434,78 \cdot 10^3} = 4,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{navrženo } 3\phi 16 \Rightarrow A_s = 6,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Únosnost nesouměrného průřezu

$$\lambda \cdot x_v = \frac{4}{3} \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,2 \cdot 16,67} = 0,105 \text{ m}$$

$$z_v = d_v - \frac{\lambda x_v}{3} = 0,409 - \frac{0,105}{3} = 0,374 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_v = 6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,374 = 98,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_y$$

$$98,07 \text{ kNm} > 78,91 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

[6] Zjednodušeně lze u krajních trámů běžně zatížených stropních konstrukcí uvažovat při určení momentu únosnosti vodorovnou polohu neutrální osy.

Při stanovení výšky tlacené oblasti  $x$ , musíme počítat se spolupůsobící šířkou:

$$b_{eff} = b_w + h_w = 0,2 + 0,23 = 0,43 \text{ m}$$



### Určení momentu únosnosti s vodorovnou polohu neutrální osy

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,8 \cdot 0,43 \cdot 16,67} = 0,030 \text{ m}$$

$$z = d_v - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,409 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,030 = 0,397 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z =$$

$$= 6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,397 = 104,06 \text{ kNm}$$

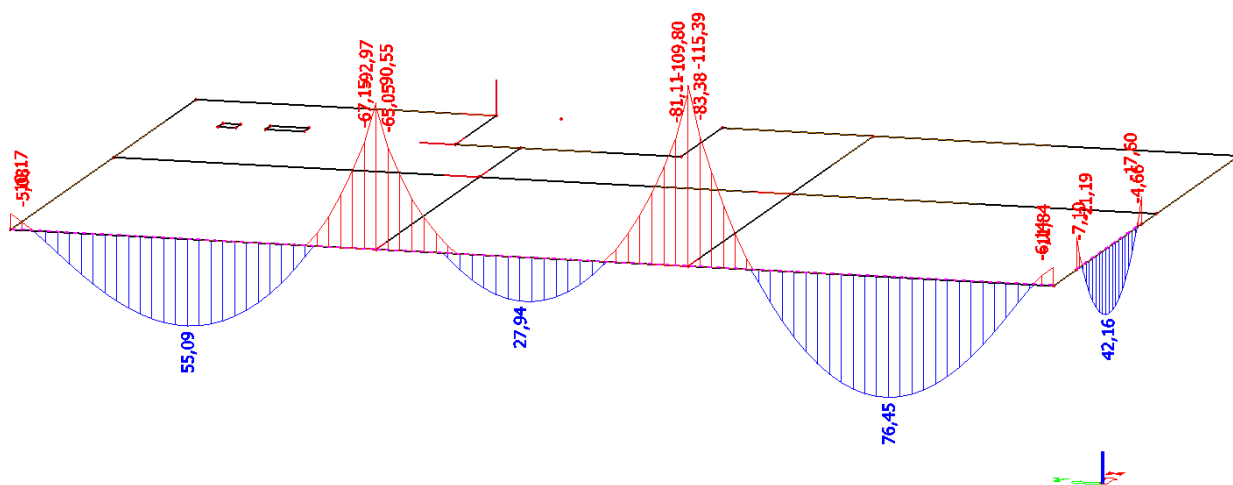
$$M_{Rd} > M_y$$

$$104,06 \text{ kNm} > 78,91 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

## 6.2 Návrh horní výztuže trámu

Maximální redukovaný moment nad podporou

$$M_y = 83,38 \text{ kNm}$$



Obr. 78 průběh ohybových momentů  $M_y$  od kombinace CO09

$$A_{s,req} = \frac{M_y}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = 83,38 = 5,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{navrženo } 3\emptyset 16 \Rightarrow A_s = 6,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

### Účinná výška průřezu

předpoklad:  $\phi_{tř} 8 \text{ mm}$ ;  $\phi_s = 16 \text{ mm}$

$$d_{1v} = h - d_v = 450 - 411 = 39 \text{ mm}$$

$$d_v = h - \left( c + \phi_{tř} + \frac{\phi_s}{2} \right) = 450 - \left( 25 + 8 + \frac{16}{2} \right) = 409 \text{ mm}$$

### Určení momentu únosnosti s vodorovnou polohu neutrální osy

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,8 \cdot 0,65 \cdot 16,67} = 0,030 \text{ m}$$

$$z = d_v - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,409 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,030 = 0,397 \text{ m}$$

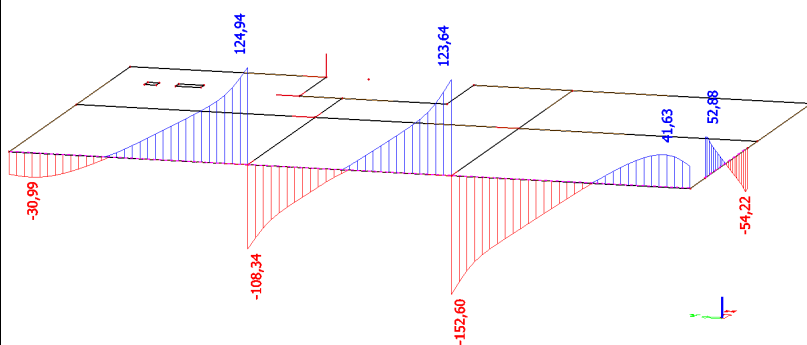
$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z =$$

$$= 6,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,397 = 104,06 \text{ kNm}$$

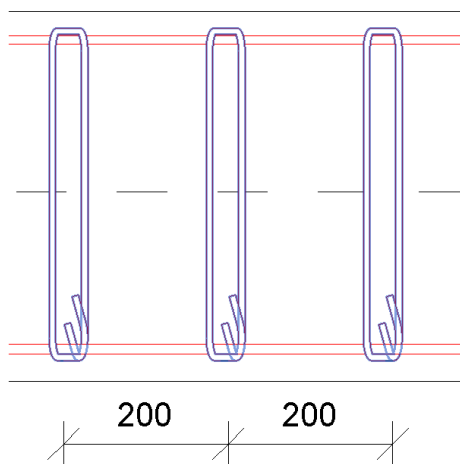
$$M_{Rd} > M_y$$

$$104,06 \text{ kNm} > 83,38 \text{ kNm} \quad \checkmark \text{ vyhovuje}$$

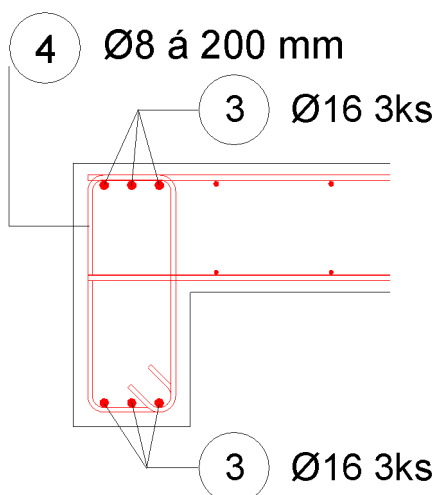
### 6.3 Návrh a posouzení smykové výztuže



Obr. 79 průběh posouvajících sil Vz od kombinace CO09



Obr. 80 průběh posouvajících sil v trámu



Obr. 81 schéma vyztužení trámu

$$V_{Ed} = 152,60 \text{ kN}$$

Dle změny Z3 pro ohýbané prvky bez působení významné normálové síly je doporučená hodnota intervalu

$$1 \leq \cotg \theta \leq 1,75 \Rightarrow (30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ)$$

pro zvolenou hodnotu  $\cotg \theta = 1,75$

únosnost tlakové diagonály

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cotg \theta}{1 + \cotg^2 \theta}$$

$v \dots$  je součinitel zmenšující návrhovou hodnotu betonu v tlaku

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,409 = 0,368$$

$$V_{Rd,max} = 0,54 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,368 \cdot \frac{1,75}{1 + 1,75^2} =$$

$$285,40 \text{ kN}$$

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

**152,60 kNm ≤ 285,40 kNm => lze navrhnout smykovou výztuž za předpokladu  $\cotg \theta = 1,75$**

**navržený dvoustřížný třmínek Ø8 mm po 200 mm**

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot 0,004^2 = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S = 200 \text{ mm} < S_{max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 409 = 306,75 \text{ mm}$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b \cdot S} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,2} = 0,0025$$

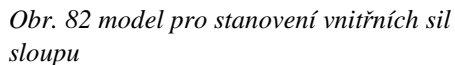
$$\rho_{min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{25}}{500} = 0,0008 < \rho_w = 0,0025$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_s}{S} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot \cotg \theta =$$

$$= \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,2} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,401 \cdot 1,75 = 154,09 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} > V_{z,max}$$

**154,09 kNm > 152,60 kNm ✓ vyhovuje**



Výztuž bude dimenzována na největší normálovou sílu vnitřního sloupu v nejnižším podlaží.

## 7.1 Zatěžovací stavy sloupu

Je generována programem, objemová tíha betonu  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

## Typické podlaží

$$g_{k, \text{podlaží}} = 7,70 \text{ kN/m}^2$$

vlastní tíha ŽB stropu = 5,50 kN/m<sup>2</sup>

$$\Rightarrow 7,7 - 5,50 = \underline{\underline{2,2 \text{ kN/m}^2}}$$

Obvodová stěna s otvory – osy 1, D

$$g_{k, \text{ stěna}} = 4,53 \text{ kN/m}$$

vlastní tíha stěny = 2,25 kN/m

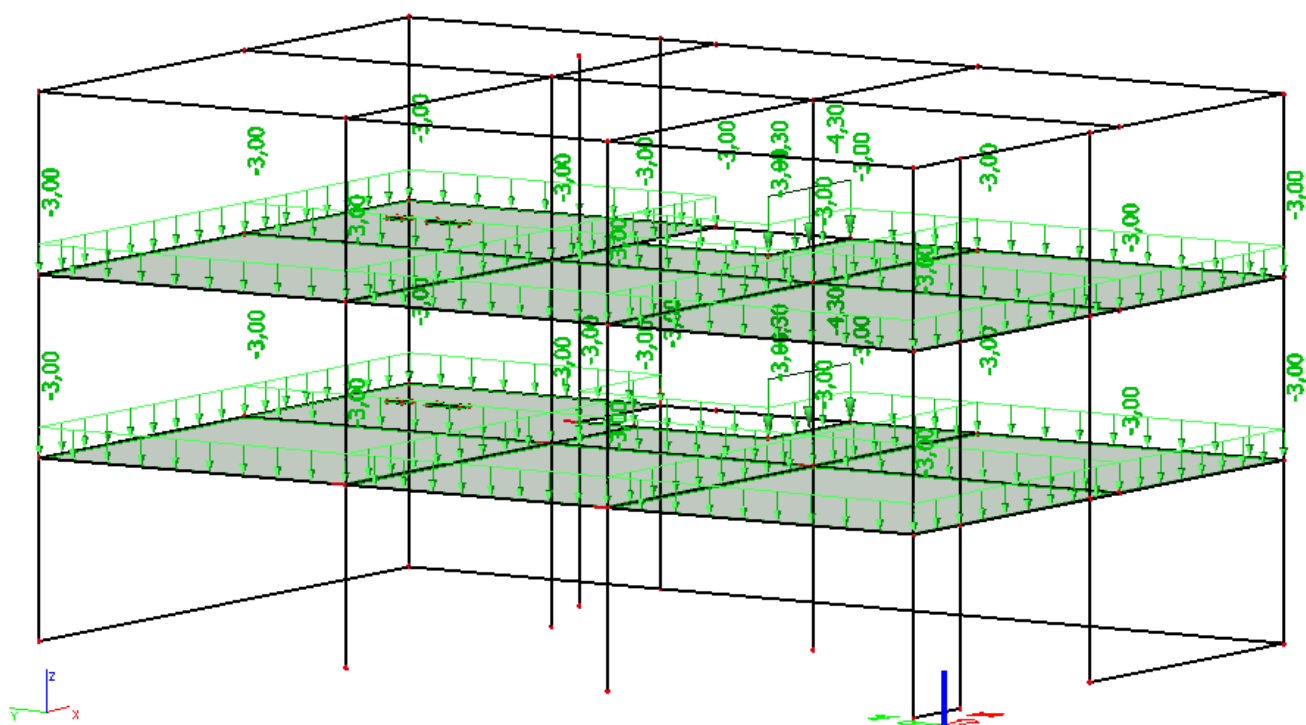
$$\Rightarrow 4,53 - 2,25 = \underline{\underline{2,28 \text{ kN/m}}}$$

Schodiště

$$g_{k,\text{schodiště}} = \underline{\underline{10 \text{ kN/m}}}$$

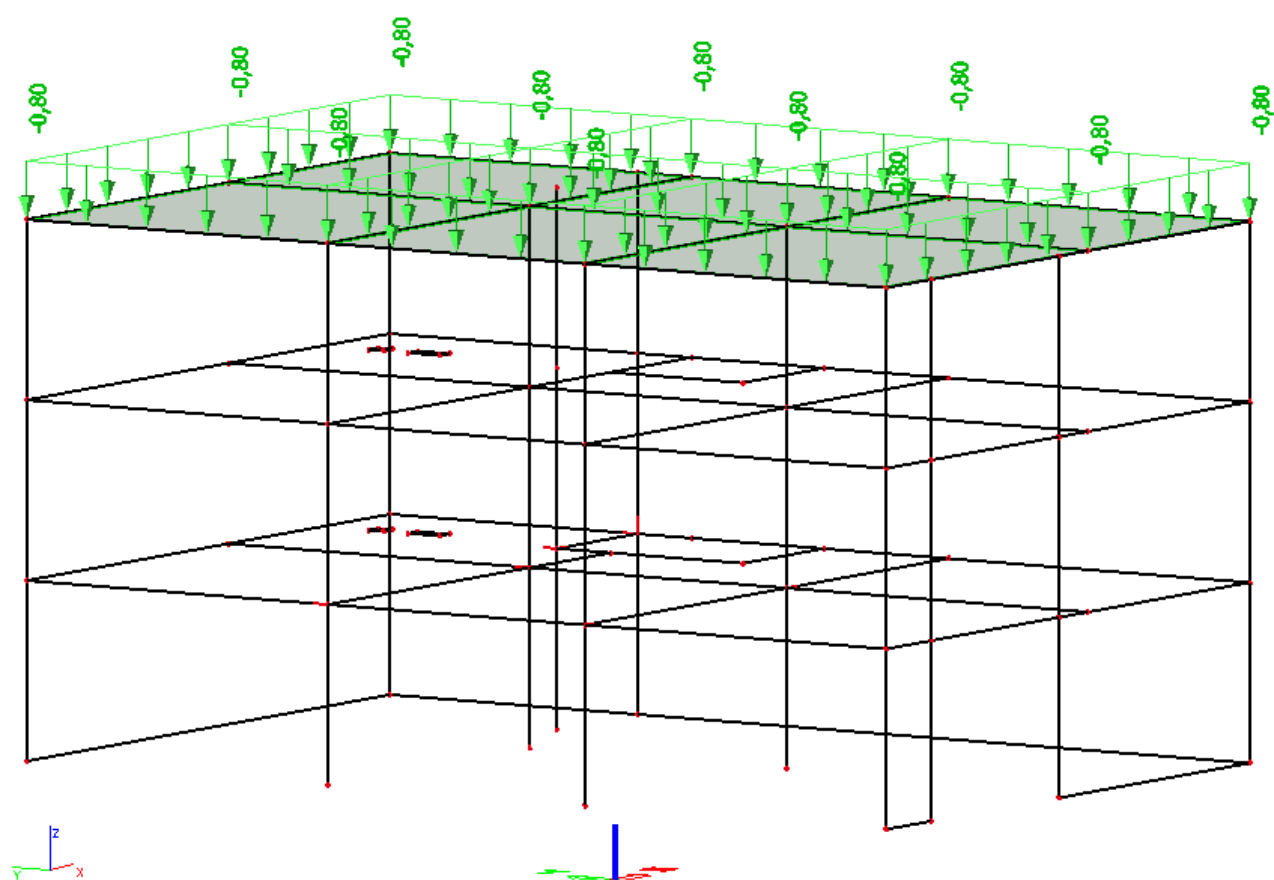


### ZS3 užité, plné



Obr. 84 ZS3

### ZS4 sníh



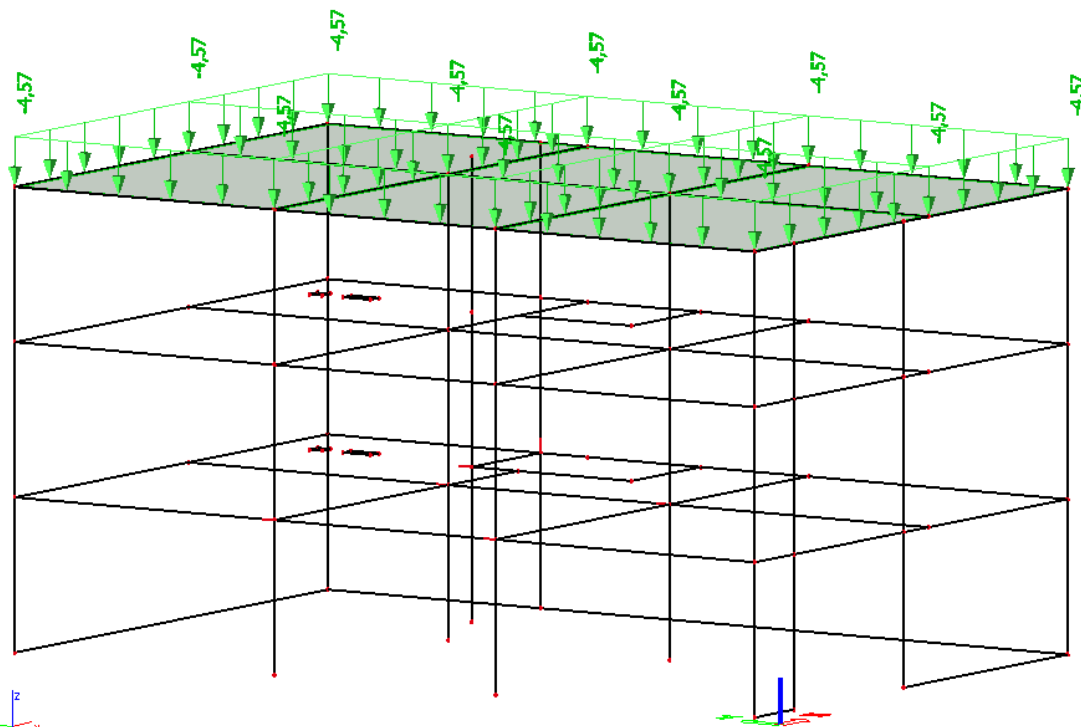
Obr. 85 ZS4

### ZS5 střešní plášť

$$g_{\text{střecha}} = 10,07 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{vlastní tíha ŽB stropu} = 5,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow 10,07 - 5,50 = \underline{\underline{4,57 \text{ kN/m}^2}}$$



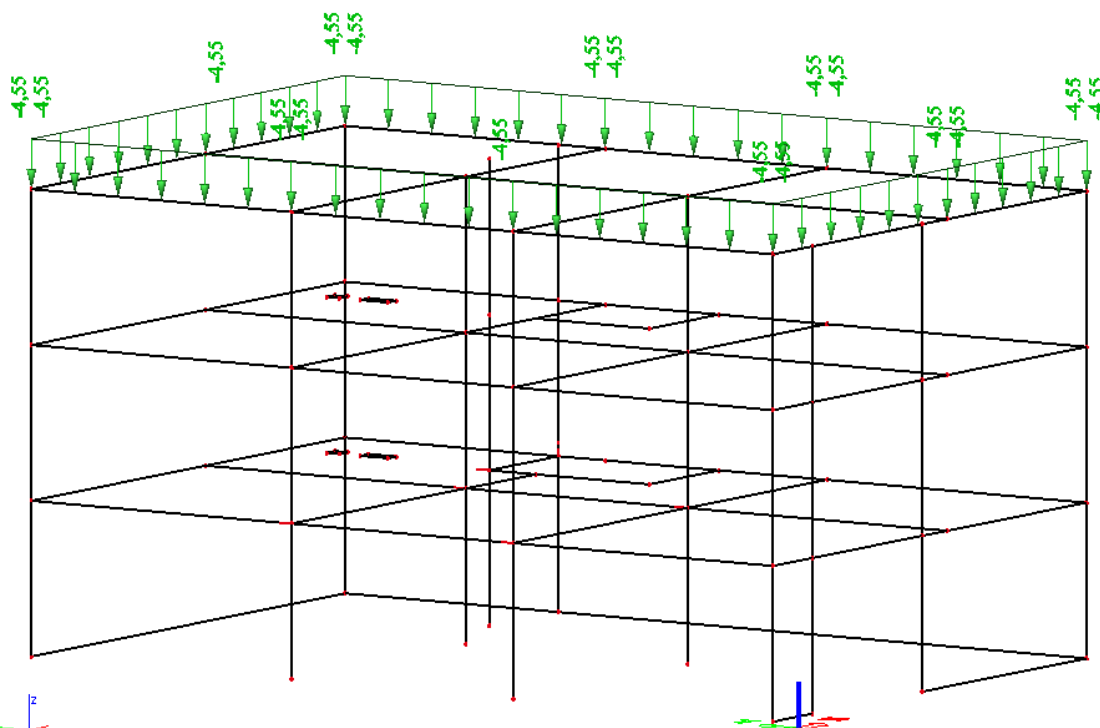
Obr. 86 ZS5

### ZS6 atika

$$g_{\text{atika}} = 6,80 \text{ kN/m}^2$$

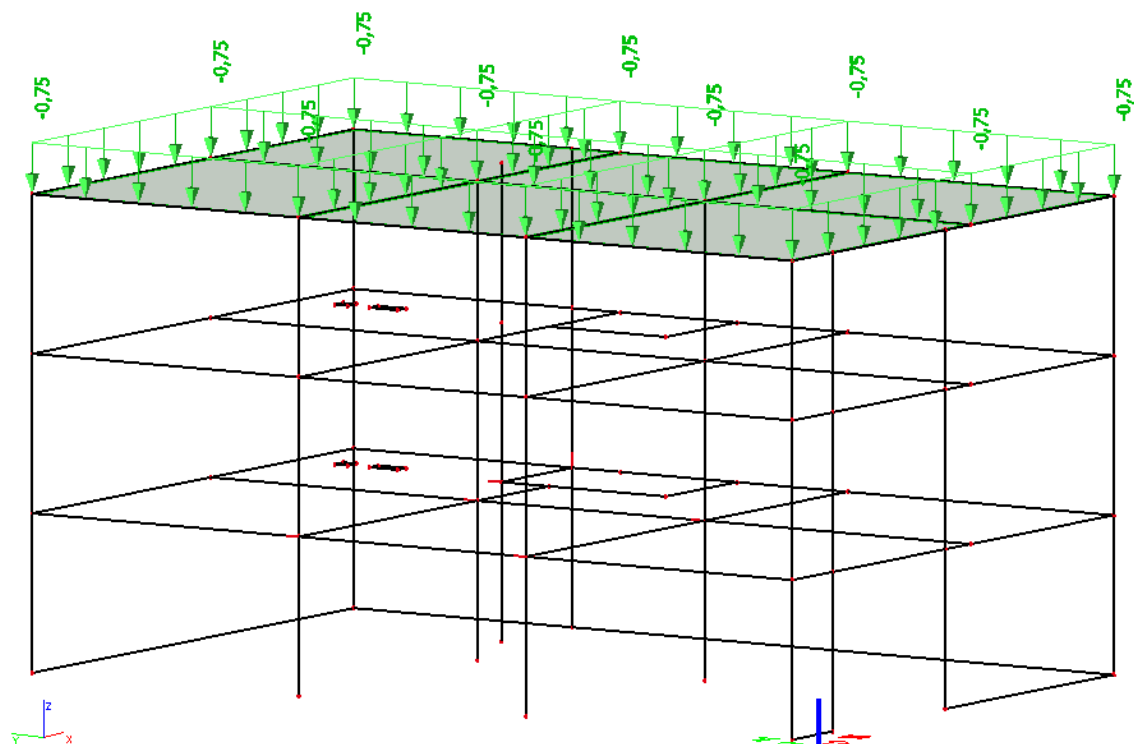
$$\text{vlastní tíha ŽB trámy} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\Rightarrow 6,80 - 2,25 = \underline{\underline{4,55 \text{ kN/m}^2}}$$



Obr. 87 ZS6

## ZS7 užité, střecha



Obr. 88 ZS7

## 7.2 Kombinace

<b>Jméno</b>	CO01
Popis	ZS1+ZS2+ZS3+ZS4+ZS5+ZS6+ZS7
Typ	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
Konstrukce	Budova
Aktivní součinitele	<input type="checkbox"/>
<b>Jméno</b>	CO02
Popis	ZS1+ZS2+ZS3+ZS4+ZS5+ZS6+ZS7
Typ	EN-MSP kvazistálá
Konstrukce	Budova
Aktivní součinitele	<input type="checkbox"/>

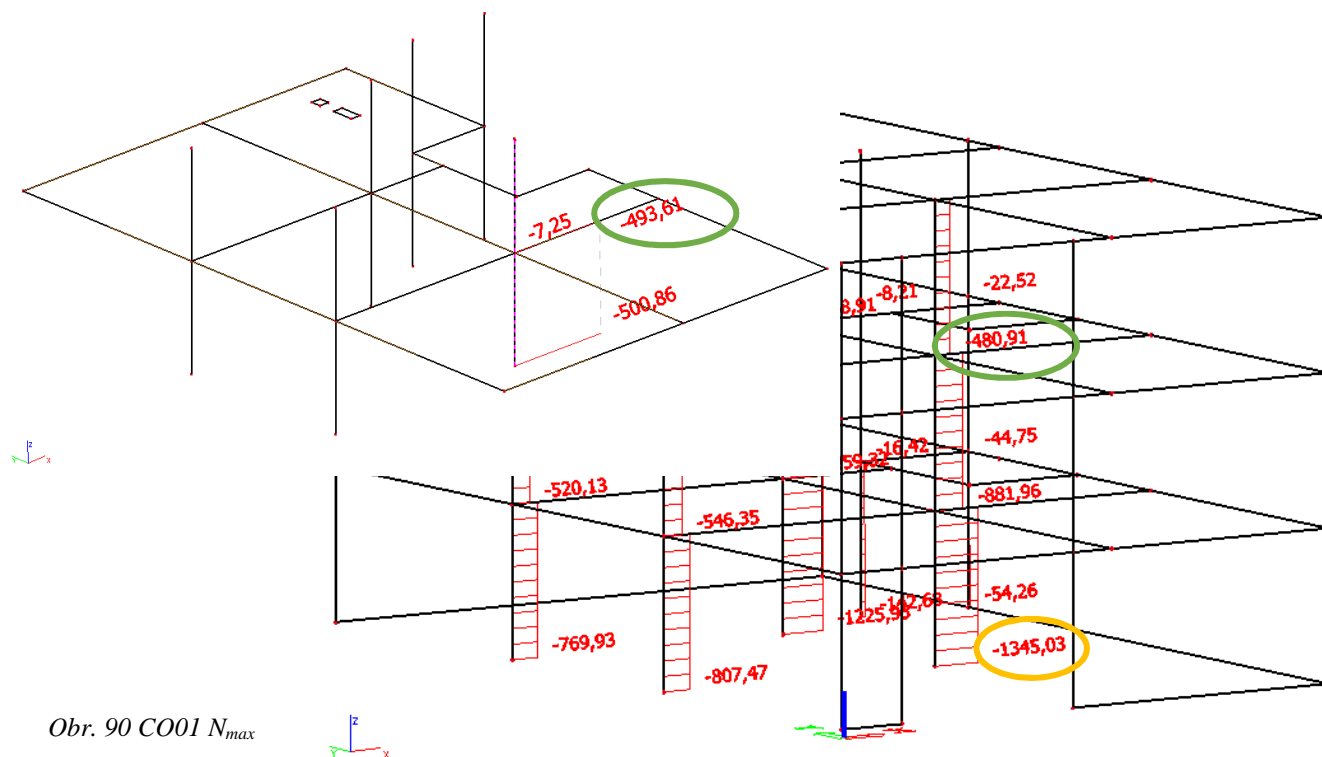
Obr. 89 nastavení kombinací

## 7.3 Vnitřní síly sloupů

### 7.3.1 Kombinace C001: EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B

Maximální normálová síla v patě sloupu  $N_{Ed} = 1345,03 \text{ kN}$

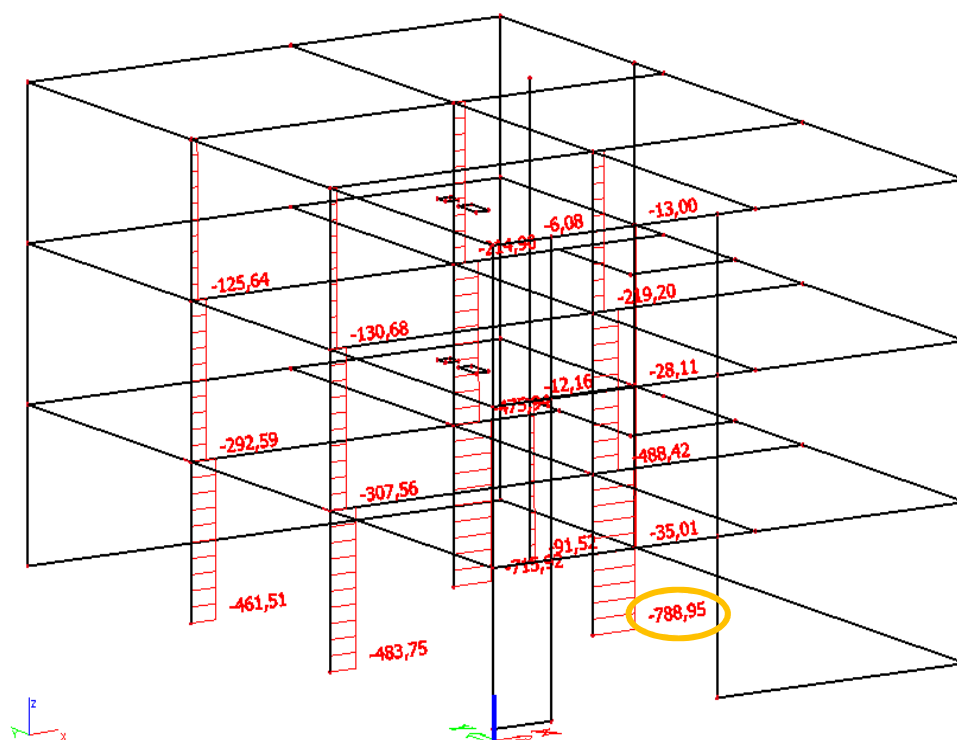
Porovnání správnosti výpočtu obou modelů



Obr. 90 C001  $N_{max}$

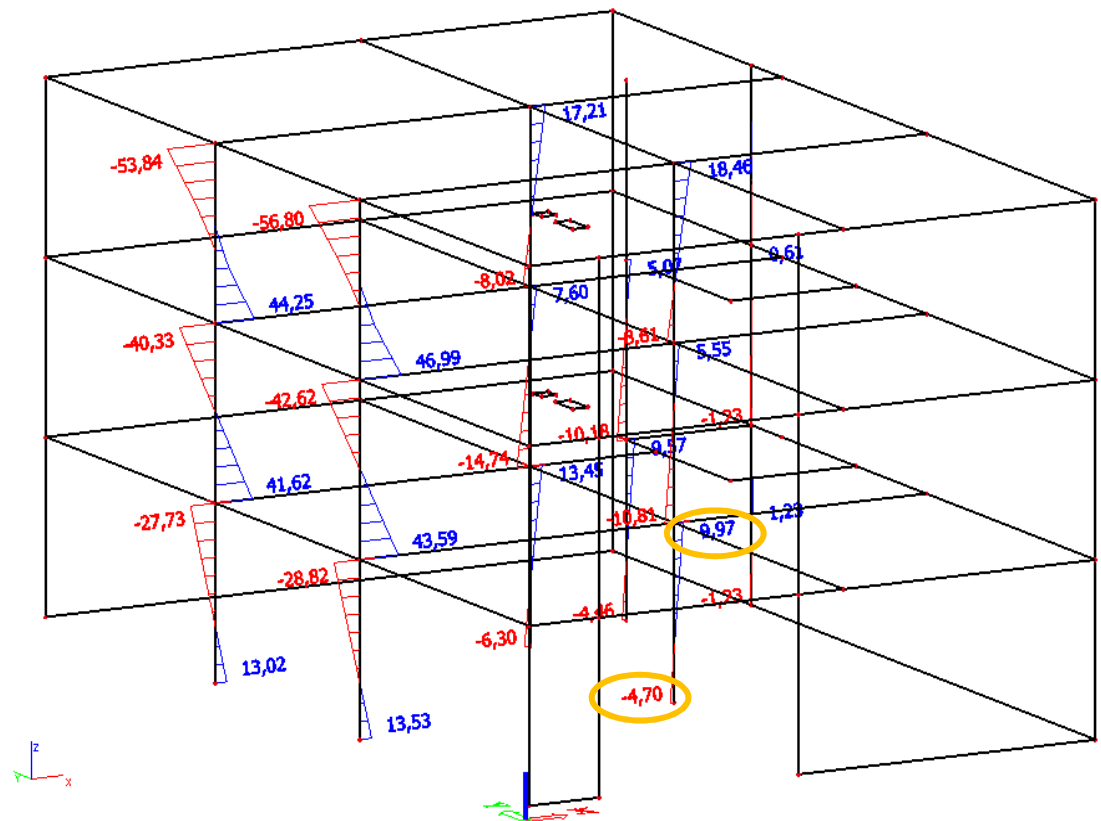
### 7.3.2 Kombinace C002: EN-MSP – kvazistálá

Maximální normálová síla v patě sloupu  $N_{0Eqp} = 788,95 \text{ kN}$



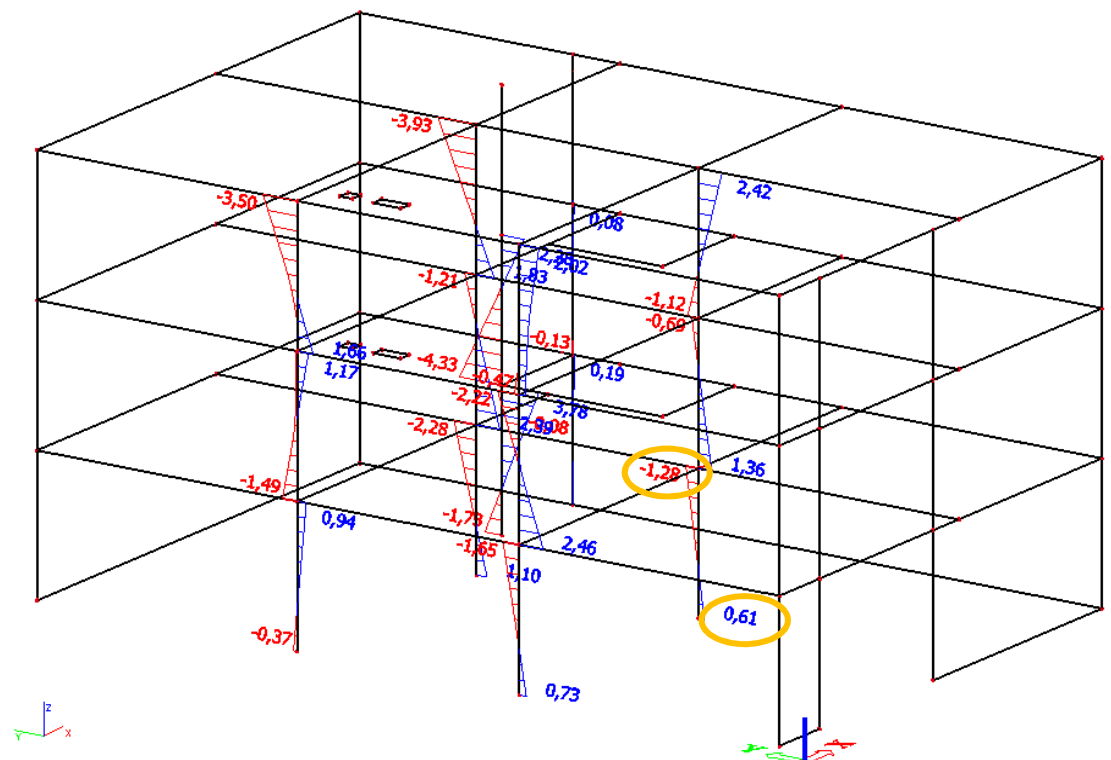
Obr. 91 C002  $N_{max}$

### 7.3.3 C001: My



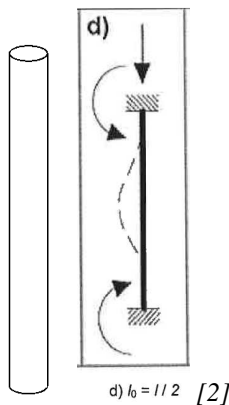
Obr. 92 C001 My

### 7.3.4 C001: Mz

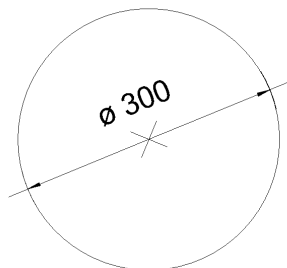


Obr. 93 C001 Mz





Obr. 94 vnitřní sloup  $l=3,4\text{ m}$



Obr. 95 řez sloupem

## 7.4 Vliv geometrických imperfekcí a účinky 2. řádu

Ve výpočtu tento vliv zohledním zvýšenou výstředností  $e_i$ , která je závislá na výšce sloupu  $l_0 = 0,5 \cdot l = 0,5 \cdot 3,4 = 1,7\text{ m}$

$$e_i = \frac{l_0}{400} = \frac{1,7}{400} = 4,25 \cdot 10^{-3}\text{ m} = 4,25\text{ mm}$$

výstřednost normálové síly

$$e_f = \frac{M}{N} = \frac{9,97}{1345,03} = 7,41 \cdot 10^{-3}\text{ m} = 7,41\text{ mm}$$

$$e_0 = e_i + e_f = 4,25 + 7,41 = 11,66\text{ mm}$$

### 7.4.1 Štíhlostní kritérium

Pokud bude splněna podmínka  $\lambda < \lambda_{lim}$ , vliv 2. řádu není třeba uvažovat.

#### Stanovení součinitele dotvarování

dle normogramu [2] předpokládám relativní vlhkost vnitřního prostředí  $RH = 50\%$  a použití cementu typu R.

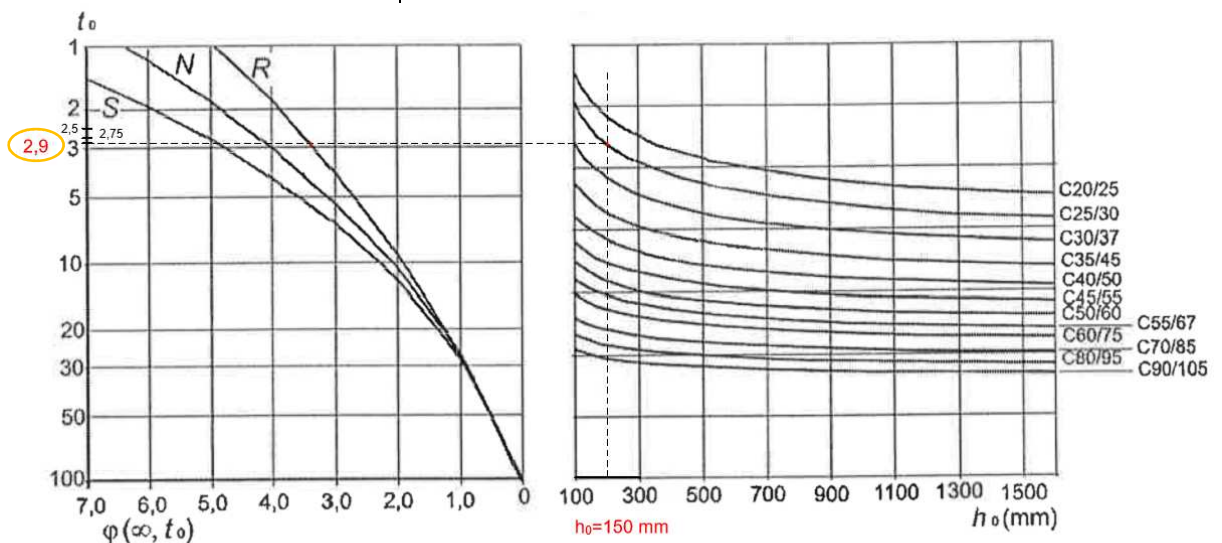
Sloup bude zatížen 28 dní po betonáži.

#### Náhradní rozměr průřezu

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,0707}{0,9425} = 0,15\text{ m}$$

$A_c$  ... plocha průřezu  $\Rightarrow A_c = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,15^2 = 0,0707\text{ m}^2$

$u$  ... obvod průřezu  $\Rightarrow u = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 0,15 = 0,9425\text{ m}$



a) vnitřní prostředí – RH 50 %

Obr. 96 normogram[2]

$\varphi_{(\infty, t_0)} = \varphi_{(\infty, 28)} = 2,9$ , kde  $t_0 = 28$  dní

Vliv dlouhodobého účinku zatížení na dotvarování

zohledňujeme pomocí účinného součinitele  $\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$

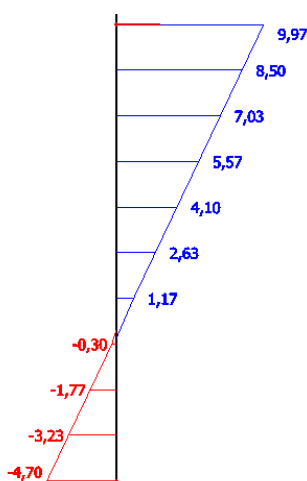
$$M_{0Eqp} = e_0 \cdot N_{0Eqp} = 0,01166 \cdot 788,95 = 9,199\text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = e_0 \cdot N_{Ed} = 0,01166 \cdot 1345,03 = 15,683\text{ kNm}$$

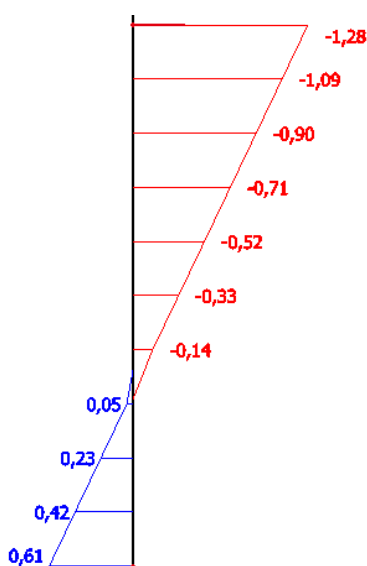
$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,9 \cdot \frac{9,199}{15,683} = 1,7$$

	-1338,86		-783,58
	-1339,47		-784,12
	-1340,09		-784,65
	-1340,71		-785,19
	-1341,33		-785,73
	-1341,94		-786,26
	-1342,56		-786,80
	-1343,18		-787,34
	-1343,79		-787,88
	-1344,41		-788,41
	-1345,03		-788,95

Obr. 97 průběh normálových sil  $N_{ed}$  od kombinace CO01 a CO02



Obr. 98 průběh ohybových momentů  $M_y$  od CO01



Obr. 99 průběh ohybových momentů  $M_z$  od CO01

$$\text{limitní štíhlost } \lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{n}$$

$$\text{vliv dotvarování } A = \frac{1}{1+0,2 \cdot \varphi_{ef}} = \frac{1}{1+0,2 \cdot 1,7} = 0,75$$

mechanický stupeň vyztužení

$$\text{odhad } 6\phi 16 \Rightarrow A_s = 12,06 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\varpi = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{12,06 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78}{0,0707 \cdot 16,67} = 0,44$$

$$\text{vliv vyztužení } B = \sqrt{1 + 2 \cdot \varpi} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,44} = 1,37$$

Poměr ohybových momentů v hlavě a patě sloupu

$$M_{02} = M_i + e_0 \cdot N_{ed,01}$$

$$= 9,97 + 0,01166 \cdot 1338,86 = 25,58 \text{ kNm}$$

$$M_{01} = M_i + e_0 \cdot N_{ed,02}$$

$$= -4,7 + (-0,01166) \cdot 1345,03 = -20,38 \text{ kNm}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-20,38}{25,58} = -0,797$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,797) = 2,5$$

$$\text{poměrná normálová síla } n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1345,03 \cdot 10^{-3}}{0,0707 \cdot 16,67} = 1,14$$

$$\text{vlastní štíhlost sloupu } \lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{1,7}{0,075} = 22,67$$

$$i \dots \text{poloměr setrvačnosti kruhu} \Rightarrow i = \frac{d}{4} = \frac{0,3}{4} = 0,075 \text{ m}$$

$$\text{limitní štíhlost } \lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{n} = \frac{20 \cdot 0,75 \cdot 1,37 \cdot 2,5}{\sqrt{1,14}} = 48,12$$

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

$$22,67 < 48,12 \Rightarrow \text{lze zanedbat účinky 2. řádu} \Rightarrow e_2 = 0$$

## 7.5 Výsledné namáhání sloupu

**Celková výstřednost:**

$$e_{Ed} = \max \left\{ e_i + e_f + e_2 ; \frac{d}{30} ; 20 \text{ mm} \right\}$$

$$= \max \left\{ 8,5 + 7,41 + 0 ; \frac{300}{30} ; 20 \right\} = \max \{ 15,91 ; 10 ; 20 \}$$

$$= 20 \text{ mm}$$

**na této excentricitě působí tlaková normálová síla:**

$$\text{v hlavě: CO01 } N_{Ed} = 1338,86 \text{ kN; CO02 } N_{Ed} = 783,58 \text{ kN}$$

$$\text{v patě: CO01 } N_{Ed} = 1345,03 \text{ kN; CO02 } N_{Ed} = 788,95 \text{ kN}$$

**Ohybový moment v návrhové hodnotě:**

CO01

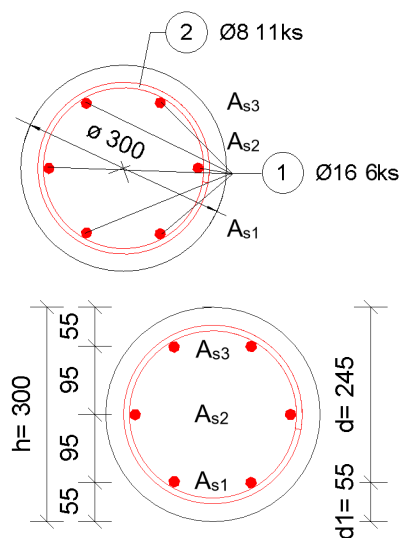
$$\text{v hlavě: } M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Ed} = 1338,86 \cdot 0,02 = 26,78 \text{ kNm}$$

$$\text{v patě: } M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Ed} = 1345,03 \cdot 0,02 = 26,9 \text{ kNm}$$

CO02

$$\text{v hlavě: } M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Ed} = 783,58 \cdot 0,02 = 15,67 \text{ kNm}$$

$$\text{v patě: } M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{Ed} = 788,95 \cdot 0,02 = 15,78 \text{ kNm}$$



Obr. 100 schéma výztuže sloupu, řez

## 7.6 Posudek únosnosti sloupu

### 7.6.1 Návrh výztuže

Minimální počet výztuže kruhového sloupu – 4 profily, doporučeno 6 profilů.

Minimální průměr výztuže pro  $d > 200 \text{ mm}$  -  $\phi 12$

Uvažuji krytí výztuže  $c = 25 \text{ mm}$ ,  $d = 245 \text{ mm}$

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 1345,03 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 3,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot \pi \cdot 0,15^2 = 28,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

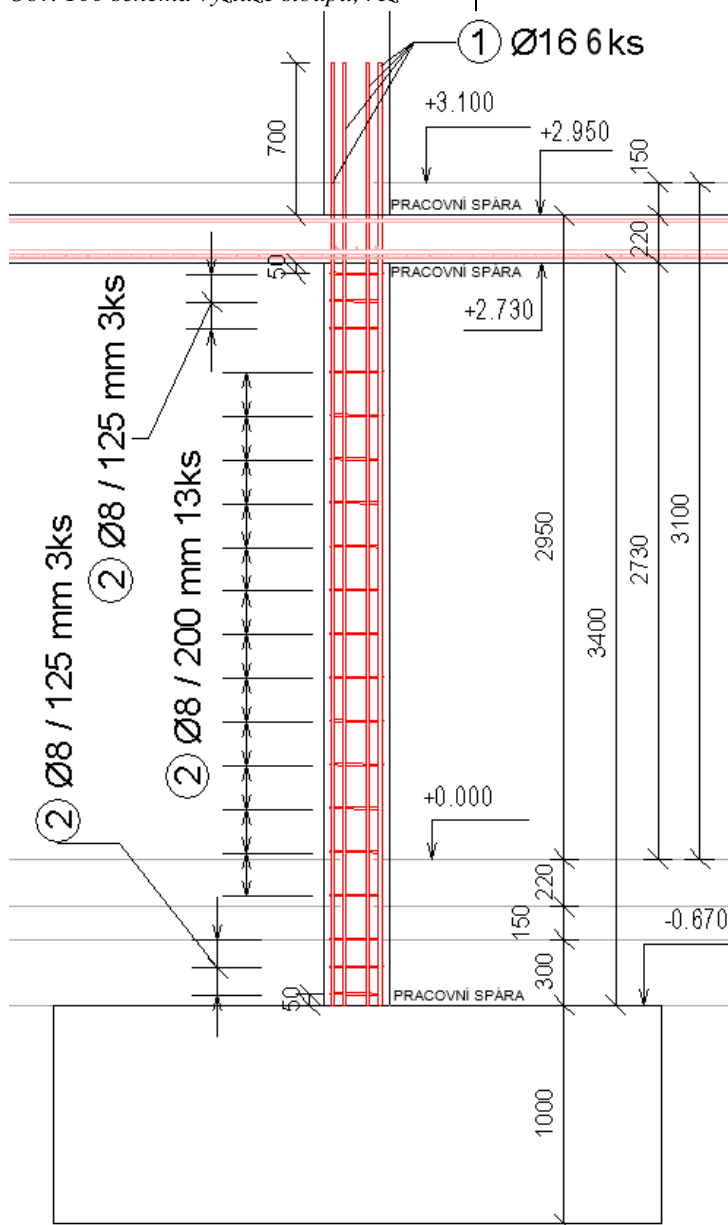
**navrženo 6Ø16  $\Rightarrow A_s = 12,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$**

plocha výztuže ve vrstvách

$$A_{s,1} = A_{s,2} = A_{s,3} = 2\phi 16 = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} \geq A_{s,1} \geq A_{s,min}$$

$$28,27 \cdot 10^{-4} \geq 4,02 \cdot 10^{-4} \geq 3,09 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \checkmark \text{ vyhovuje}$$



#### Příčná výztuž

$$\phi \geq 6 \text{ mm}$$

$$\phi \geq \frac{\phi_{pod}}{4} = \frac{16}{4} = 4 \text{ mm}$$

**navrženy třmínky Ø8**

#### Maximální vzdálenost třmínků

$$S_s \leq \min\{15 \cdot \phi ; d ; 300 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{240 ; 300 ; 300\} = 240 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  **navrženo  $S = 200 \text{ mm}$**

#### Zhuštění třmínků okolo styčnicku a patky

$$0,6 \cdot S = 0,6 \cdot 230 = 138 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$  **navrženo 125 mm**, min. 3 třmínky

#### Kotevní délka – přesahem

100 % prutů v průřezu je stykováno

$$\text{přesahem } \alpha_6 = \left(\frac{100}{25}\right)^{0,5} = 2; \alpha_6 \leq 1,5$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

$$= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,2 = 1,9 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{1,9} = 0,915 \text{ m}$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} =$$

$$= \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}\}$$

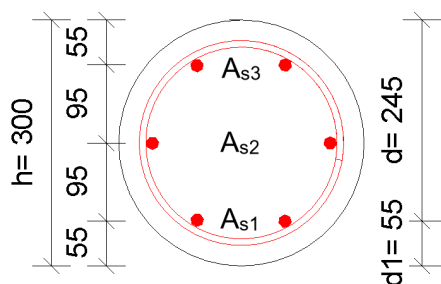
$$= \max\{412; 240; 200\} = 412 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,412 \geq l_{0,min}$$

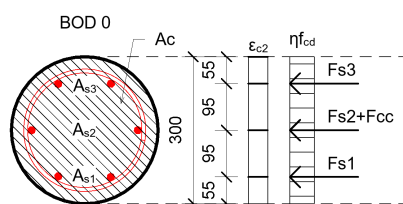
$$l_0 \geq l_{0,min} \Rightarrow 618 \text{ mm} \geq 412 \text{ mm}$$

**✓ vyhovuje**

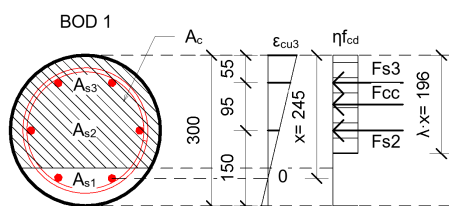
Obr. 101 schéma rozmístění třmínků



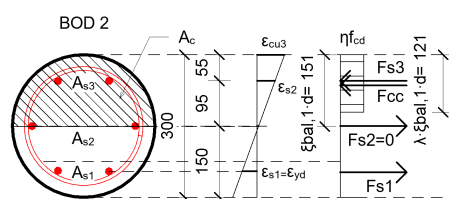
Obr. 102 průřez sloupu



Obr. 103 případ porušení, bod 0



Obr. 104 případ porušení, bod 1



Obr. 105 případ porušení, bod 2

## 7.7 Interakční diagram

### 7.7.1 Bod 0

Tlakové porušení v tlačném betonu po celé výšce.

$$\sigma_s = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,002 \cdot 200 \cdot 10^3 = 400 \text{ MPa} < f_{yd}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd0} &= -(\pi \cdot r^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s) \\ &= -(\pi \cdot 0,15^2 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 + 12,06 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^3) \\ &= -1660,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

### 7.7.2 Bod 1

Neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s1}$ , na únosnosti se podílí pouze tlačená část betonu a tlačená výztuž  $A_{s1}$  a  $A_{s2}$ .

$$\varepsilon_{s1} = 0 ; F_{s1} = 0 \text{ kN} ; x = d ; x > \xi_{bal,2} \cdot d \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\begin{aligned} F_{s2} &= F_{s3} = A_{s2,3} \cdot f_{yd} \\ &= 4,02 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 174,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$A_c = 0,057 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} N_{Rd1} &= -(A_c \cdot \eta \cdot f_{cd} + F_{s2} + F_{s3}) \\ &= -(0,057 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 + 2 \cdot 174,78) = -1299,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd1} &= A_c \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \frac{(h - \lambda d)}{2} + F_{s3} \cdot z_3 \\ &= 0,057 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,3 - 0,196}{2} + \\ &+ 174,78 \cdot 0,095 = 66,01 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### 7.7.3 Bod 2

Neutrální osa leží ve vzdálenosti  $x_{bal,1}$  od tlačného okraje průřezu. Tento bod je rozhraním mezi tlakovým a tahovým porušením (mezi velkou a malou výstředností v tlaku).

$$\begin{aligned} x &= x_{bal,1} ; x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d \geq x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd} \end{aligned}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,174} = 2,64$$

$$A_c = 0,036 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,bal} &= -(A_c \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) \\ &= -(0,036 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 + 0) = -600,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,bal} &= A_c \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \frac{(h - \lambda \xi_{bal,1} d)}{2} + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s3} \cdot z_3 \\ &= 0,036 \cdot 1 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,3 - 0,121}{2} + 2 \cdot (174,78 \cdot 0,095) \\ &= 86,92 \text{ kNm} \end{aligned}$$

