

# **PŘÍLOHA 1**

## **STATICKÝ VÝPOČET**

**Administrativní budova Vodafone**

**Praha – Stodůlky**

náměstí Junkových 2808/2

Vypracoval: **Bc. Tomáš Hynek**

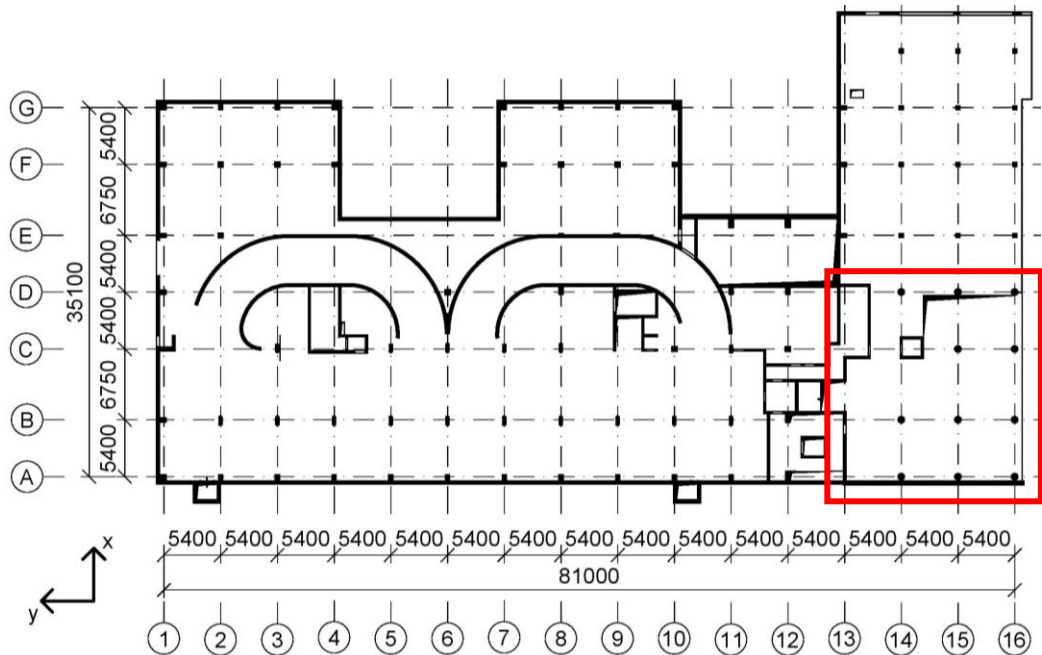
Datum: prosinec 2019

## Obsah přílohy

<b>Předběžný statický výpočet.....</b>	<b>P1.3</b>
<b>Konstrukční schémata.....</b>	<b>P1.3</b>
<b>Použité materiály .....</b>	<b>P1.7</b>
<b>Přehled zatížení.....</b>	<b>P1.7</b>
Stálé zatížení .....	P1.7
Proměnné zatížení.....	P1.8
<b>Předběžný návrh a posouzení nosných prvků.....</b>	<b>P1.10</b>
Vodorovné nosné konstrukce.....	P1.10
Svislé nosné konstrukce.....	P1.13
Schodiště .....	P1.19
Základové konstrukce .....	P1.21
<b>Namáhání sloupů se zohledněním účinků II. řádu .....</b>	<b>P1.23</b>
Metoda jmenovité křivosti.....	P1.27
Metoda jmenovité tuhosti .....	P1.36
Výpočet pomocí softwaru.....	P1.44
<b>Parametrická studie zjednodušených metod.....</b>	<b>P1.49</b>
Vliv tvaru průřezu.....	P1.49
Vliv třídy betonu.....	P1.55

## Předběžný statický výpočet

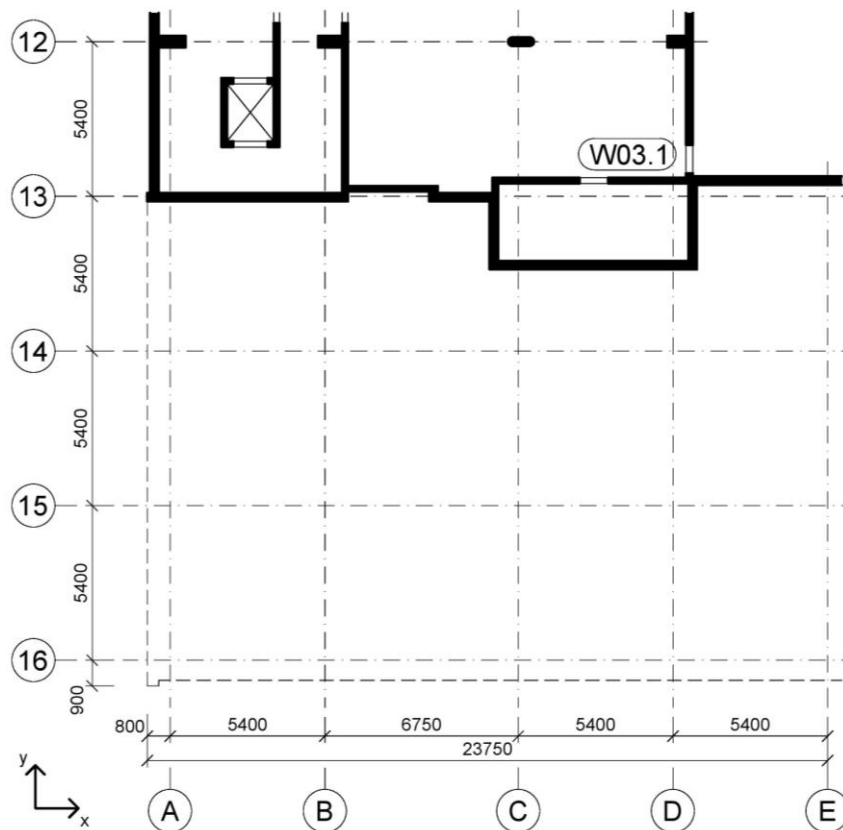
- Řešená část objektu – červeně vyznačeno:



## Konstrukční schémata

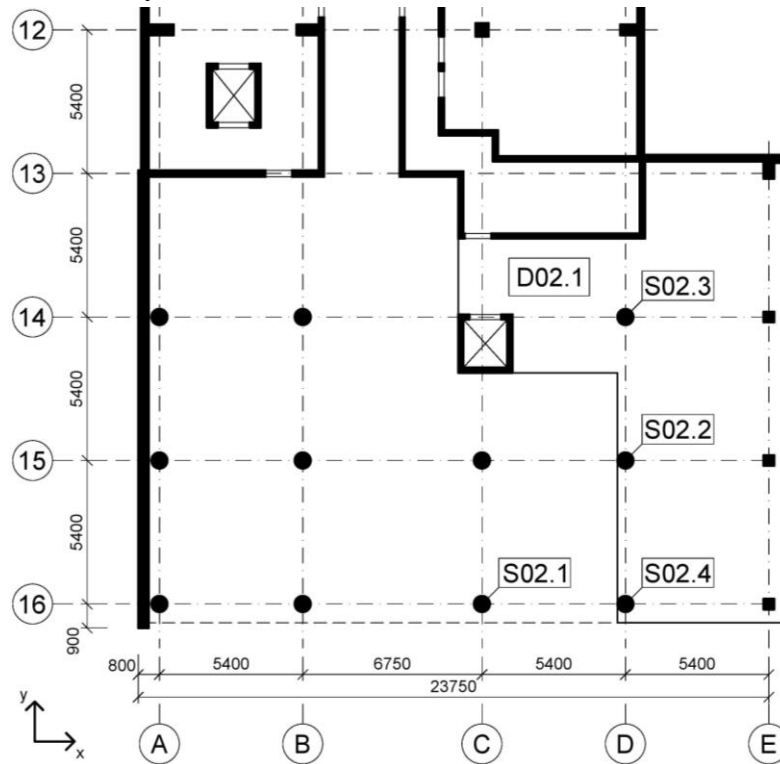
- Konstrukční schéma řešené části objektu – 3.PP:

Konstrukční výška: 3,10 m



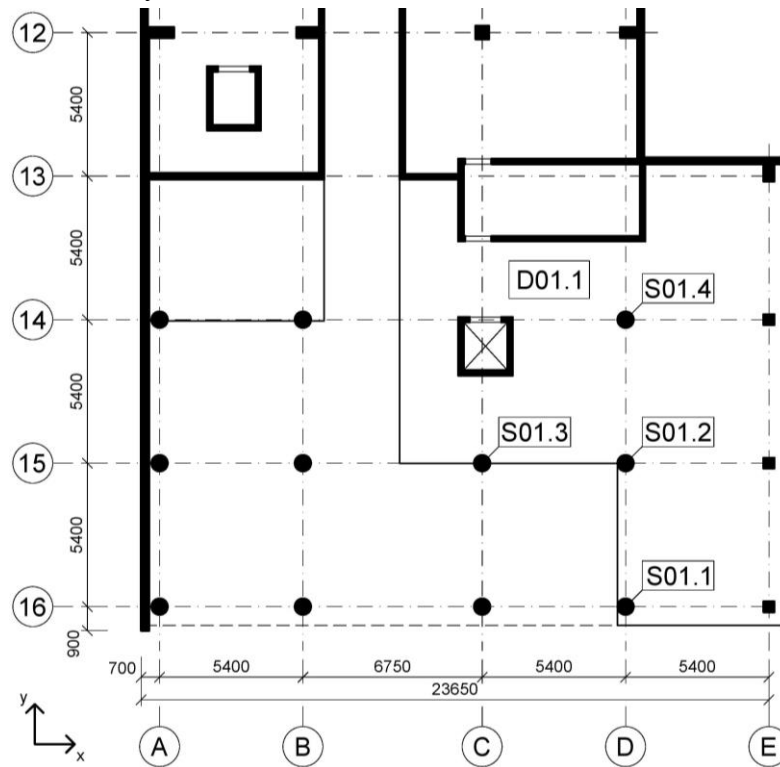
- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 2.PP:**

Konstrukční výška: 3,10 m



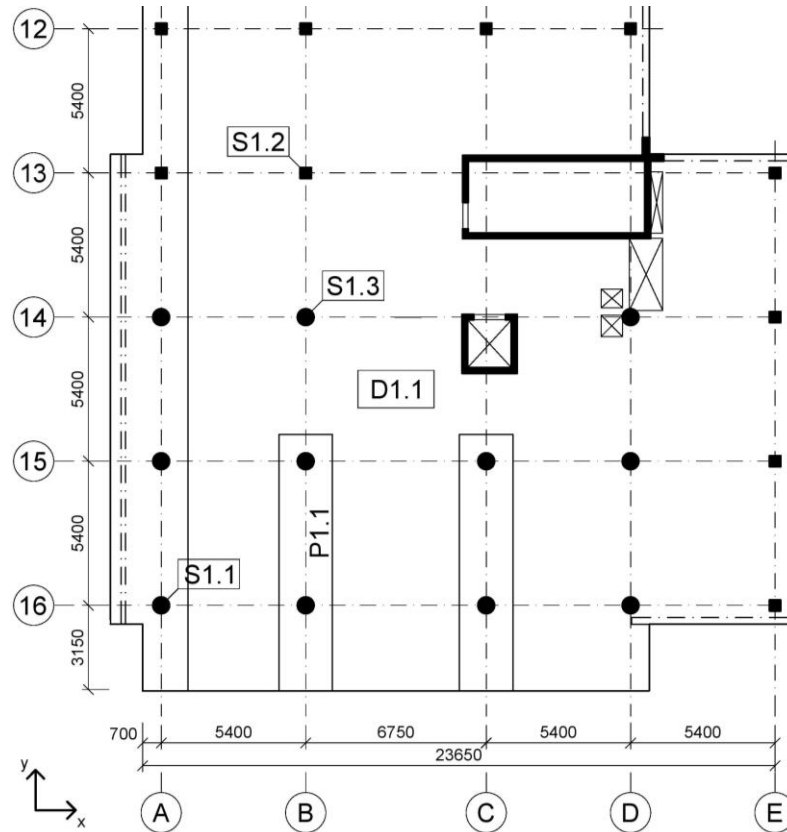
- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 1.PP:**

Konstrukční výška: 3,34 m



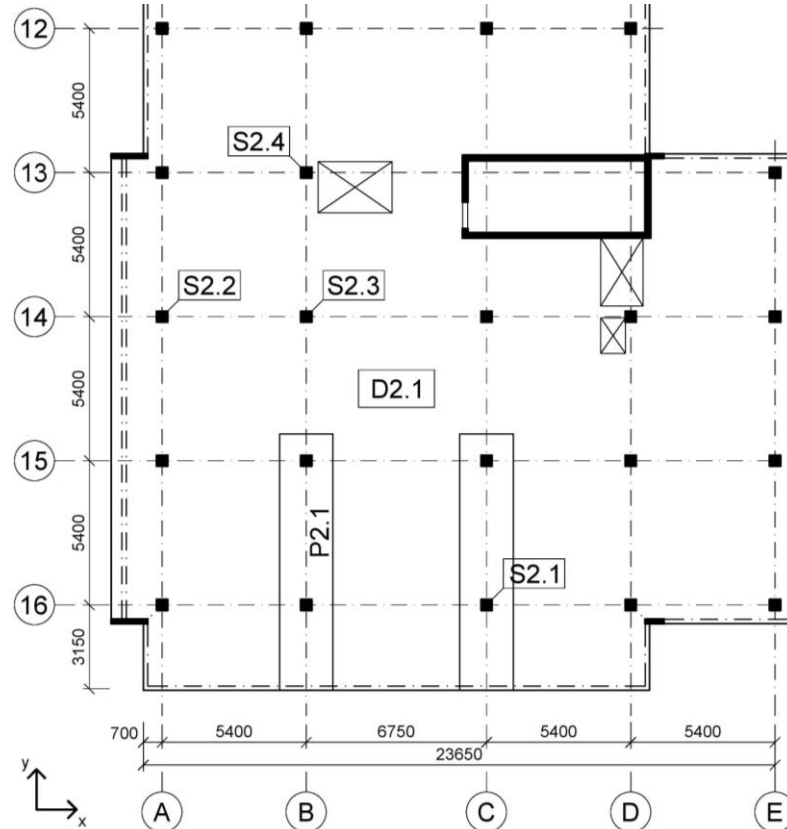
- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 1.NP:**

Konstrukční výška: 4,10 m



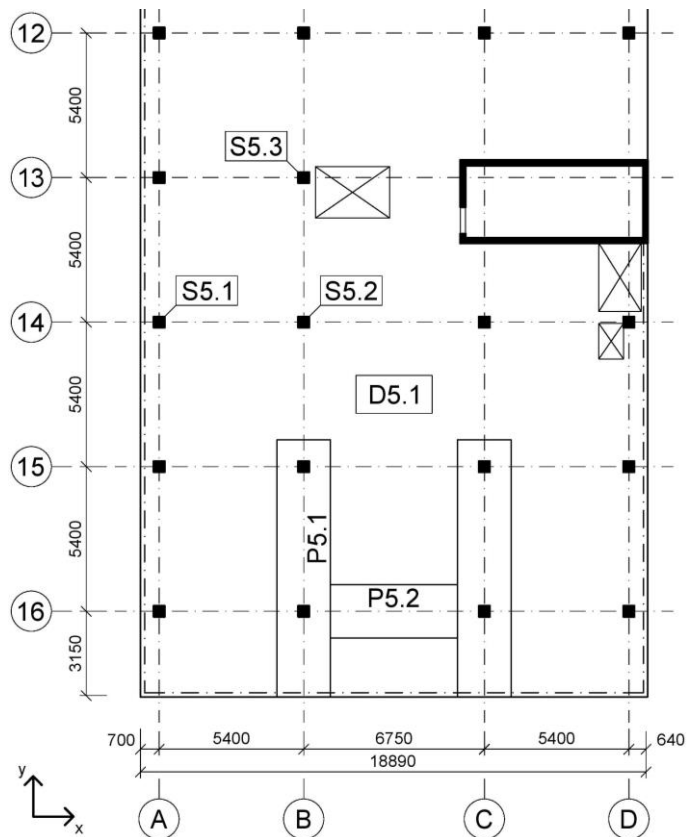
- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 2.-4.NP:**

Konstrukční výška: 4,03 m



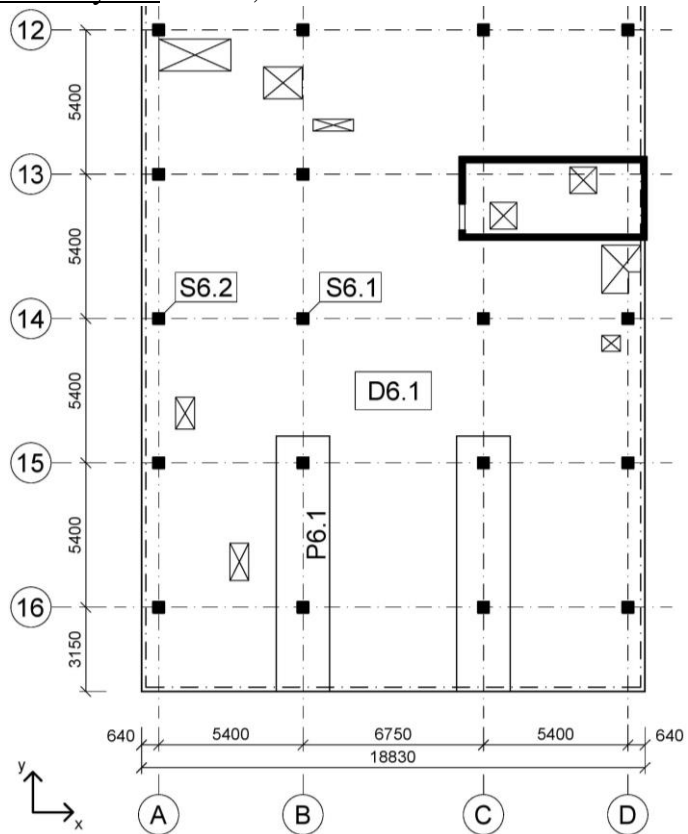
- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 5.NP:**

Konstrukční výška: 4,09 m



- **Konstrukční schéma řešené části objektu – 6.NP:**

Konstrukční výška: 4,08 m



## Použité materiály

- Beton:**

Piloty:

C 30/37 – XC3, XA1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

Základová deska:

C 30/37 – XC3, XA1, XF1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

Stropní desky:

C 30/37 – XC1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

Obvodové stěny:

C 30/37 – XC3, XA1, XF1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

Vnitřní stěny:

C 30/37 – XC1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

Sloupy:

C 30/37 – XC1 – C1 0,2 – D<sub>max</sub>16 – S3, E<sub>cm</sub> = 32 GPa

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

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

- Ocel: B500B**

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

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

## Přehled zatížení

### Stálé zatížení

- Podlahy, střešní a obvodový plášť**

název	poznámka	g <sub>k</sub>	jednotky
podlahy – kanceláře, atrium		2,50	kN/m <sup>2</sup>
podlahy – terasy		2,50	kN/m <sup>2</sup>
střešní plášť		2,00	kN/m <sup>2</sup>
obvodový plášť – lehký (trojsklo)	1.-5.NP	0,90	kN/m
lehký obvodový plášť (trojsklo)	atrium	3,40	kN/m

Konkrétní vrstvy jednotlivých konstrukcí nejsou známy. Zatížení bylo odhadnuto na základě typických skladeb daných konstrukcí.

- **Příčky**

název	poznámka	$g_k$	jednotky
příčky sociální zařízení – sádrokarton <sup>2)</sup>	1.-4.NP	2,00	kN/m <sup>2</sup>
příčky kanceláře – sádrokarton <sup>1)</sup>		1,90	kN/m
těžké příčky – PTH 24 P+D <sup>2)</sup>	5NP	3,50	kN/m <sup>2</sup>
těžké příčky – PTH 24 P+D <sup>1)</sup>	1.-4.NP	10,50	kN/m

1) Výpočet:

název	výška	plošná hmotnost	zatížení
	[m]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]
příčky kanceláře – sádrokarton	3,8	0,50	1,90
těžké příčky – PTH 24 P+D	3,8	2,75	10,45→10,50

Pozn.: Sádrokartonové příčky jsou uvažovány jako přemístitelné s vlastní tíhou do 2 kN/m. Pro tyto příčky je použito náhradní užitné spojité zatížení  $q = 0,8 \text{ kN/m}^2$ .

2) Zatížení rozpočítáno do plochy:

název	výška	pl. hmotnost	délka	zat. plocha	zatížení
	[m]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m]
příčky soc. zař. – sádrokarton	3,8	0,50	48,0	46,8	1,95
těžké příčky – PTH 24 P+D	3,8	2,75	75,0	236,0	3,32

Příčky sádrokarton → 2,00 kN/m<sup>2</sup>

PTH 24 → 3,50 kN/m<sup>2</sup>

- **Technologie**

název	poznámka	$g_k$	jednotky
zatížení od technologie (VZT)	5.-6.NP	3,00	kN/m <sup>2</sup>
2x eskalátor (Schindler 9300)	2.PP	40,00	kN

## Proměnné zatížení

- **Užitné zatížení**

název vrstvy	poznámka	$q_k$	jednotky
kancelářské plochy	kategorie B	3,00	kN/m <sup>2</sup>
atrium	kategorie C1	3,00	kN/m <sup>2</sup>
sociální zařízení		2,50	kN/m <sup>2</sup>
chodby, schodiště		3,00	kN/m <sup>2</sup>
terasy		3,00	kN/m <sup>2</sup>
technické podlaží		2,00	kN/m <sup>2</sup>
garáže	Kategorie F	2,50	kN/m <sup>2</sup>
střecha nepřístupná	kategorie H	1,00	kN/m <sup>2</sup>



- **Zatížení sněhem – s**

Parametry výpočtu:

tvarový součinitel  $\mu = 0,8$  (plochá střecha –  $\alpha < 30^\circ$ )  
součinitel expozice  $C_e = 1,0$  (normální typ krajiny)  
součinitel tepla  $C_t = 1,0$  (střechy s  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]  $< 1,0$ )

Pozn.: Dle [6] je minimální hodnota  $U_{N,20}$  (součinitel prostupu tepla) pro ploché střechy  $0,24 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Předpoklad je splněn.

umístění objektu: Praha – Stodůlky – sněhová oblast II

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

Charakteristická hodnota zatížení sněhem – s:

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

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

užitné:  $q_k = 1,0 \text{ kN}/\text{m}^2$

sníh:  $s = 0,8 \text{ kN}/\text{m}^2$

$\Rightarrow$  Proměnné zatížení střechy:  $q = 1,0 \text{ kN}/\text{m}^2$

- **Zatížení větrem**

Parametry objektu:

rozměry objektu: 85 x 38 m

výška objektu: 33 m

Zatížení větrem je v rámci objektu řešeno pomocí nástroje *Generátor větru 3D* softwaru SCIA Engineer [34]. Tento nástroj pomocí zadaných parametrů vyčíslí hodnoty zatížení na prostorové konstrukci dle [4].

Parametry výpočtu:

součinitel směru větru:  $c_{dir} = 1,0$

součinitel ročního období:  $c_{season} = 1,0$

kategorie terénu: IV

umístění objektu: Praha – Stodůlky – větrná oblast II

$$\Rightarrow v_{b,0} = 25,0 \text{ m}/\text{s} \quad (\text{základní rychlost větru})$$

Základní rychlost větru –  $v_b$ :

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 25,0 \text{ m}/\text{s}$$

## Předběžný návrh a posouzení nosných prvků

### Vodorovné nosné konstrukce:

- **Stropní deska**

Stropní desky jsou předběžně posouzeny na ohybovou únosnost. Pro výpočet návrhových hodnot ohybových momentů byl použit software SCIA Engineer[34]. Z hlediska MSP byly stropní desky posouzeny pomocí nástroje *normově závislý průhyb* [34]. Tento nástroj zohledňuje účinky dotvarování a oslabení průřezu vlivem trhlin. Průhyb od smršťování je odhadnut jako hodnota 25 % z celkového průhybu. U získaných výsledků z *normově závislého průhybu* je tato hodnota zohledněna a připočtena.

#### Navržené tloušťky stropních desek:

označení	podlaží	$h_a$ [mm]
D02.1	2.-3.PP	250
D01.1	1.PP	250
D1.1	1.NP	250
D2.1	2.-4.NP	250
D5.1	5.NP	300
D6.1	6.NP – střecha	280

#### Ověření únosnosti stropních desek:

předpokládaný profil výztuže:  $\varnothing$  14 mm

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

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

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

$$c_{\text{min,b}} = 14 \text{ mm} \quad \text{minimální vrstva z hlediska soudržnosti (profil použitých prutů)}$$

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

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

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

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

$$c_{\text{min}} = \max(14; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = \max(14; 10; 10) = 14 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 14 + 10 = 24 \text{ mm}$$

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

Ověření poměrné výšky tlačené oblasti  $\xi$  a stupně vyztužení ohybovou výztuží  $\rho$ :

poměrný ohybový moment:

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

potřebná plocha výztuže:

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

orientační stupeň vyztužení:

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

deska	$h_d$ [mm]	$d$ [mm]	$m_{Ed}$ [kNm/m']	$\mu$ [-]	$\xi$ [-]	$a_{s,req}$ [mm <sup>2</sup> /m']	$\rho$ [%]
D02.1	250	218	104,88	0,110	0,146	1170,7	0,54
D01.1	250	218	106,53	0,112	0,149	1194,7	0,55
D1.1	250	218	100,37	0,106	0,140	1122,6	0,51
D2.1	250	218	116,56	0,123	0,165	1323,0	0,61
D5.1	300	268	189,37	0,132	0,179	1764,5	0,66
D6.1	280	248	152,19	0,124	0,166	1514,2	0,61

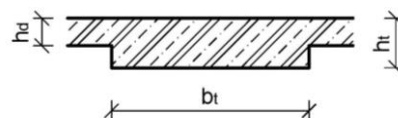
Navržené stropní desky předběžně vyhovují na únosnost v ohybu.

- Průvlaky**

Stropní desky v 1.-6.NP jsou pro splnění limitních průhybů doplněny plochými průvlaky – viz konstrukční schémata 1.-6.NP (str. P1.5-P1.6).

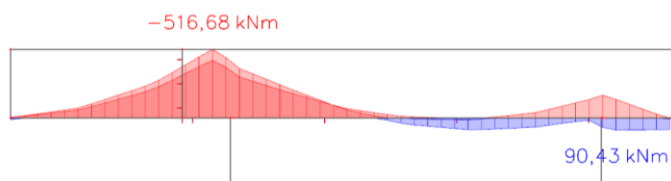
Navržené rozměry průvlaků:

označení	podlaží	$h_t$ [mm]	$b_t$ [mm]
P1.1	1.NP	400	2000
P2.1	2.-4.NP	400	2000
P5.1	5.NP	500	2000
P6.1	6.NP	450	2000

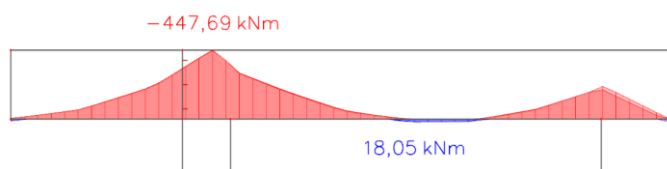


### Průběh ohybových momentů:

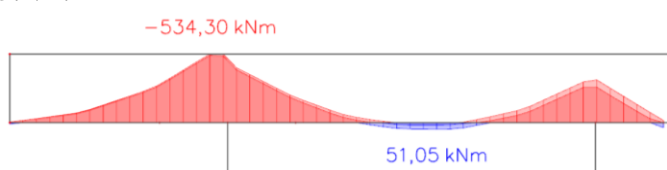
1.NP:



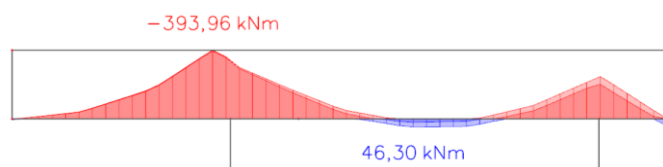
2.-4.NP:



5.NP:



6.NP:



### Ověření ohybové únosnosti průvlaků:

krytí:  $c = 25$  mm (výpočet viz návrh stropních desek)

předpokládaný profil výztuže:  $\varnothing 20$  mm

předpokládaný profil třmínků:  $\varnothing 10$  mm

(Vzorce pro ověření únosnosti viz. Ověření únosnosti stropních desek.)

průvlak	$h_t$ [mm]	$b_t$ [mm]	$d$ [mm]	$M_{Ed}$ [kNm]	$\mu$ [-]	$\xi$ [-]	$A_{s,req}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\rho$ [%]
P1.1	400	2000	355	516,68	0,102	0,135	3525,5	0,50
P2.1	400	2000	355	447,69	0,089	0,117	3055,4	0,43
P5.1	500	2000	455	534,30	0,065	0,084	2811,6	0,31
P6.1	450	2000	405	393,96	0,060	0,077	2294,1	0,28

**Navržené ploché průvlaky předběžně vyhovují na únosnost v ohybu.**

**Ploché průvlaky jsou navrženy z důvodu snížení průhybů stropních desek.**

**Z tohoto důvodů mají v předběžném návrhu velké rezervy v MSÚ.**

## Svislé nosné konstrukce

- **ŽB sloupy**

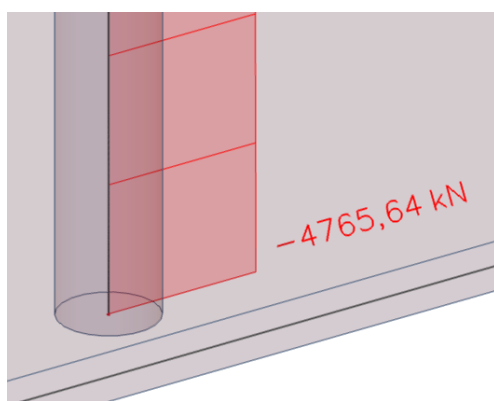
Pro posouzení železobetonových sloupů jsou vybrány nejzatíženější sloupy v úrovni 3.PP. Sloupy jsou v uvažovány jako dostředně tlačené. Sloupy v atriu (vedené přes více podlaží) jsou podrobně řešeny v samostatné části, zde jsou rovněž pouze předběžně navrženy jejich rozměry. Návrhové normálové síly  $N_{Ed,max}$  jsou převzaty ze SCIA Engineer [34].

Navržené rozměry sloupů v řešené části objektu:

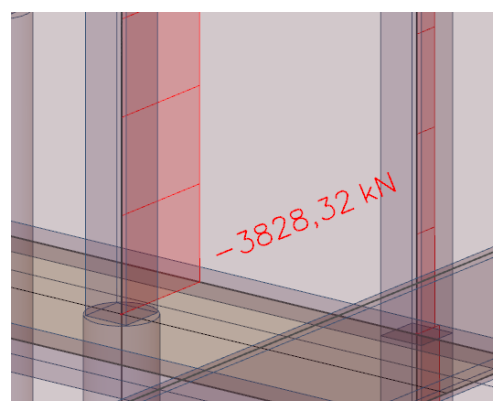
3.PP-1.NP: Ø 600 mm

2.NP-6.NP: 400x400 mm

Návrhové zatížení v patě sloupů:



S02.1



S2.1

Normálová únosnost sloupů:

Přibližný vztah pro dostředný tlak:

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

plocha průřezu:  $A_c$

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

stupeň vyztužení:  $\rho = 2 \%$

sloup	průřez [mm]		$A_c$ [mm <sup>2</sup> ]	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Rd}$ [kN]	posouzení
S2.1	400	400	160000	<b>3828,32</b>	<b>3840,0</b>	Vyhovuje
S02.1	Ø	600	282743	<b>4765,64</b>	<b>6785,8</b>	Vyhovuje

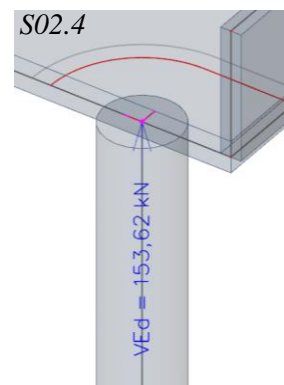
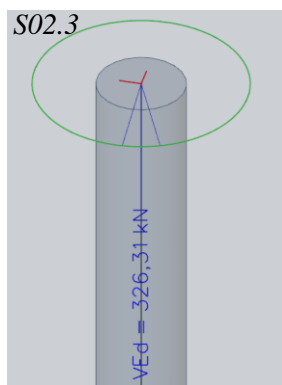
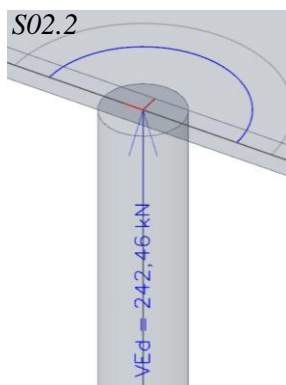
⇒ Navržené rozměry sloupů předběžně vyhovují na únosnost v dostředném tlaku. (Sloupy v atriu viz kapitola *Namáhání sloupů se zohledněním účinků II. řádu* – str. P1.23)

- **Protlačení**

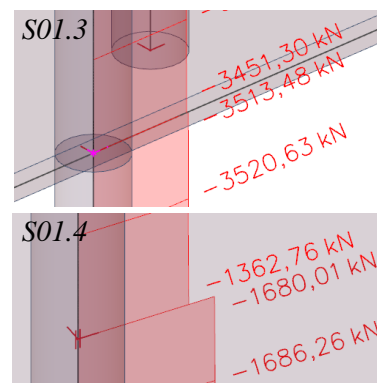
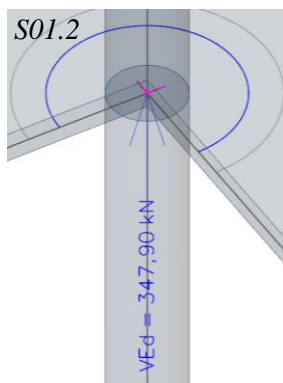
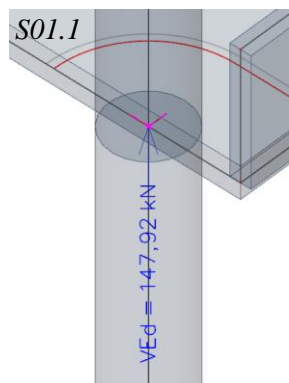
Z hlediska protlačení jsou předběžně posouzeny sloupy v podlažích s různým zatížením. Posuzované sloupy jsou vyznačeny v konstrukčních schématech objektu.

Návrhové zatížení pro posouzení protlačení:

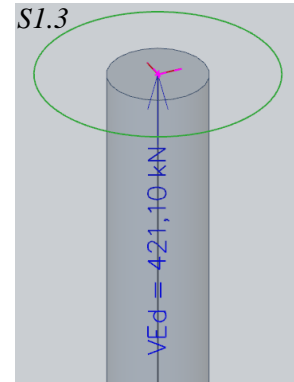
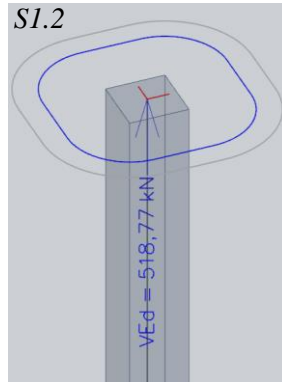
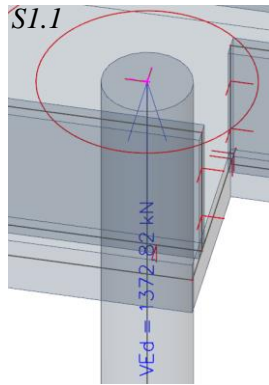
2.PP:



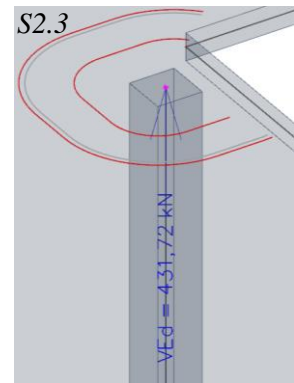
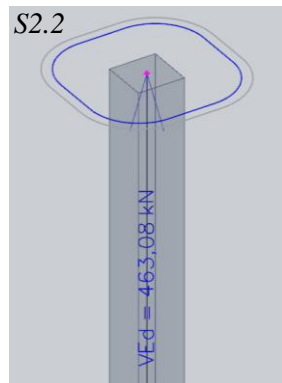
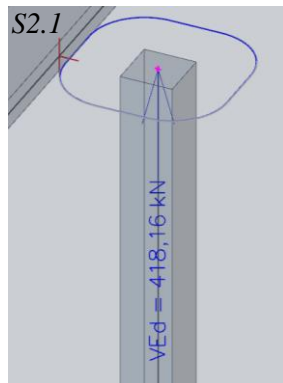
1.PP:



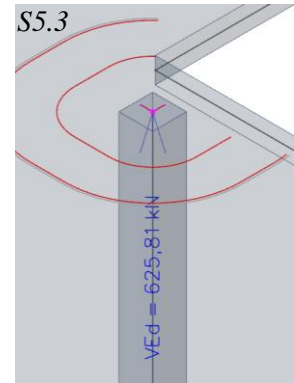
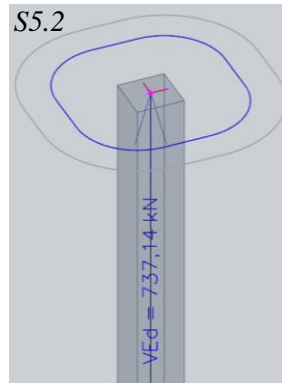
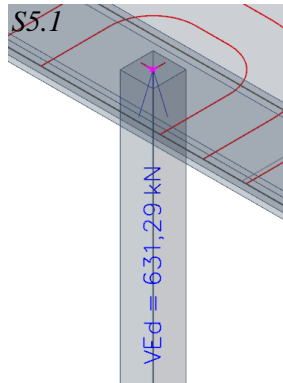
1.NP:



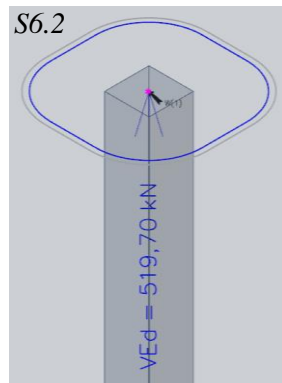
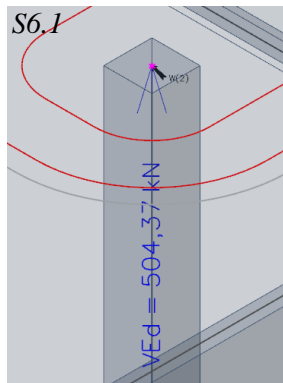
2.-4.NP:



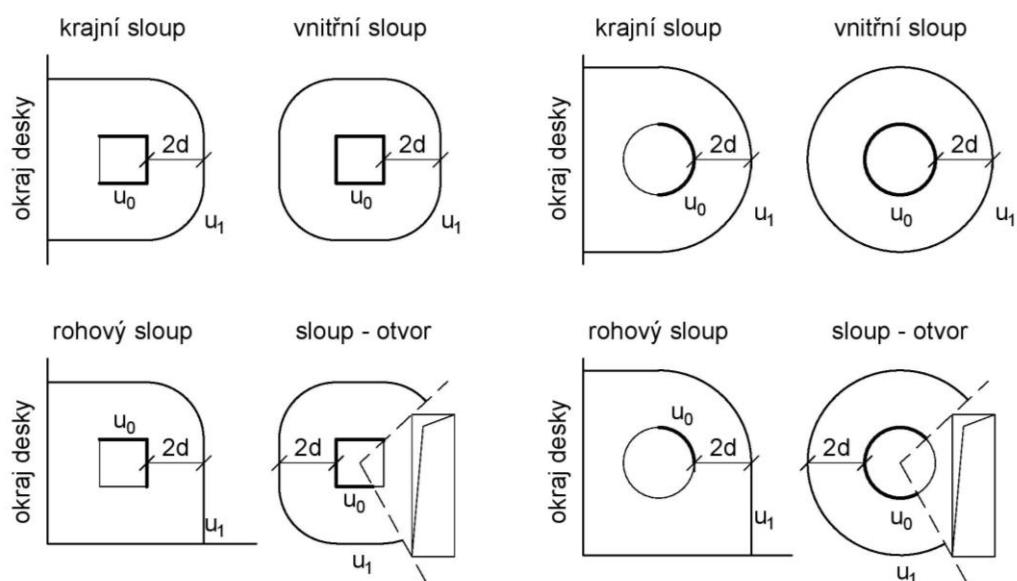
5.NP:



6.NP:



Schématu uvažovaných kontrolovaných obvodů:



Vstupní parametry, použité vzorce:

Odhad účinné výšky průřezu  $d$ :

profil výztuže ve směru  $x$ :  $\varnothing_x$  14 mm (předpoklad)

profil výztuže ve směru  $y$ :  $\varnothing_y$  14 mm (předpoklad)

krytí:  $c = 25$  mm (předpoklad)

účinná výšky průřezu:

$$d_x = h_d - c - \varnothing_x/2$$

$$d_y = h_d - c - \varnothing_x - \varnothing_y/2$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2}$$

Napětí v kontrolovaných obvodech  $u_0$  a  $u_1$ :

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d}; v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

$\beta = 1,15$  vnitřní sloup

$\beta = 1,40$  krajní sloup

$\beta = 1,50$  rohový sloup

Únosnost tlakové diagonály (obvod  $u_0$ ):

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Součinitel vlivu přidavných namáhání  $v$ :

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

$$\underline{v_{Ed,0} < v_{Rd,max}}$$



Smyková únosnost v obvodě  $u_1$ :

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

empirický koeficient  $C_{Rd,c}$ :

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

součinitel  $k$  zohledňující tloušťku desky:

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

stupeň vyztužení ohybovou výztuží  $\rho$ :  $\rho_1 = 0,005$

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

pro smykovou výztuž a svařované smykové mřížky:

$$k_{max} = 1,40 \text{ pro } h_d = 200 \text{ mm}$$

$$k_{max} = 1,70 \text{ pro } h_d = 700 \text{ mm}$$

pro smykové trny:  $k_{max} = 1,90$

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

### Posouzení:

#### Vstupní údaje:

Podlaží	Sloup	Popis	$V_{Ed}$	$h_d$	$d$	$\beta$	$u_0$	$u_1$	$k$	$k_{max}$
-	-	-	[kN]	[mm]	[mm]	-	[mm]	[mm]	[-]	[-]
2.PP	S02.2	krajní	242,46	250	211	1,40	942,5	2868,2	1,97	1,48
	S02.3	vnitřní	326,31	250	211	1,15	1885,0	4536,5	1,97	1,48
	S02.4	rohový	153,62	250	211	1,50	471,3	2134,1	1,97	1,48
1.PP	S01.1	rohový	147,92	250	211	1,50	471,3	2134,1	1,97	1,48
	S01.2	rohový	347,90	250	211	1,50	1413,8	3702,3	1,97	1,48
	S01.3	krajní	62,18	250	211	1,40	942,5	2268,2	1,97	1,48
	S01.4	vnitřní	317,25	250	211	1,15	1885,0	4251,5	1,97	1,48
1.NP	<b>S1.1</b>	krajní	1372,82	400	361	1,40	1413,8	5810,7	1,74	<b>1,90</b>
	S1.2	vnitřní	518,77	250	211	1,15	1885,0	6421,4	1,97	1,48
	S1.3	vnitřní	421,10	250	211	1,15	1600,0	3288,6	1,97	1,48
2.-4.NP	S2.2	krajní	418,16	250	211	1,40	1600,0	3288,6	1,97	1,48
	S2.3	vnitřní	463,08	250	211	1,15	1600,0	3288,6	1,97	1,48
	S2.4	vnitřní	431,72	250	211	1,15	1071,9	3288,6	1,97	1,48
5.NP	<b>S5.1</b>	krajní	631,29	300	261	1,40	1200,0	3719,9	1,88	<b>1,90</b>
	S5.2	vnitřní	737,14	300	261	1,15	1600,0	4879,8	1,88	1,50
	<b>S5.3</b>	vnitřní	625,81	300	261	1,15	1071,9	3288,7	1,88	<b>1,90</b>
6.NP	S6.1	krajní	504,37	280	241	1,40	1200,0	3594,3	1,91	1,49
	S6.2	vnitřní	519,70	280	241	1,15	1600,0	4628,5	1,91	1,49

Posouzení napětí v kontrolovaných obvodech:

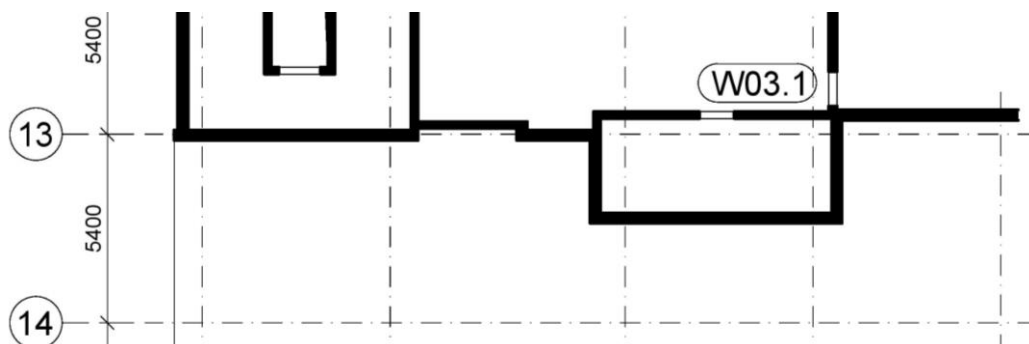
Sloup	$v_{Ed,0}$	$v_{Rd,max}$	Posudek	$v_{Ed,1}$	$v_{Rd,c}$	$k_{max} \cdot v_{Rd,c}$	Posudek
-	[MPa]	[MPa]	-	[MPa]	[MPa]	[MPa]	-
S02.2	1,71	4,22	VYHOVUJE	0,56	0,58	0,86	VYHOVUJE
S02.3	0,94	4,22	VYHOVUJE	0,39	0,58	0,86	VYHOVUJE
S02.4	2,32	4,22	VYHOVUJE	0,51	0,58	0,86	VYHOVUJE
S01.1	2,23	4,22	VYHOVUJE	0,49	0,58	0,86	VYHOVUJE
S01.2	1,75	4,22	VYHOVUJE	0,67	0,58	0,86	VYHOVUJE
S01.3	0,44	4,22	VYHOVUJE	0,18	0,58	0,86	VYHOVUJE
S01.4	0,92	4,22	VYHOVUJE	0,41	0,58	0,86	VYHOVUJE
S1.1	3,77	4,22	VYHOVUJE	0,92	0,52	0,98	VYHOVUJE
S1.2	1,50	4,22	VYHOVUJE	0,44	0,58	0,86	VYHOVUJE
S1.3	1,43	4,22	VYHOVUJE	0,70	0,58	0,86	VYHOVUJE
S2.2	1,73	4,22	VYHOVUJE	0,84	0,58	0,86	VYHOVUJE
S2.3	1,58	4,22	VYHOVUJE	0,77	0,58	0,86	VYHOVUJE
S2.4	2,20	4,22	VYHOVUJE	0,72	0,58	0,86	VYHOVUJE
S5.1	2,82	4,22	VYHOVUJE	0,91	0,56	1,05	VYHOVUJE
S5.2	2,03	4,22	VYHOVUJE	0,67	0,56	0,83	VYHOVUJE
S5.3	2,57	4,22	VYHOVUJE	0,84	0,56	1,05	VYHOVUJE
S6.1	2,44	4,22	VYHOVUJE	0,82	0,57	0,84	VYHOVUJE
S6.2	1,55	4,22	VYHOVUJE	0,54	0,57	0,84	VYHOVUJE

Stropní desky vyhovují z hlediska předběžného posouzení na protlačení při předpokladu užití smykové výztuže proti protlačení.

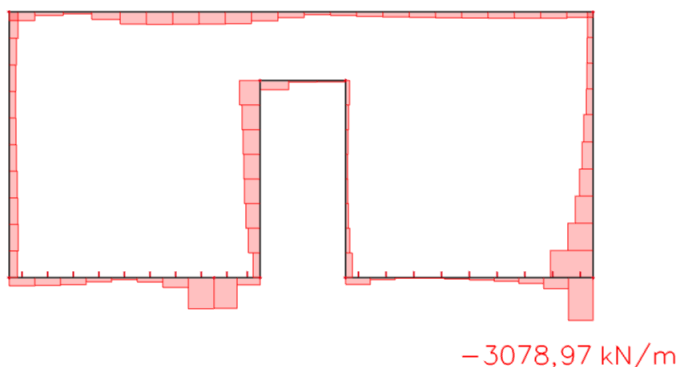
- **Stěny**

Železobetonové stěny jsou navrženy tloušťky 200 a 300 mm. Ověřena je stěna W03.1 tloušťky 200 mm s maximální celkovou hodnotou normálové síly.

Schéma stěny:



### Návrhová normálová síla v patě stěny:



### Ověření únosnosti v patě železobetonového jádra:

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= 0,8 \cdot t \cdot 1 \text{ m}' \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 0,8 \cdot t \cdot 1 \text{ m}' \cdot f_{cd} + \rho \cdot A_c \cdot \sigma_s = \\ &= 0,8 \cdot 200 \cdot 1000 \cdot 20 + 0,005 \cdot 200 \cdot 1000 \cdot 400 = \\ &= 3600 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

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

$$\text{stupeň vyztužení: } \rho = 0,5 \%$$

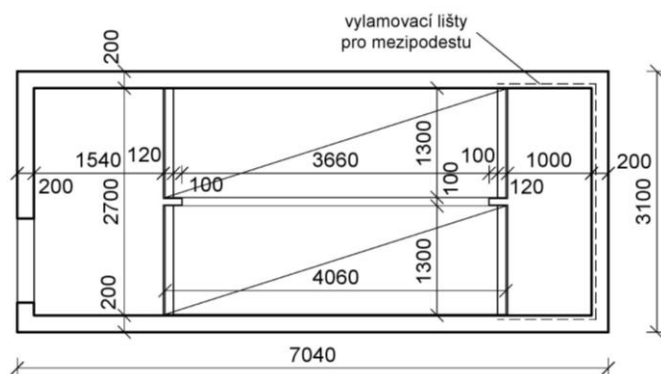
$$N_{Ed} = 3078,97 \text{ kN/m} > N_{Rd} = 3600 \text{ kN/m} \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

**Navržená stěna předběžně vyhovuje i za zjednodušeného předpokladu rovnoměrné hodnoty normálové síly 3078,97 kN/m v délce celého 1 m' stěny.**

## Schodiště

V rámci návrhu schodiště je předběžně navržena pouze základní geometrie. Schodiště není dále podrobněji řešeno.

### Schéma schodiště:



### Popis schodiště:

podesty:	monolitické, navazující na stropní desky
mezipodesty:	monolitické, uložené na vylamovací výztuž
schodišťová ramena:	prefabrikovaná
typ schodiště:	dvouramenné

Návrh geometrie schodiště: počet ramen x počet stupňů x výška x šířka stupně

3.PP-2.PP: 3x150/305 mm, 11x150/305 mm

2.PP-1.PP: 2x12x159,6/305 mm

1.PP-1.NP: 2x12x159,2/305 mm

1.NP-2.NP: 2x13x157,7/290 mm

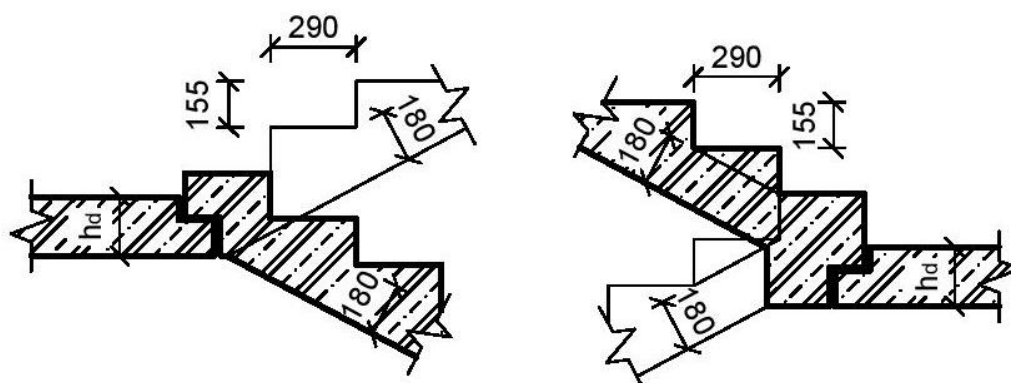
2.NP-5.NP: 2x13x155,0/290 mm

5.NP-6.NP: 2x13x155,0/290 mm

šířka ramen: 1300 mm

tloušťka ramen: 180 mm

Schéma napojení schodišťového ramene na podestu:



Akustické oddělení prefabrikovaných ramen je řešeno pomocí akustické izolace Halfen HTF. Prefabrikovaná ramena nejsou podrobněji řešena. Tloušťka mezipodest je navržena s ohledem na rozměry ozubu. Rozměry ozubu jsou rozdílné v závislosti na různých konstrukčních výškách podlaží a výšce souvrství podlah.

## Základové konstrukce:

Objekt je založen na základové desce podepřené pilotami. Počátek profilu zeminy je uvažován v místě vstupu do objektu (atrium 2.PP). Z hlediska charakteristik zemin se jedná o předpokládanou skladbu. Pro zjištění přesné skladby a parametrů zemin by bylo nutné provést vrt v místě stavby.

Předpokládaný profil zeminy:

popis vrstvy	označení	mocnost vrstvy [m]
hlinitopísčité a písčité holocenní náplavy s bahnými polohami, místy se šterky či úlomky hornin při bázi	S4 (SM)	0,00-2,00
bělavě až žlutavě šedé, místy okrově zbarvené jemné až hrubě zrnité rozpadové pískovce s polohami jílovce	R4	2,00+

Vlastnosti zemin:

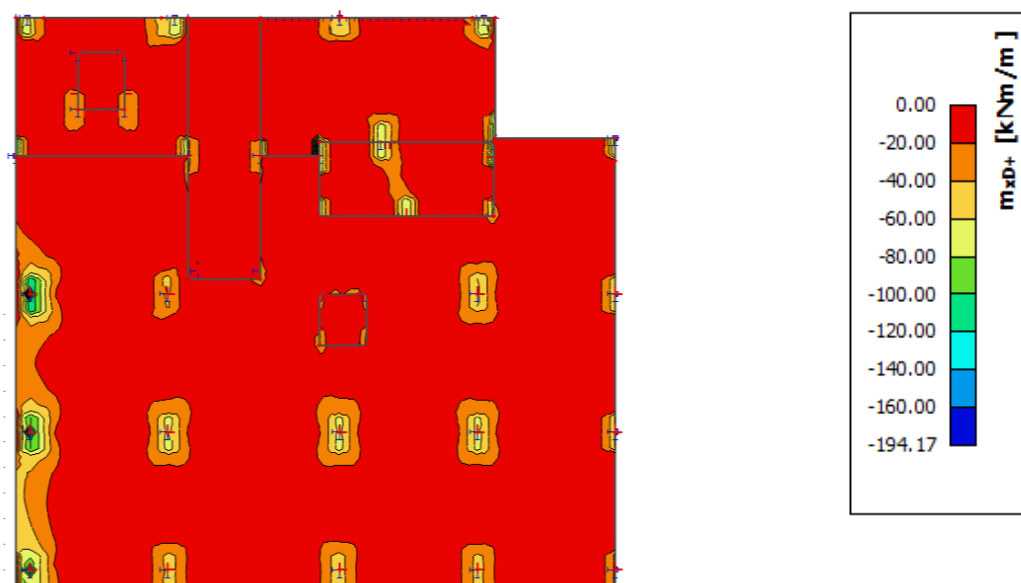
označení	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{\text{oed}}$ [MPa]	$c_{\text{ef}}$ [kPa]	$\phi_{\text{ef}}$ [°]
S4 (SM)	18,00	0,30	20,00	7,00	0,00	28,00
R4	20,00	0,30	21,00	94,50	15,00	30,00

Hladina podzemní vody se nachází v hloubce přibližně 6 m.

- **Základová deska**

Základová deska se nachází v první vrstvě profilu zeminy (S4 SM). Navržená tloušťka základové desky je 300 mm. Deska je předběžně ověřena na ohybovou únosnost. Sloupy a stěny na základové desce jsou podepřeny pilotami.

Průběh maximálních ohybových momentů na základové desce:



### Ověření únosnosti základové desky:

předpokládané krytí:  $c = 45 \text{ mm}$

předpokládaný profil výztuže:  $\varnothing 16 \text{ mm}$

(Vzorce pro ověření únosnosti viz. Ověření únosnosti stropních desek.)

deska	$h_d$ [mm]	$d$ [mm]	$m_{Ed}$ [kNm/m']	$\mu$ [-]	$\xi$ [-]	$a_{s,req}$ [mm <sup>2</sup> /m']	$\rho$ [%]
ZD	300	247	194,17	0,159	0,218	1980,5	0,80

**Navržená základová deska předběžně vyhovuje na únosnost v ohybu.**

- **Piloty**

V rámci projektu je předběžně navržena nejvíce zatížená pilota. Pilota je dále posouzena na únosnost a sedání. Pro výpočet je použit software GEO5 Pilota [33]. Podrobný výstup softwaru je uveden v samostatné příloze (viz Příloha 2).

#### Parametry výpočtu:

průměr piloty:  $d = 1,20 \text{ m}$

délka piloty:  $l = 8,0 \text{ m}$

#### Posouzení únosnosti:

Únosnost piloty:  $R_c = 5260,09 \text{ kN}$

Únosnost piloty na plášti:  $R_s = 913,08 \text{ kN}$

Únosnost piloty v patě:  $R_b = 4347,01 \text{ kN}$

Maximální svislá síla:  $V_d = 4987,50 \text{ kN}$

$R_c = 5260,09 \text{ kN} > V_d = 4987,50 \text{ kN} \Rightarrow$  VYHOVUJE

#### Posouzení sedání:

Provozní hodnota zatížení:  $Q = 3315,98 \text{ kN}$

Pro zatížení  $Q = 3315,98 \text{ kN}$  je stanoveno sednutí piloty 8,0 mm.

**Navržená pilota předběžně vyhovuje na oba mezní stavy.**

# Namáhání sloupů se zohledněním účinků II. řádu

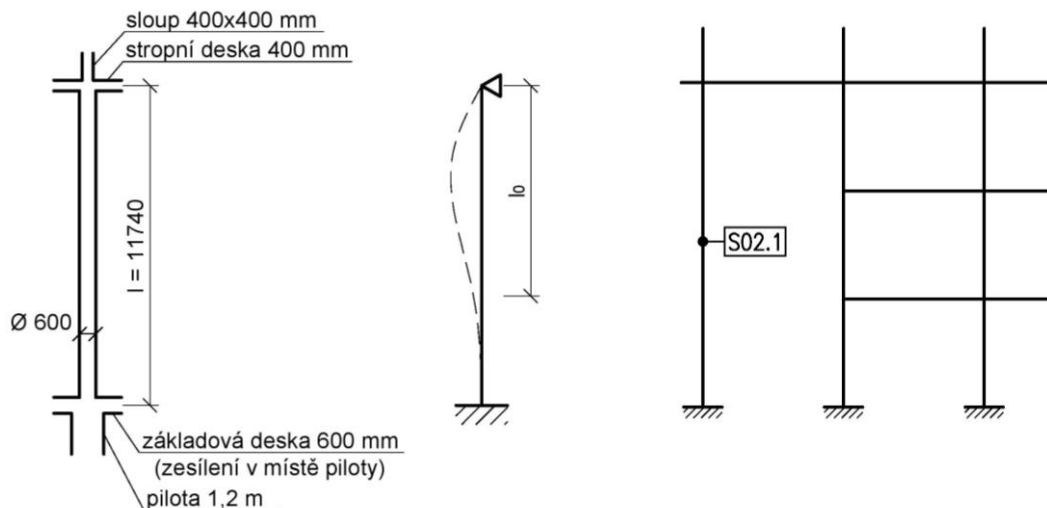
- Výpočet proveden v 5 variantách:

- 1) Metoda jmenovité křivosti – ruční výpočet dle ČSN EN 1992 [5]
- 2) Metoda jmenovité tuhosti – ruční výpočet dle ČSN EN 1992 [5]
- 3) Metoda jmenovité křivosti – FIN EC Beton [32]
- 4) Metoda jmenovité tuhosti – FIN EC Beton [32]
- 5) Metoda jmenovité křivosti – SCIA Engineer [34]

Jednotlivé výpočty v rámci 1. a 2. metody jsou nejprve vzorově jednou vypočteny včetně dosazení do vzorců. Následné opakované výpočty jsou zprogramovány pomocí MS Excel. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách.

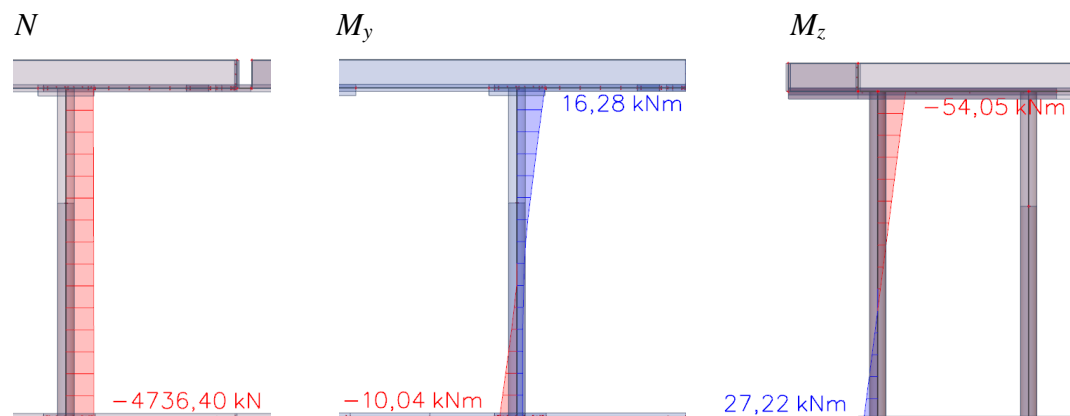
- Schéma řešeného sloupu:

Sloup S02.1 (C16):

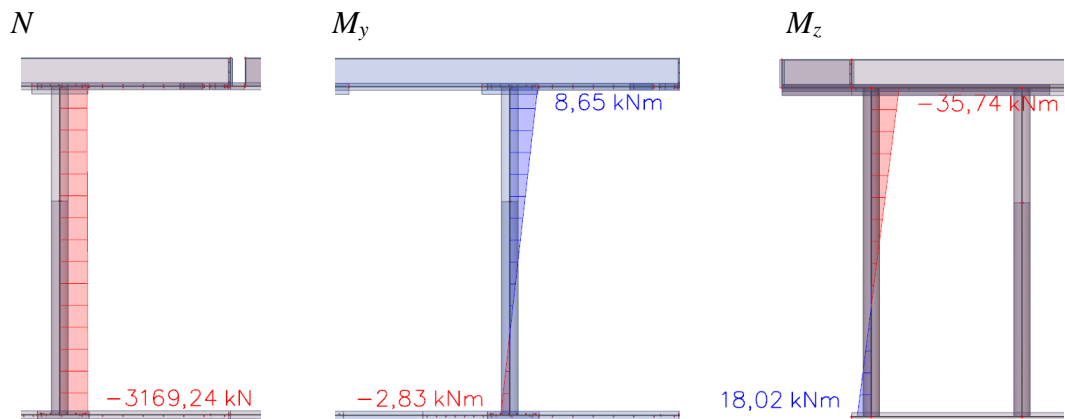


Vnitřní síly:

MSÚ:



MSP – kvazistálá kombinace:



Parametry sloupu (kruhový průřez):

délka sloupu:	$l = 11740 \text{ mm}$
průměr:	$d = 600 \text{ mm}$
plocha průřezu:	$A_c = 282743,3 \text{ mm}^2$
moment setrvačnosti:	$I_c = 6,362 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$
poloměr setrvačnosti:	$i_c = 150 \text{ mm}$

• **Stanovení tloušťky krycí vrstvy:**

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

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

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

$$c_{\text{min,b}} = 20 \text{ mm} \quad \text{minimální vrstva z hlediska soudržnosti (profil použitých prutů)}$$

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

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

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

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

$$c_{\text{min}} = \max(20; 10 + 0 - 0 - 0; 10) = \max(20; 10; 10) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

tloušťka krycí vrstvy výztuže:  $c_{\text{nom}} = 30 \text{ mm}$



- **Součinitel dotvarování:**

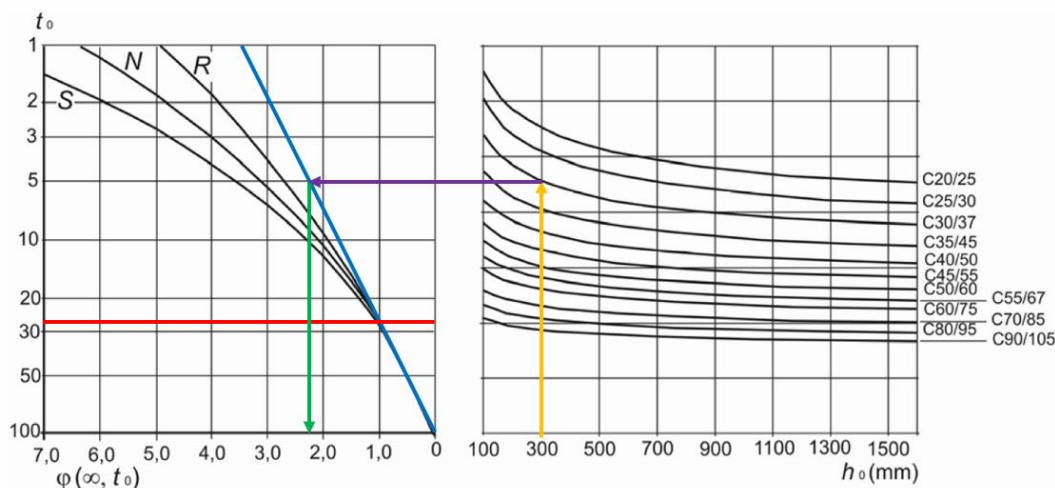
Vstupní parametry:

čas vnesení zatížení:	$t_0 = 28$ dní
obvod průřezu vystavený vysychání:	$u = 1884,96$ mm
typ cementu:	N – normálně tvrdnoucí
prostředí:	vnitřní, RH = 50 %

Výpočet:

jmenovitý rozměr:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 282743,3}{1884,96} = 300,00 \text{ mm}$$



a) vnitřní prostředí – RH 50 %

$$\Rightarrow \varphi(\infty, t_0) = 2,3$$

- **Štíhlost:**

Vstupní parametry:

součinitel vzpěrné délky:	$\beta = 0,70$ (vetknutí-kloub)
vzpěrná délka:	$l_0 = 0,70 \cdot 11740 = 8218$ mm
návrhová normálová síla:	$N_{Ed} = 4736,40$ kN
max. ohybové momenty MSÚ:	$M_y = 16,28$ kNm $M_z = -54,05$ kNm
max. ohybové momenty MSP-kvaz.:	$M_y = 8,65$ kNm $M_z = -35,74$ kNm

Štíhlost: (použité vztahy str. 19-21)

$$\lambda_{y,z} = \frac{l_0}{i_c} = \frac{8218}{150} = 54,79$$

Limitní štíhlost:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}}$$

$$A_y = 1/(1 + 0,2\varphi_{\text{ef},y}) = 1/(1 + 0,2 \cdot 1,22) = 0,80$$

$$A_z = 1/(1 + 0,2\varphi_{\text{ef},z}) = 1/(1 + 0,2 \cdot 1,52) = 0,77$$

Efektivní součinitel dotvarování:

$$\varphi_{\text{ef},y} = \varphi_{(\infty,t_0)} \cdot \frac{M_{0\text{Eqp}}}{M_{0\text{Ed}}} = 2,3 \cdot \frac{8,65}{16,28} = 1,22$$

$$\varphi_{\text{ef},z} = \varphi_{(\infty,t_0)} \cdot \frac{M_{0\text{Eqp}}}{M_{0\text{Ed}}} = 2,3 \cdot \frac{35,74}{54,05} = 1,52$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega}$$

Výztuž zde není ještě navržena. Konzervativně uvažováno  $B = 1,1$ .

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 1,0 = 0,7$$

Poměr ohybových momentů prvního řádu  $r_m = 1,0$ , jelikož vznikají převážně v důsledku imperfekcí. (viz [5])

$$(M_i = N_{\text{Ed}} \cdot e_i = 4736,40 \cdot 0,02 = 94,73 \text{ kNm})$$

$$n = N_{\text{Ed}} / (A_c f_{\text{cd}}) = 4736,40 \cdot 10^3 / (282743,3 \cdot 20) = 0,84$$

$$\lambda_{\text{lim},y} = \frac{20 \cdot 0,80 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,84}} = 13,5$$

$$\lambda_{\text{lim},z} = \frac{20 \cdot 0,80 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,84}} = 12,9$$

$$\lambda = 54,79 > \lambda_{\text{lim}} = 13,5$$

$$\lambda = 54,79 > \lambda_{\text{lim}} = 12,9$$

Sloup vychází v obou směrech jako štíhlý. Je tedy nutno zahrnout účinky druhého řádu při jeho posouzení.

## 1) Metoda jmenovité křivosti

- **Parametry průřezu:**

viz P1.24

### Návrhový ohybový moment $M_z$ :

Nejprve je provedeno ověření ve směru ohybového momentu  $M_z$ , jelikož dosahuje větších hodnot než ohybový moment  $M_y$ . Pro tuto metodu výpočtu je nutné nejprve odhadnout množství výztuže sloupu. Na konci výpočtu je předpoklad ověřen a případně je upraven a výpočet opakován.

Předpokládaný stupeň vyztužení:  $\rho = A_s/A_c = 0,015$

- **Výpočet křivosti:**

$$1/r = K_r K_\varphi 1/r_0$$

Součinitel  $K_r$ :

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1$$

$$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd}) = 0,015 \cdot (435/20) = 0,326$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,326 = 1,326$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd}) = 4736,40 \cdot 10^3 / (282743,3 \cdot 20) = 0,838$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) = (1,326 - 0,838) / (1,326 - 0,4) = 0,527 \leq 1$$

Součinitel  $K_\varphi$ :

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150 = 0,35 + (30/200) - (54,8/150) = 0,135$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} = 1 + (0,135 \cdot 1,52) = 1,205 \geq 1$$

Základní křivost  $1/r_0$ :

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45d)$$

Účinná výška  $d$ :

$$d = d_c - c - \varnothing_T - \frac{\varnothing_s}{2} = 600 - 30 - 10 - \frac{20}{2} = 550 \text{ mm}$$

$$1/r_0 = (f_{yd} / E_s) / (0,45d) = (0,002175) / (0,45 \cdot 550) = 8,78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$1/r = 0,527 \cdot 1,205 \cdot 8,78 \cdot 10^{-3} = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

- **Ohybový moment prvního řádu:**

Ekvivalentní ohybový moment:

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \geq 0,4M_{02}$$

$$M_{0e} = 0,6 \cdot (-54,05) + 0,4 \cdot 27,22 \geq 0,4 \cdot (-54,05)$$

$$M_{0e} = -21,54 \text{ kNm} < -21,62 \text{ kNm} \rightarrow M_{0e} = -21,62 \text{ kNm}$$

Minimální výstřednost:

$$e_i = \max(l_0/400; b/30; 20 \text{ mm}) = \max(8218/400; 600/30; 20) = \\ = \max(20,55; 20; 20) = 20,55 \text{ mm}$$

Výsledný ohybový moment prvního řádu:

$$M_{0Ed} = M_{0e} + N_{Ed} \cdot e_i = 21,62 + 4736,40 \cdot 10^3 \cdot 20,55 = 118,93 \text{ kNm}$$

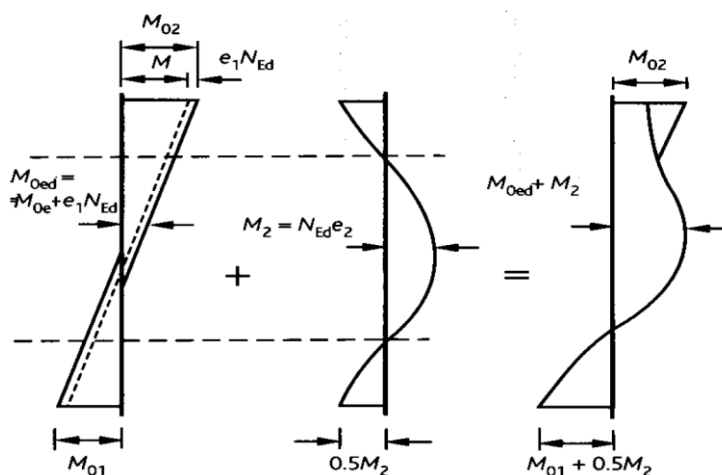
- **Moment druhého řádu:**

$$M_2 = N_{Ed} e_2$$

$$e_2 = (1/r) l_0^2 / c = (5,58 \cdot 10^{-3}) \cdot 8,218^2 / 10 = 37,70 \text{ mm}$$

$$M_2 = 4736,40 \cdot 0,0377 = 178,58 \text{ kNm}$$

- **Výsledný návrhový moment:**



$$M_{01} = 27,22 + 4736,4 \cdot 0,021 = 124,53 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = 54,05 + 4736,4 \cdot 0,021 = 151,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \max(M_{0Ed} + M_2; M_{02}; M_{01} + 0,5 M_2) = \\ = \max(118,93 + 178,58; 151,35; 124,53 + 0,5 \cdot 178,58) = \\ = \max(297,51; 151,36; 213,82) = 297,51 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Ed} = 297,51 \text{ kNm}}$$

- **Ověření předpokladu, návrh výztuže:**

Návrh výztuže je proveden pomocí nomogramů [9].

Poměrná normálová síla:

$$n = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{4736,4 \cdot 10^3}{600 \cdot 600 \cdot 20} = 0,66$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{297,51 \cdot 10^6}{600 \cdot 600^2 \cdot 20} = 0,069$$

$$d' = d_c - 2c - 2\emptyset_T - \emptyset = 600 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 20 = 500 \text{ mm}$$

$$d'/h = 500/600 = 0,83 \Rightarrow \text{nomogram 12.9 [9]} \Rightarrow \omega = 0,1$$

Potřebná plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{\omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 600 \cdot 600 \cdot 20}{435} = 1656,0 \text{ mm}^2$$

Ověření předpokladu:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{1656,0}{282743,3} = 0,006 \neq 0,015$$

**Prvotní předpoklad nevyhovuje. Iteračním procesem je dosaženo shody předpokladu s výpočtem.**

- **Výsledné hodnoty pro ohybový moment  $M_z$  po 2. iteraci:**

Průřez:					
kruhový:			parametry průřezu:		
$d_c$	600	mm	$A_s$	2000,0	mm <sup>2</sup>
$h_c$	11740	mm	$A_c$	282743,3	mm <sup>2</sup>
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,007	-

Křivost:		
$(1/r)$	4,44E-03	m <sup>-1</sup>
$1/r_0$	8,78E-03	m <sup>-1</sup>
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-
$d$	550	mm

Součinitel $K_r$ :			Součinitel $K_\phi$ :		
$K_r$	0,419	$\leq 1$	$K_\phi$	1,205	$\geq 1$
$n_u$	1,154	-	$\beta$	0,135	
$n$	0,838	-	$\lambda$	54,8	-
$n_{bal}$	0,4	-	$l_0$	8218,00	mm
$A_{est}/A_c$	0,007	-	$i$	150,00	mm
$\omega$	0,154	-			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	-21,62	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{01}$	27,22	kNm
$M_{02}$	-54,05	kNm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
$b/30$	20,00	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Moment druhého řádu:		
$M_2$	142,01	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$e_2$	0,030	m

Excentricita druhého řádu:		
$e_2$	0,030	m
$(1/r)$	0,004	$m^{-1}$
$l_0$	8218,00	mm
$c$	10	-

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	118,93	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{0Ed} + M_2$	260,94	kNm
$M_{02}$	151,36	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	195,54	kNm
$M_{Ed}$	<b>260,94</b>	<b>kNm</b>

Návrh výztuže:		
$n$	0,66	-
$\mu$	0,060	-
$d'$	500	mm
$d'/h$	0,83	-
$\rightarrow \omega$	0,1	-
$A_{s,req}$	1656,0	$mm^2$
ověření $A_s/A_c$	0,006	-
předpoklad $A_s/A_c$	0,007	-

Návrh splňuje zavedený předpoklad.

Návrhový ohybový moment  $M_y$ :

- Výsledné hodnoty pro ohybový moment  $M_y$ :

Křivost:		
$(1/r)$	4,29E-03	$m^{-1}$
$1/r_0$	8,78E-03	$m^{-1}$
$\varepsilon_{yd}$	0,002174	-
$d$	550	mm

Součinitel $K_r$ :			Součinitel $K_\phi$ :		
$K_r$	0,419	$\leq 1$	$K_\phi$	1,165	$\geq 1$
$n_u$	1,154	-	$\beta$	0,135	
$n$	0,838	-	$\lambda$	54,8	-
$n_{bal}$	0,4	-	$l_0$	8218,00	mm
$A_{est}/A_c$	0,007	-	$i$	150,00	mm
$\omega$	0,154	-			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	6,51	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{01}$	-10,04	kNm
$M_{02}$	16,28	kNm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
$b/30$	20,00	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Moment druhého řádu:		
$M_2$	137,27	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$e_2$	0,029	m

Excentricita druhého řádu:		
$e_2$	0,029	m
$(1/r)$	0,004	$m^{-1}$
$l_0$	8218,00	mm
$c$	10	-

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	103,82	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{0Ed} + M_2$	241,09	kNm
$M_{02}$	113,59	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	175,98	kNm
$M_{Ed}$	<b>241,09</b>	<b>kNm</b>

Návrh výztuže:		
$n$	0,66	-
$\mu$	0,056	-
$d'$	500	mm
$d'/h$	0,83	-
$\rightarrow \omega$	0,1	-
$A_{s,req}$	1656,0	$mm^2$
ověření $A_s/A_c$	0,006	-
předpoklad $A_s/A_c$	0,007	-

Návrh splňuje zavedený předpoklad.

- **Návrh a posouzení ohybové výztuže:**

Návrh výztuže:

$$A_{s,req} = 1656,0 \text{ mm}^2 \Rightarrow$$

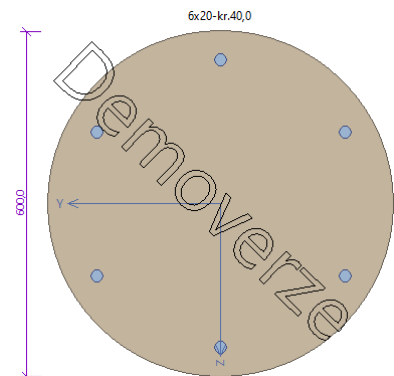
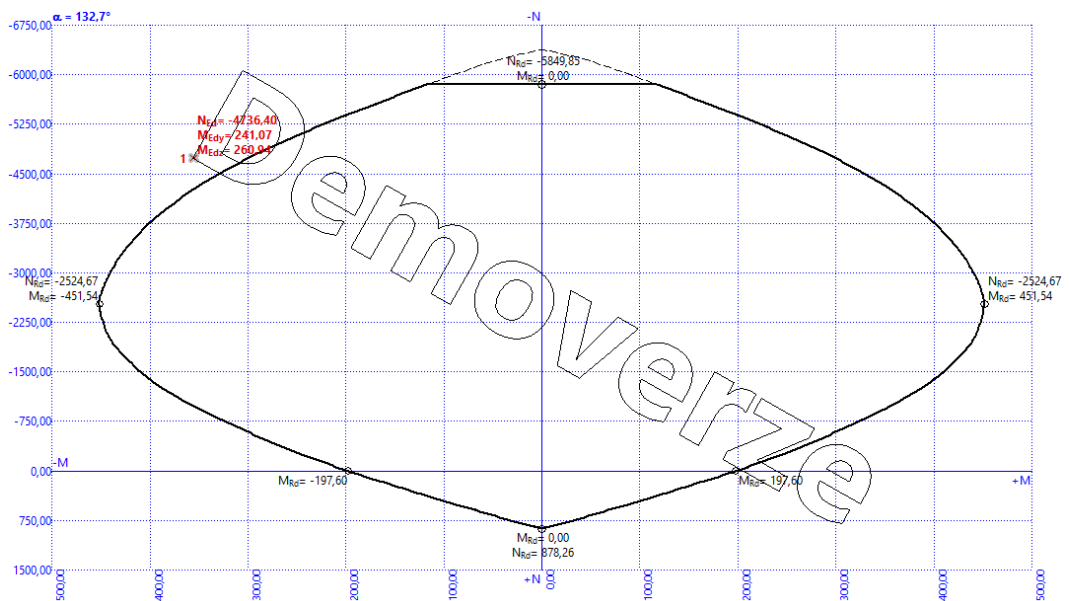
$$6 \times \emptyset 20; A_{s,prov} = 1885,0 \text{ mm}^2$$

Posouzení:

Pro posouzení je použit software

FIN EC 2020 – Beton [32].

Výsledný interakční diagram ve směru hlavního momentu:



Jelikož byly metodou jmenovité křivosti vyšetřovány jednotlivé směry zvlášť, tak při vzájemné interakci navržená výztuž nevyhovuje. Z tohoto důvodu je vytvořen opravný návrh. S nově navrženou výztuží jsou rovněž přepočteny návrhové hodnoty ohybových momentů.

Návrh výztuže:

$$14 \times \emptyset 20; A_{s,prov} = 4398,2 \text{ mm}^2$$

Výsledné ohybové momenty:

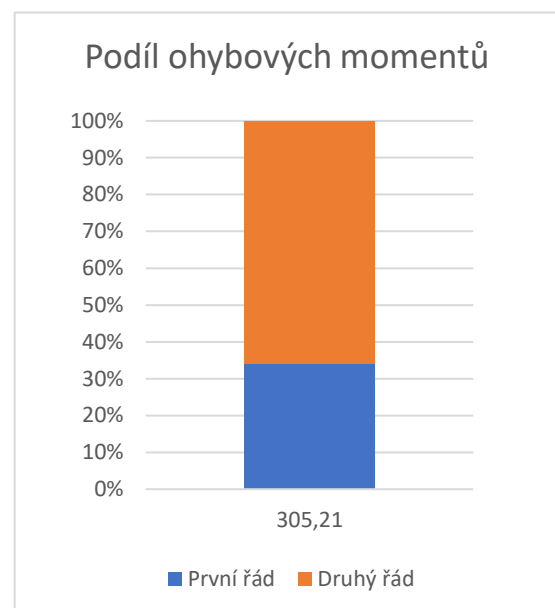
$M_y$ :

Moment druhého řádu:		
$M_2$	201,39	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$e_2$	0,043	m

Excentricita druhého řádu:		
$e_2$	0,043	m
$(1/r)$	0,006	$\text{m}^{-1}$
$l_0$	8218,00	mm
$c$	10	-

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	103,82	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{0Ed} + M_2$	305,21	kNm
$M_{02}$	113,59	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	208,04	kNm
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>305,21</b>	<b>kNm</b>

Podíl ohybových momentů:		
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>305,21</b>	<b>kNm</b>
První řád	103,82	kNm
Druhý řád	201,39	kNm



$M_z$ :

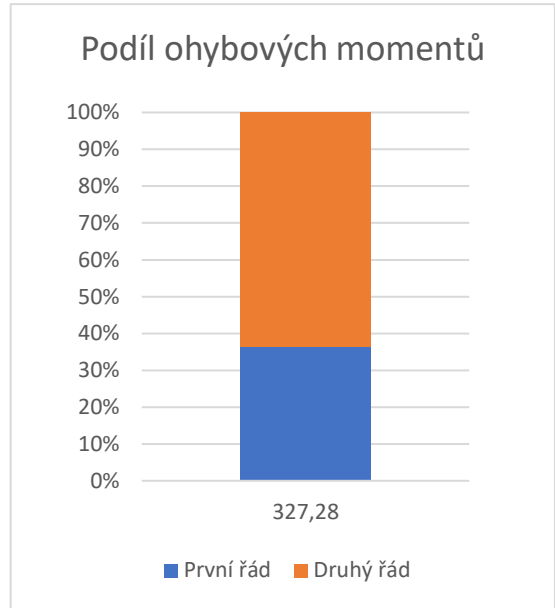
Moment druhého řádu:		
$M_2$	208,35	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$e_2$	0,044	m

Excentricita druhého řádu:		
$e_2$	0,044	m
$(1/r)$	0,007	$\text{m}^{-1}$
$l_0$	8218,00	mm
$c$	10	-



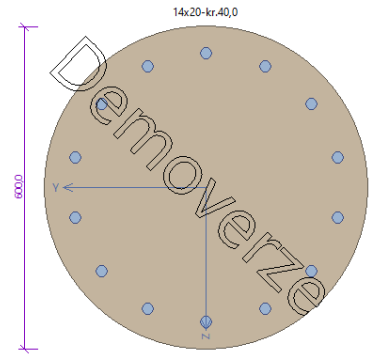
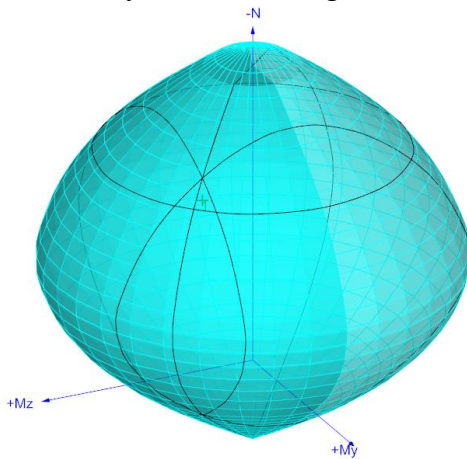
Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	118,93	kNm
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{0Ed} + M_2$	327,28	kNm
$M_{02}$	151,36	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	228,70	kNm
$M_{Ed}$	<b>327,28</b>	<b>kNm</b>

Podíl ohybových momentů:		
$M_{Ed}$	<b>327,28</b>	<b>kNm</b>
První řád	118,93	kNm
Druhý řád	208,35	kNm

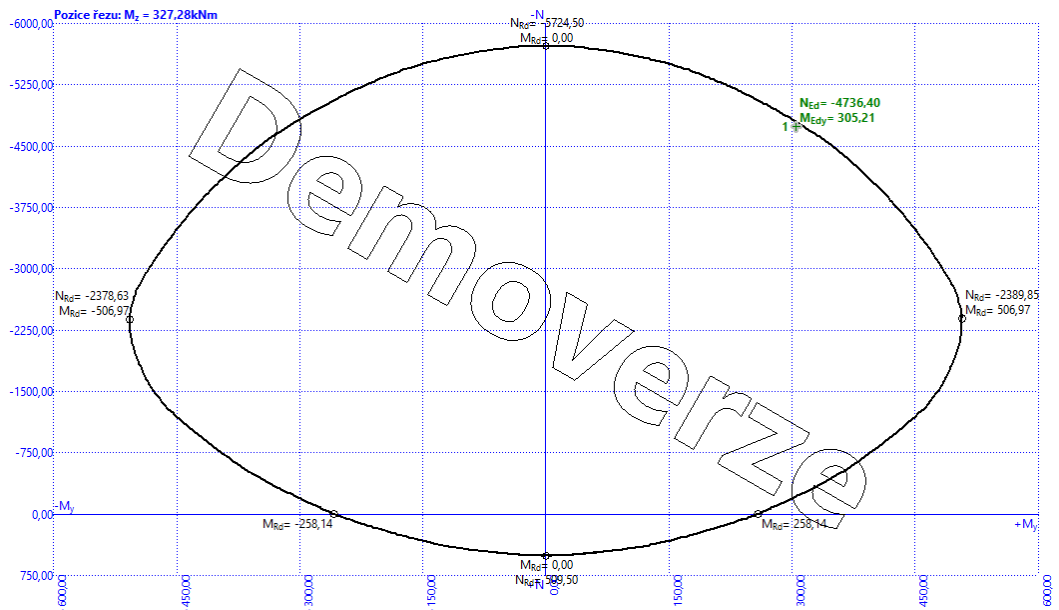


Posouzení:

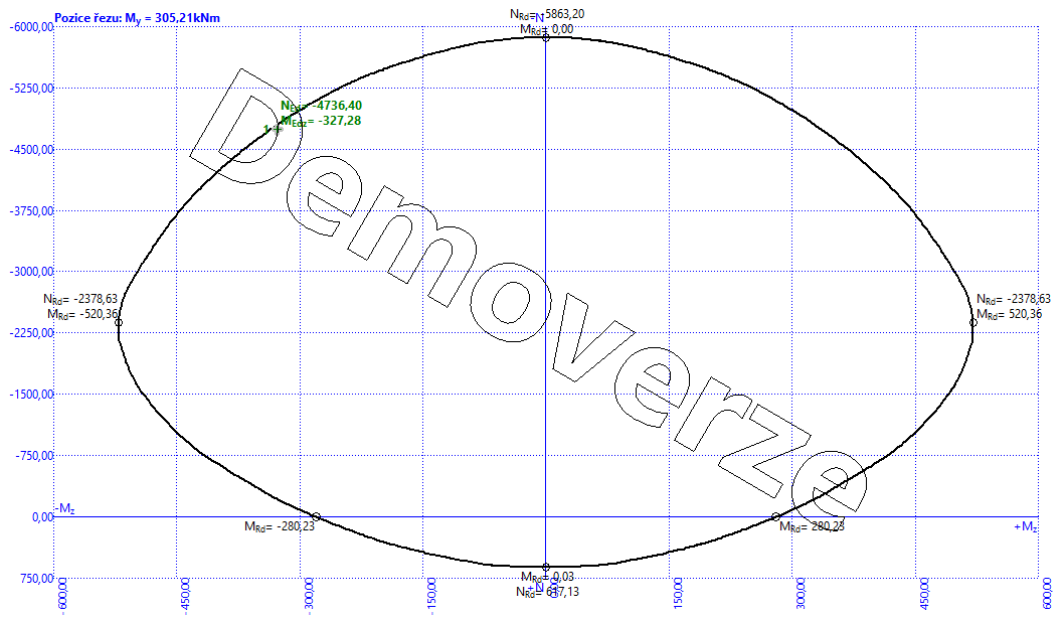
Prostorový interakční diagram:



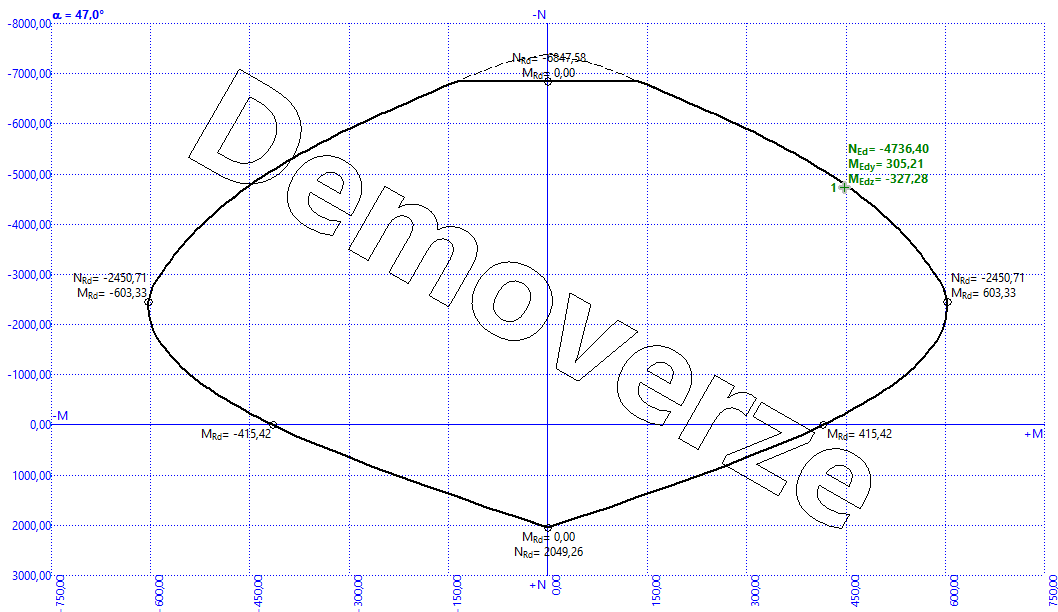
Interakční diagram  $N-M_y$ :



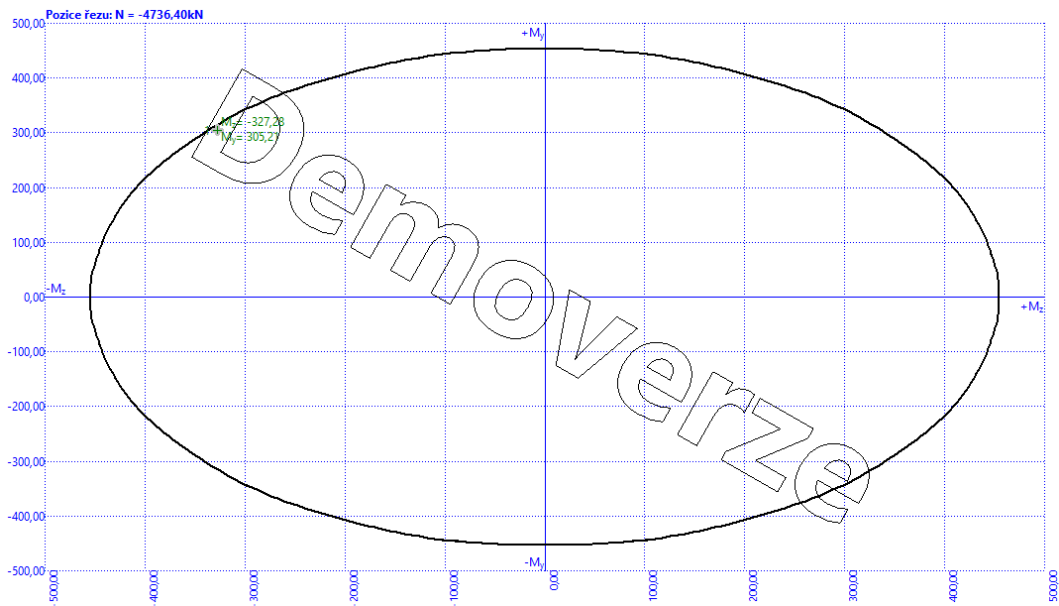
Interakční diagram  $N-M_z$ :



Interakční diagram  $N-M$  (směr hlavního momentu):



Vodorovný řez interakčním diagramem v rovině  $N_{Ed}$ :



**Výstup posouzení z [32]:**

Program FIN EC – Beton pro posouzení využívá bilineární pracovní diagram oceli (se stoupající větví) a pro beton parabolicko-rektangulární diagram.

**MSÚ**

$N = -4736,40 \text{ kN}$ ;  $M_y = 305,21 \text{ kNm}$ ;  $M_z = -327,28 \text{ kNm}$

**Posouzení min. a max. stupně vyztužení**

Sloup (celková výztuž):

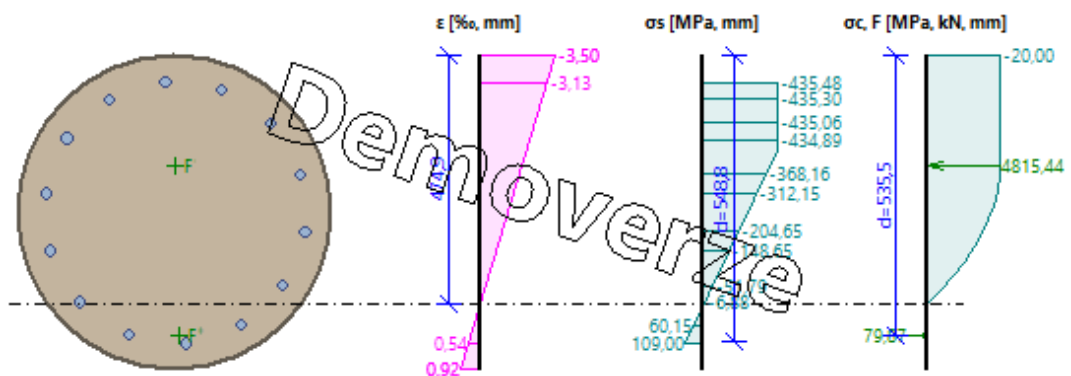
$$\rho_s = A_s / A_c = 4\,398 / 281,10^3 = 0,0156$$

$$\rho_{s,\min} = \max(0,1 \times |N_{Ed}| / (f_{yd} \times A_c); 0,002) = \max(0,1 \times |-4\,736| / (434,8 \times 281,10^3); 0,002) = \max(0,00387; 0,002) = 0,00387$$

$$\rho_s = 0,0156 \geq \rho_{s,\min} = 0,00387 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,0156 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

**Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly**



**Posouzení**

$$N_{Ed} = -4736,40 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -7385,49 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 305,21 \leq M_{Rdy} = 309,62 \text{ kNm}$$

$$M_{Edz} = -327,28 \leq M_{Rdz} = -332,01 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na tlak a ohyb Vyhovuje

Využití: 98,6 %

## 2) Metoda jmenovité tuhosti

- **Parametry průřezu:**

viz P1.24

### Návrhový ohybový moment $M_z$ :

- **Jmenovitá tuhost:**

Pro prvotní odhad potřebné plochy výztuže sloupu je použit při výpočtu jmenovité tuhosti koeficient  $K_s = 0,0$ .

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s,$$

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{cE} = 33,0 / 1,2 = 27,5 \text{ GPa}$$

$$K_c = 0,3 / (1 + \varphi_{ef}) = 0,3 / (1 + 1,52) = 0,119$$

$$EI = 0,119 \cdot 27,5 \cdot 10^3 \cdot 6,36 \cdot 10^9 + 0,0 \cdot 200 \cdot I_s = 2,082 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4$$

- **Ohybový moment prvního řádu:**

Ekvivalentní ohybový moment:

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \geq 0,4M_{02}$$

$$M_{0e} = 0,6 \cdot (-54,05) + 0,4 \cdot 27,22 \geq 0,4 \cdot (-54,05)$$

$$M_{0e} = -21,54 \text{ kNm} < -21,62 \text{ kNm} \rightarrow M_{0e} = -21,62 \text{ kNm}$$

Minimální výstřednost:

$$e_i = \max (l_0/400; b/30; 20 \text{ mm}) = \max (8218/400; 600/30; 20) =$$

$$= \max (20,55; 20; 20) = 20,55 \text{ mm}$$

Výsledný ohybový moment prvního řádu:

$$M_{0Ed} = M_{0e} + N_{Ed} \cdot e_i = 21,62 + 4736,40 \cdot 10^3 \cdot 20,55 = 118,93 \text{ kNm}$$

- **Výsledný návrhový moment:**

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B / N_{Ed}) - 1} \right]$$

$$\beta = \pi^2 / c_0 = \pi^2 / 8 = 1,234$$

$$N_B = \pi^2 \cdot \frac{EI}{l_0^2} = \pi^2 \cdot \frac{2,082 \cdot 10^{13}}{8218^2} = 3042,63 \text{ kN}$$

$$N_B = 3042,63 \text{ kN} < N_{Ed} = 4736,40 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 118,93 \cdot \left[ 1 + \frac{1,234}{(3042,63 / 4736,40) - 1} \right] = -291,36 \text{ kNm}$$

Jelikož z výpočtu vychází, že  $N_B < N_{Ed}$ , pak by u prvku s výše vypočtenou jmenovitou tuhostí došlo dříve ke kolapsu ztrátou stability (vybočení), než by bylo dosaženo únosnosti dosažením meze pevnosti. V důsledku této nerovnosti dochází k otočení znaménka u návrhového momentu s vlivem druhého řádu. Zde je proto přistoupeno k iteračnímu postupu množství výztuže s výchozí hodnotou z původního návrhu pomocí metody jmenovité křivosti, tj.  $12 \times \emptyset 20$ ;  $A_{s,prov} = 3769,9 \text{ mm}^2$ . Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v tabulkách.

Předpokládaná plocha výztuže:  $12 \times \emptyset 20$ ;  $A_{s,prov} = 3769,9 \text{ mm}^2$

<b>Průřez:</b>					
<b>kruhový:</b>			<b>parametry průřezu:</b>		
d	600	mm	$A_s$	3769,9	$\text{mm}^2$
$I_c$	6361725124	$\text{mm}^4$	$A_c$	282743,3	$\text{mm}^2$
$i_c$	150,00	mm			

<b>Jmenovitá tuhost:</b>					
<b>beton:</b>			<b>ocel:</b>		
$K_c$	0,097	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6361725124	$\text{mm}^4$	$I_s$	137554634,4	$\text{mm}^4$
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,700E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>2,751E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>4,451E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

<b>Součinitelé <math>K_s, K_c</math>:</b>					
$\rho$	$\geq 0,002$	-	n	0,838	-
$K_s$	1,0	-	$N_{Ed}$	4736,40	kN
$K_c$	0,097	-	$\lambda$	54,8	-
$k_1$	1,225	-	$l_0$	8218,00	mm
$k_2$	0,200	$\leq 0,2$			

<b>Ekvivalentní moment:</b>		
$M_{0e}$	-21,62	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{01}$	27,22	kNm
$M_{02}$	-54,05	kNm

<b>Minimální výstřednost:</b>		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
$b/30$	20,00	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	118,93	kNm
$N_B$	6504,73	kN
$N_{Ed}$	4736,40	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>511,92</b>	<b>kNm</b>

Návrh výztuže:		
n	0,66	-
$\mu$	0,119	-
d'	500	mm
d'/h	0,83	-
$\rightarrow \omega$	0,34	-
$A_{s,req}$	5630,4	mm <sup>2</sup>

Ověření předpokladu:

$$A_{s,req} = 5630,4 \text{ mm}^2 > A_{s,prov} = 3769,9 \text{ mm}^2$$

Jelikož odhadované množství výztuže je menší než spočtená plocha potřebné, je návrh zpřesněn dalším iteračním krokem.

- Výsledné hodnoty pro ohybový moment  $M_z$  po 2. iteraci:

Předpokládaná plocha výztuže:  $16 \times \emptyset 20$ ;  $A_{s,prov} = 5026,5 \text{ mm}^2$

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,097	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$I_s$	157205296,4	mm <sup>4</sup>
<b><math>K_c E_{cd} I_c</math></b>	<b>1,700E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	<b><math>K_s E_s I_s</math></b>	<b>3,144E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>4,844E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	118,93	kNm
$N_B$	7079,08	kN
$N_{Ed}$	4736,40	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>415,57</b>	<b>kNm</b>

Návrh výztuže:		
n	0,66	-
$\mu$	0,096	-
d'	500	mm
d'/h	0,83	-
$\rightarrow \omega$	0,25	-
$A_{s,req}$	4140	mm <sup>2</sup>

Ověření předpokladu:

$$A_{s,req} = 4140 \text{ mm}^2 < A_{s,prov} = 5026,5 \text{ mm}^2$$

Potřebná plocha výztuže je menší než navržená. Dále je počítáno s  $16 \times \emptyset 20 \text{ mm}$ .

### Návrhový ohybový moment $M_y$ :

- **Výsledné hodnoty pro ohybový moment  $M_y$ :**

Jako předpokládaná plocha výztuže je převzata výsledná plocha z výpočtu pro ohybový moment  $M_z$

Předpokládaná plocha výztuže:  $16 \times \emptyset 20$ ;  $A_{s,prov} = 5026,5 \text{ mm}^2$

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,110	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6361725124	$\text{mm}^4$	$I_s$	157205296,4	$\text{mm}^4$
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,929E+13</b>	<b><math>\text{Nmm}^2</math></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,144E+13</b>	<b><math>\text{Nmm}^2</math></b>
<b>EI</b>	<b>5,073E+13</b>	<b><math>\text{Nmm}^2</math></b>			

Součinitelé $K_s, K_c$ :					
$\rho$	$\geq 0,002$	-	$n$	0,838	-
$K_s$	1,0	-	$N_{Ed}$	4736,40	kN
$K_c$	0,110	-	$\lambda$	54,8	-
$k_1$	1,225	-	$l_0$	8218,00	mm
$k_2$	0,200	$\leq 0,2$			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	6,51	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{01}$	-10,04	kNm
$M_{02}$	16,28	kNm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
$b/30$	20,00	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	103,82	kNm
$N_B$	7413,14	kN
$N_{Ed}$	4736,40	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>330,46</b>	<b>kNm</b>

Návrh výztuže:		
$n$	0,66	-
$\mu$	0,076	-
$d'$	500	mm
$d'/h$	0,83	-
$\rightarrow \omega$	0,15	-
$A_{s,req}$	2484	$\text{mm}^2$

Ověření předpokladu:

$$A_{s,req} = 2484 \text{ mm}^2 < A_{s,prov} = 5026,5 \text{ mm}^2$$

Potřebná plocha výztuže je menší než navržená. Dále je počítáno s  $16 \times \emptyset 20 \text{ mm}$ .

- **Návrh a posouzení ohybové výztuže:**

Obdobně jako u metody jmenovité křivost byly ohybové momenty v jednotlivých směrech stanoveny zvlášť, a proto ve vzájemné interakce navržená výztuž průřezu nevyhovuje. Z tohoto důvodu je množství výztuže zvýšeno a jsou vypočteny k ní příslušné hodnoty ohybových momentů.

Návrh výztuže:

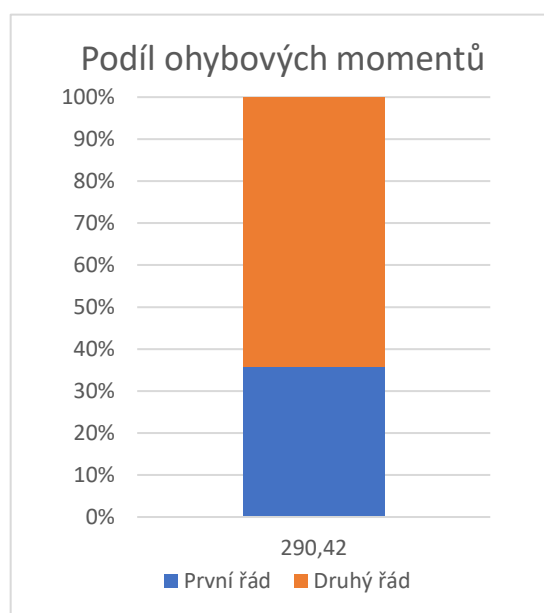
$$18 \times \emptyset 20; A_{s,prov} = 5654,9 \text{ mm}^2$$

$M_y$ :

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,110	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$I_s$	176855958,4	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,929E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>5,466E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	103,82	kNm
$N_B$	7653,42	kN
$N_{Ed}$	4736,40	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>290,42</b>	<b>kNm</b>

Podíl ohybových momentů:		
$M_{Ed}$	<b>290,42</b>	<b>kNm</b>
První řád	103,82	kNm
Druhý řád	186,60	kNm



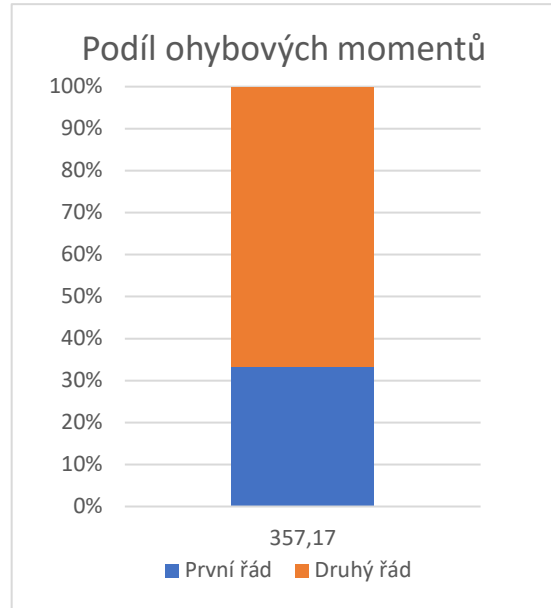
$M_z$ :

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,097	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$I_s$	176855958,4	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,700E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>5,237E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			



Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	118,93	kNm
$N_B$	7653,42	kN
$N_{Ed}$	4736,40	kN
$M_{Ed}$	<b>357,17</b>	<b>kNm</b>

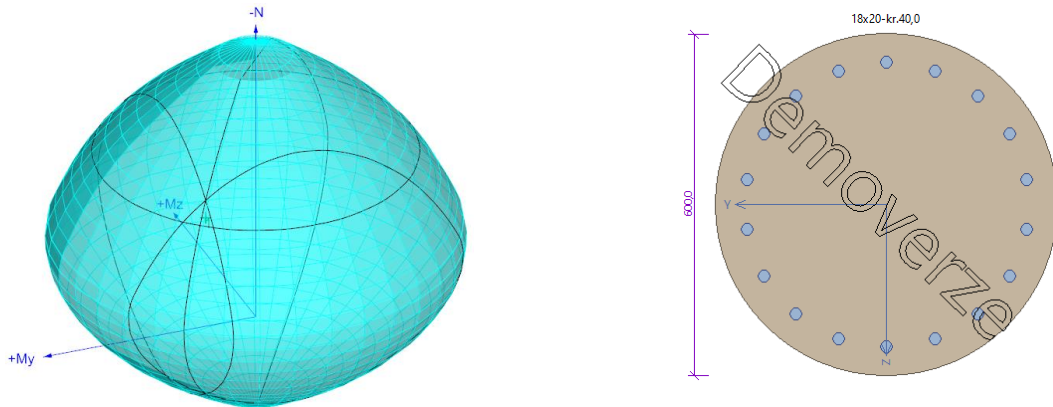
Podíl ohybových momentů:		
$M_{Ed}$	<b>357,17</b>	<b>kNm</b>
První řád	118,93	kNm
Druhý řád	238,24	kNm



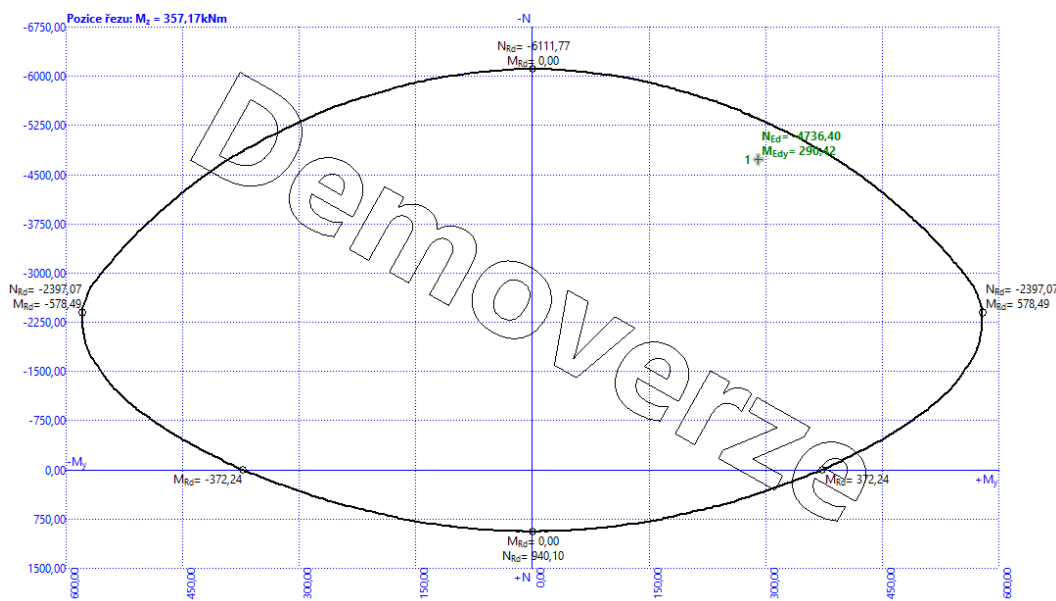
Posouzení:

Pro posouzení je opět použit software FIN EC 2020 – Beton [32].

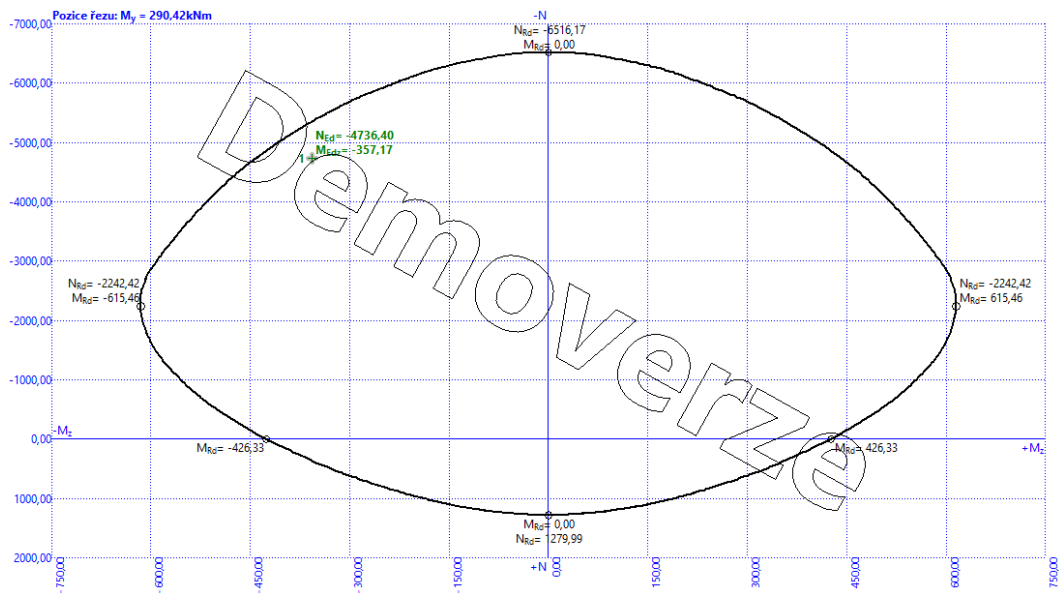
Prostorový interakční diagram:



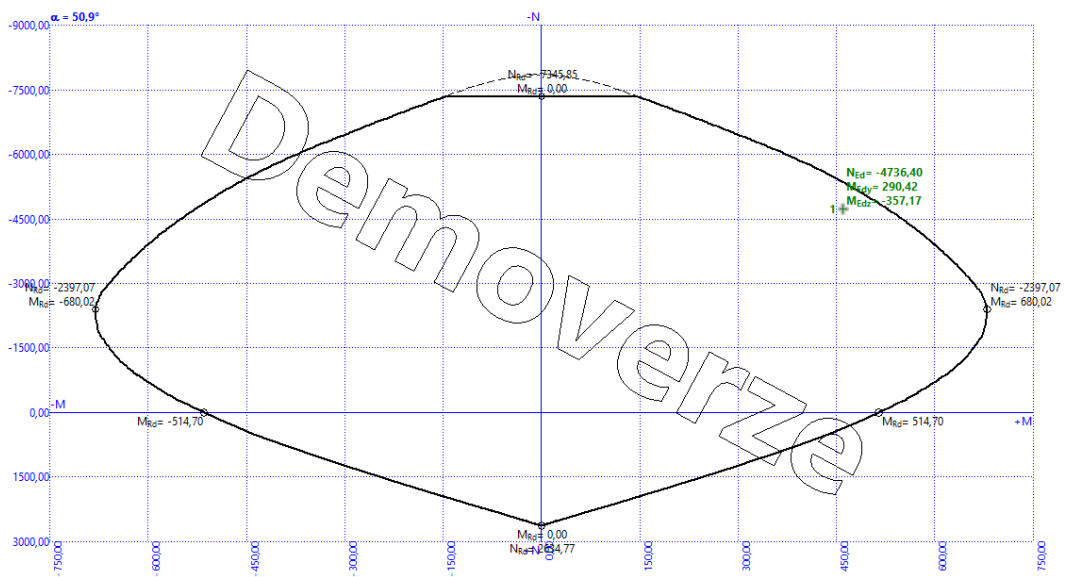
Interakční diagram  $N-M_y$ :



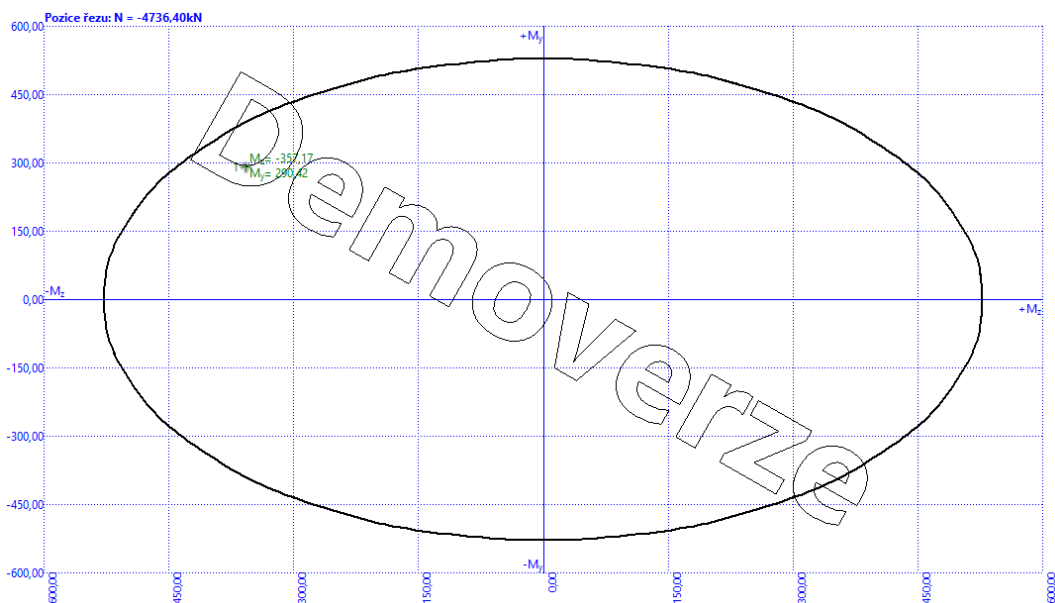
Interakční diagram  $N-M_z$ :



Interakční diagram  $N-M$  (směr hlavního momentu):



Vodorovný řez interakčním diagramem v rovině  $N_{Ed}$ :



**Výstup posouzení z [32]:**

ocel – bilineární pracovní diagram (se stoupající větví)

beton – parabolicko-rektangulární pracovní diagram.

**MSÚ**

$N = -4736,40 \text{ kN}$ ;  $M_y = 290,42 \text{ kNm}$ ;  $M_z = -357,17 \text{ kNm}$

**Posouzení min. a max. stupně vyztužení**

Sloup (celková výztuž):

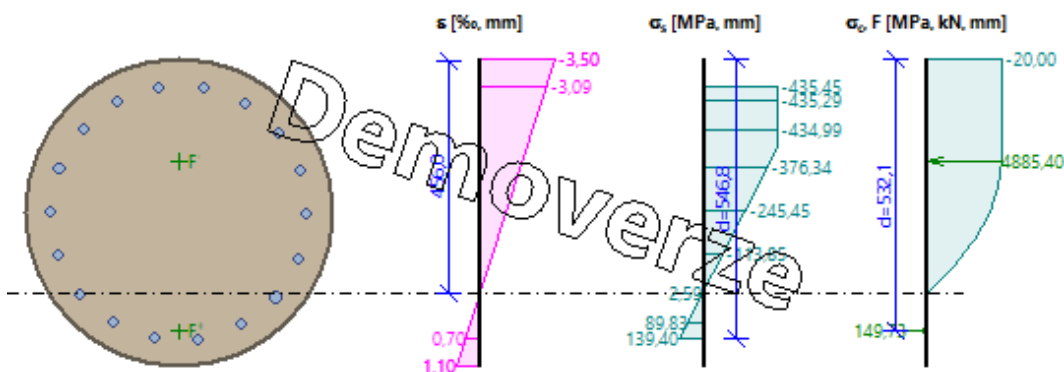
$$\rho_s = A_s / A_c = 5\,655 / 281,10^3 = 0,0201$$

$$\rho_{s,\min} = \max(0,1 \times |N_{Ed}| / (f_{yd} \times A_c); 0,002) = \max(0,1 \times |-4\,736| / (434,8 \times 281,10^3); 0,002) = \max(0,00387; 0,002) = 0,00387$$

$$\rho_s = 0,0201 \geq \rho_{s,\min} = 0,00387 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,0201 \leq \rho_{s,\max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

**Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly**



**Deformace v krajních vláknech průřezu**

$$N_{Ed} = -4736,40 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -7888,15 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 290,42 \leq M_{Rdy} = 332,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Edz} = -357,17 \leq M_{Rdz} = -409,31 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na tlak a ohyb Vyhovuje

Využití: 87,3 %

### 3) Výpočet pomocí softwaru

Řešený sloup je dále posouzen pomocí softwaru FIN EC – Beton [32]. Tento program má v sobě implementovány výpočty pomocí zjednodušených metod jmenovité křivosti i jmenovité tuhosti. Výpočet slouží pro ověření správnosti ručního postupu a ukázání jednotlivých rozdílů mezi výslednými hodnotami.

Při výpočtu jsou zadané shodné parametry průřezu z ručního výpočtu včetně navržené výztuže. Sloup je posouzen jako 3D prvek se zadaným průběhem vnitřních sil shodným s výslednými hodnotami získaných z pružného výpočtu ve SCIA Engineer (str. P1.23).

Dále jsou pro další porovnání stanoveny návrhové hodnoty ohybových momentů včetně vlivu druhého řádu pomocí softwaru SCIA Engineer [32]. V rámci tohoto programu lze pomocí metody jmenovité křivosti tyto hodnoty určit.

#### Společné parametry zjednodušených metod – FIN EC:

Legenda:

- Hodnoty odlišné oproti ručnímu výpočtu
- Výsledné hodnoty

##### Součinitel dotvarování:

$$h_0 = 2 \times A_c / u = 2 \times 281.10^3 / 1\,883 = 298,9 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = (35 / f_{cm})^{0,7} = (35 / 38)^{0,7} = 0,944$$

$$\alpha_2 = (35 / f_{cm})^{0,2} = (35 / 38)^{0,2} = 0,984$$

$$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{h_0})] \times \alpha_1 \times \alpha_2 = [1 + (1 - 50 / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{298,9})] \times 0,944 \times 0,984 = 1,678$$

$$\beta(f_{cm}) = 16,8.10^6 / \sqrt{f_{cm}} = 16,8.10^6 / \sqrt{38} = 2,725$$

$$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,2}) = 1 / (0,1 + 28,00^{0,2}) = 0,488$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0) = 1,678 \times 2,725 \times 0,488 = 2,234$$

$$\alpha_3 = (35 / f_{cm})^{0,5} = (35 / 38)^{0,5} = 0,96$$

$$\beta_H = \min(1,5 \times [1 + (0,012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3; 1\,500 \times \alpha_3) = \min(1,5 \times [1 + (0,012 \times 50)^{18}] \times 298,9 + 250 \times 0,96; 1\,500 \times 0,96) = \min(688,3; 1\,440) = 688,3$$

$$\beta(t/t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3} = [(29\,200 - 28,00) / (688,3 + 29\,200 - 28,00)]^{0,3} = 0,993$$

$$\varphi = \varphi_0 \times \beta(t/t_0) = 2,234 \times 0,993 = \mathbf{2,218}$$

##### Štíhlost kolmo k ose y:

$$i_y = \sqrt{I_{cy} / A_c} = \sqrt{0,0063 / 0,281} = 0,15 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \mathbf{L_{0y}} / i_y = 8,335 / 0,15 = 55,71$$

##### Štíhlost kolmo k ose z:

$$i_z = \sqrt{I_{cz} / A_c} = \sqrt{0,0063 / 0,281} = 0,15 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_{0z} / i_z = 8,335 / 0,15 = 55,71$$

$$n = |N_{Ed}| / (A_c \times f_{cd}) = | -4\,627 | / (0,281 \times 20) = 0,822$$

$$\varphi_{ef} = \varphi \times 1 = 2,218 \times 1 = 2,218$$

$$A = 1 / (1 + 0,2 \times \varphi_{ef}) = 1 / (1 + 0,2 \times 2,218) = 0,693$$

$$\omega = A_s \times f_{yd} / (A_c \times f_{cd}) = 0,00565 \times 434,8 / (0,281 \times 20) = 0,437$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \times \omega} = \sqrt{1 + 2 \times 0,437} = 1,369$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 1 = 0,7$$

$$n \geq 0,41 \quad (0,822 \geq 0,41) \Rightarrow$$

$$\lambda_{lim} = \min(20 \times A \times B \times C / \sqrt{n}; 25) = \min(20 \times 0,693 \times 1,369 \times 0,7 / \sqrt{0,822}; 25) = \min(14,64; 25) = \mathbf{14,64}$$

## Metoda jmenovité křivosti – FIN EC

### Výpočet imperfekce

$$e_i = l_0 / 400 = 8,218 / 400 = 0,0205 \text{ m}$$

$$M_{0Edy} = M_y + e_i \times |N_{Ed}| \times 0,707 = 16,28 + 0,0205 \times |-4\,627| \times 0,707 = 83,49 \text{ kNm}$$

$$M_{0Edz} = M_z + e_i \times |N_{Ed}| \times 0,707 = 54,05 + 0,0205 \times |-4\,627| \times 0,707 = 121,3 \text{ kNm}$$

Směr y:  $\lambda_y > \lambda_{lim} \Rightarrow$  Je proveden podrobný výpočet vzpěru

$$\omega = A_s \times f_{yd} / (A_c \times f_{cd}) = 0,0044 \times 434,8 / (0,281 \times 20) = 0,34$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,34$$

$$n = -N_{Ed} / (A_c \times f_{cd}) = -(-4\,627) / (0,281 \times 20) = 0,822$$

$$K_r = \min((n_u - n) / (n_u - n_{bal}); 1) = \min((1,34 - 0,822) / (1,34 - 0,4); 1) = \min(0,551; 1) = 0,551$$

$$\beta_y = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda_y / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 55,71 / 150 = 0,129$$

$$\varphi_{ef} = \varphi \times 1 = 2,218 \times 1 = 2,218$$

$$K_{\varphi y} = \max(1; 1 + \beta_y \times \varphi_{ef}) = \max(1; 1 + 0,129 \times 2,218) = \max(1; 1,285) = 1,285$$

$$d_y = h / 2 + i_s = 0,6 / 2 + 0,177 = 0,477 \text{ m}$$

$$1/r_0 = \epsilon_{yd} / (0,45 \times d_y) = 0,00217 / (0,45 \times 0,477) = 0,0101 \text{ m}^{-1}$$

$$1/r = K_r \times K_{\varphi y} \times 1/r_0 = 0,551 \times 1,285 \times 0,0101 = 0,00717 \text{ m}^{-1}$$

$$e_{2y} = 1/r \times L_{0y}^2 / c_y = 0,00717 \times 8,3352 / 10 = 0,0498$$

$$M_{2y} = -N_{Ed} \times e_{2y} = -(-4\,627) \times 0,0498 = 230,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Edy} = M_{0Edy} + M_{2y} = 83,49 + 230,5 = 314 \text{ kNm}$$

Směr z:  $\lambda_z > \lambda_{lim} \Rightarrow$  Je proveden podrobný výpočet vzpěru

$$\omega = A_s \times f_{yd} / (A_c \times f_{cd}) = 0,0044 \times 434,8 / (0,281 \times 20) = 0,34$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,34 = 1,34$$

$$n = -N_{Ed} / (A_c \times f_{cd}) = -(-4\,627) / (0,281 \times 20) = 0,822$$

$$K_r = \min((n_u - n) / (n_u - n_{bal}); 1) = \min((1,34 - 0,822) / (1,34 - 0,4); 1) = \min(0,551; 1) = 0,551$$

$$\beta_z = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda_z / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 55,71 / 150 = 0,129$$

$$\varphi_{ef} = \varphi \times 1 = 2,218 \times 1 = 2,218$$

$$K_{\varphi z} = \max(1; 1 + \beta_z \times \varphi_{ef}) = \max(1; 1 + 0,129 \times 2,218) = \max(1; 1,285) = 1,285$$

$$d_z = h / 2 + i_s = 0,6 / 2 + 0,177 = 0,477 \text{ m}$$

$$1/r_0 = \epsilon_{yd} / (0,45 \times d_z) = 0,00217 / (0,45 \times 0,477) = 0,0101 \text{ m}^{-1}$$

$$1/r = K_r \times K_{\varphi z} \times 1/r_0 = 0,551 \times 1,285 \times 0,0101 = 0,00717 \text{ m}^{-1}$$

$$e_{2z} = 1/r \times L_{0z}^2 / c_z = 0,00717 \times 8,3352 / 10 = 0,0498$$

$$M_{2z} = -N_{Ed} \times e_{2z} = -(-4\,627) \times 0,0498 = 230,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Edz} = M_{0Edz} + M_{2z} = 121,3 + 230,5 = 351,8 \text{ kNm}$$

Směr neutrálné osy:  $48,32^\circ$

$$N_{Ed} = -4626,53 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -7134,17 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 16,28 \rightarrow 303,77 > M_{Rdy} = 284,27 \text{ kNm}$$

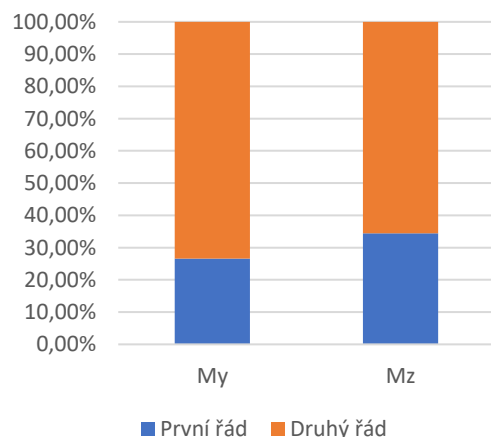
$$M_{Edz} = -54,05 \rightarrow -341,54 > M_{Rdz} = -319,62 \text{ kNm}$$

**Posouzení průřezu na tlak a ohyb Nevyhovuje**

Využití: 106,9 %

Výsledné ohybové momenty:		
[kNm]	$M_y$	$M_z$
$M_{Ed}$	314,00	351,80
První řád	83,49	121,30
Druhý řád	230,50	230,50

Podíl ohybových momentů



## Metoda jmenovité tuhosti – FIN EC

### Výpočet imperfekce

$$e_i = l_0 / 400 = 8,218 / 400 = 0,0205 \text{ m}$$

$$M_{0E_{dy}} = M_y + e_i \times |N_{Ed}| \times 0,288 = 16,28 + 0,0205 \times |-4\,627| \times 0,288 = 43,69 \text{ kNm}$$

$$M_{0E_{dz}} = M_z + e_i \times |N_{Ed}| \times 0,958 = 54,05 + 0,0205 \times |-4\,627| \times 0,958 = 145,1 \text{ kNm}$$

Směr y:  $\lambda_y > \lambda_{lim} \Rightarrow$  Je proveden podrobný výpočet vzpěru

$$\beta = \pi^2 / c_{0y} = 3,142^2 / 8 = 1,234$$

$$k_1 = \sqrt{(f_{ck} / 20)} = \sqrt{(30 / 20)} = 1,225$$

$$n = -N_{Ed} / (A_c \times f_{cd}) = -(-4\,627) / (0,281 \times 20) = 0,822$$

$$k_{2y} = \min(n \times \lambda_y / 170; 0,2) = \min(0,822 \times 55,71 / 170; 0,2) = \min(0,269; 0,2) = 0,2$$

$$\varphi_{ef} = \varphi \times 1 = 2,218 \times 1 = 2,218$$

$$K_{cy} = k_1 \times k_{2y} / (1 + \varphi_{ef}) = 1,225 \times 0,2 / (1 + 2,218) = 0,0761$$

$$EI_y = K_{cy} \times E_{cd} \times I_{cy} + K_s \times E_s \times I_{sy} = 0,0761 \times 27\,500 \times 0,0063 + 1 \times 200 \cdot 10^3 \times 0,000177 = 48,52 \text{ MNm}^2$$

$$N_{By} = \pi^2 \times EI_y / L_{0y}^2 = 3,142^2 \times 48,52 / 8,335^2 = 6\,893 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = M_{0E_{dy}} \times \{1 + \beta / [N_{By} / (-N_{Ed}) - 1]\} = 43,69 \times \{1 + 1,234 / [6\,893 / (-(-4\,627)) - 1]\} = 153,7 \text{ kNm}$$

Směr z:  $\lambda_z > \lambda_{lim} \Rightarrow$  Je proveden podrobný výpočet vzpěru

$$n = -N_{Ed} / (A_c \times f_{cd}) = -(-4\,627) / (0,281 \times 20) = 0,822$$

$$k_{2z} = \min(n \times \lambda_z / 170; 0,2) = \min(0,822 \times 55,71 / 170; 0,2) = \min(0,269; 0,2) = 0,2$$

$$\varphi_{ef} = \varphi \times 1 = 2,218 \times 1 = 2,218$$

$$K_{cz} = k_1 \times k_{2z} / (1 + \varphi_{ef}) = 1,225 \times 0,2 / (1 + 2,218) = 0,0761$$

$$EI_z = K_{cz} \times E_{cd} \times I_{cz} + K_s \times E_s \times I_{sz} = 0,0761 \times 27\,500 \times 0,0063 + 1 \times 200 \cdot 10^3 \times 0,000177 = 48,52 \text{ MNm}^2$$

$$N_{Bz} = \pi^2 \times EI_z / L_{0z}^2 = 3,142^2 \times 48,52 / 8,335^2 = 6\,893 \text{ kN}$$

$$M_{Edz} = M_{0E_{dz}} \times \{1 + \beta / [N_{Bz} / (-N_{Ed}) - 1]\} = 145,1 \times \{1 + 1,234 / [6\,893 / (-(-4\,627)) - 1]\} = 510,4 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -4626,53 \text{ kN} \leq N_{Rd} = -7888,15 \text{ kN}$$

$$M_{Edy} = 16,28 \rightarrow 153,74 \leq M_{Rdy} = 155,32 \text{ kNm}$$

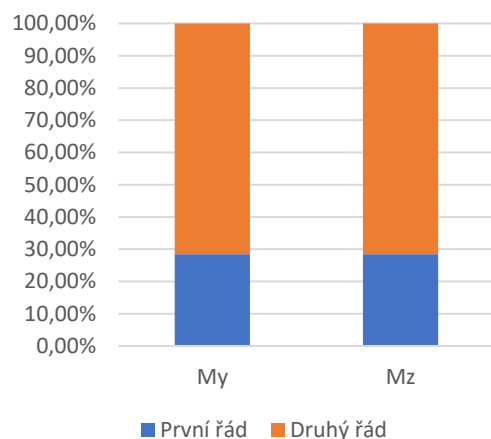
$$M_{Edz} = -54,05 \rightarrow -510,41 \leq M_{Rdz} = -515,67 \text{ kNm}$$

**Posouzení průřezu na tlak a ohyb Vyhovuje**

Využití: 99,0 %

Výsledné ohybové momenty:		
[kNm]	$M_y$	$M_z$
$M_{Ed}$	153,70	510,40
První řád	43,69	145,10
Druhý řád	110,01	365,30

Podíl ohybových momentů



## Metoda jmenovité křivosti – SCIA Engineer

Pro výpočet byl do programu zaveden předpoklad účinné délky prvku  $l_0 = 0,70 l$ .

### Výstup ze softwaru [34]:

Vyvážená osová síla:

$$n_{bal} = 0.4 \text{ (relativní)}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0.339 = 1.34 \text{ (mezní)}$$

Opravný součinitel závislý na osovém zatížení ( $K_r$ ):

$$K_r = \min\left(\frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}, 1\right) = \min\left(\frac{1.34 - 0.733}{1.34 - 0.4}, 1\right) = 0.646$$

Součinitel zohledňující dotvarování ( $K_{\varphi}$ ):

$$\beta_y = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_y}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{54.93}{150} = 0.134$$

$$\beta_z = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_z}{150} = 0.35 + \frac{30}{200} - \frac{54.93}{150} = 0.134$$

$$K_{\varphi y} = \max(1 + \beta_y \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.134 \cdot 2.21; 1) = 1.3$$

$$K_{\varphi z} = \max(1 + \beta_z \cdot \varphi_{ef}, 1) = \max(1 + 0.134 \cdot 2.21; 1) = 1.3$$

Základní křivost ( $\chi_0 = 1/r_0$ ):

$$\chi_{0y} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_z} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.476} = 0.0101$$

$$\chi_{0z} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d_y} = \frac{2.17 \cdot 10^{-3}}{0.45 \cdot 0.476} = 0.0101$$

Křivost s vlivem dotvarování a aplikovaného osového zatížení ( $\chi = 1/r$ ):

$$\chi_y = K_r \cdot K_{\varphi y} \cdot \chi_{0y} = 0.646 \cdot 1.3 \cdot 0.0101 = 8.49 \cdot 10^{-3}$$

$$\chi_z = K_r \cdot K_{\varphi z} \cdot \chi_{0z} = 0.646 \cdot 1.3 \cdot 0.0101 = 8.49 \cdot 10^{-3}$$

$\lambda_y > \lambda_{limy} = 54.93 > 25$  ... účinek 2. řádu

$$e_{2z} = \text{sgn}_z \cdot \left( \frac{\chi_y \cdot l_{0y}^2}{c_y} \right) = 1 \cdot \left( \frac{8.49 \cdot 10^{-3} \cdot 8.22^2}{8} \right) = 0.0716 \text{ m}$$

$\lambda_z > \lambda_{limz} = 54.93 > 25$  ... účinek 2. řádu

$$e_{2y} = \text{sgn}_y \cdot \left( \frac{\chi_z \cdot l_{0z}^2}{c_z} \right) = -1 \cdot \left( \frac{8.49 \cdot 10^{-3} \cdot 8.22^2}{8} \right) = -0.0716 \text{ m}$$

Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

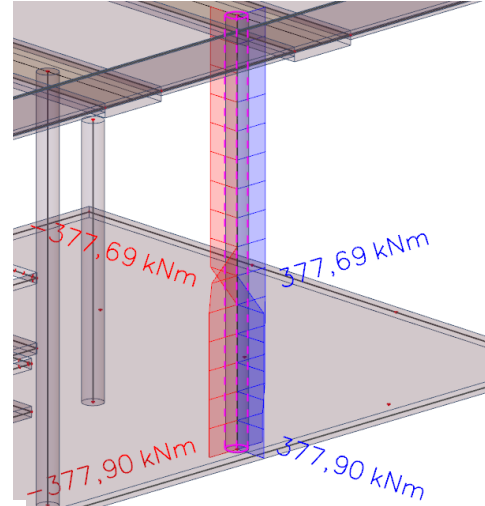
$$M_{0ey} = \text{sgn}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y})) \\ = 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 16.2 + 0.4 \cdot -10), \text{abs}(0.4 \cdot 16.2)) = 6.49 \text{ kNm}$$

$$M_{0ez} = \text{sgn}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z})) \\ = -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -47.2 + 0.4 \cdot 23.8), \text{abs}(0.4 \cdot -47.2)) = -18.9 \text{ kNm}$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sgn}_z = \text{abs}\left(\frac{6.49}{-4123}\right) \cdot 1 = 1.57 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sgn}_y = \text{abs}\left(\frac{-18.9}{-4123}\right) \cdot 1 = 4.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Návrhové ohybové momenty [kNm]:



Ekvivalentní moment 1. řádu a excentricita:

$$M_{0ey} = \text{sgn}_z \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02y} + 0.4 \cdot M_{01y}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02y}))$$

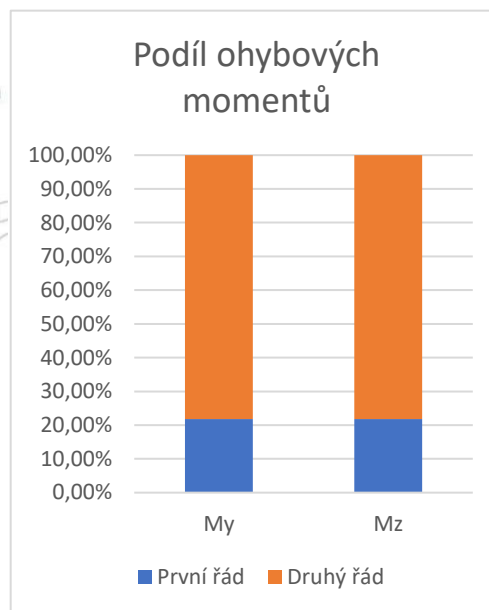
$$= 1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot 16.2 + 0.4 \cdot -10), \text{abs}(0.4 \cdot 16.2)) = 6.49 \text{ kNm}$$

$$M_{0ez} = \text{sgn}_y \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot M_{02z} + 0.4 \cdot M_{01z}), \text{abs}(0.4 \cdot M_{02z}))$$

$$= -1 \cdot \max(\text{abs}(0.6 \cdot -47.2 + 0.4 \cdot 23.8), \text{abs}(0.4 \cdot -47.2)) = -18.9 \text{ kNm}$$

$$e_{0z} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ey}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sgn}_z = \text{abs}\left(\frac{6.49}{-4123}\right) \cdot 1 = 1.57 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$e_{0y} = \text{abs}\left(\frac{M_{0ez}}{N_{Ed}}\right) \cdot \text{sgn}_y = \text{abs}\left(\frac{-18.9}{-4123}\right) \cdot -1 = -4.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$



Výsledné ohybové momenty:		
[kNm]	$M_y$	$M_z$
$M_{Ed}$	377,90	377,90
První řád	82,50	82,50
Druhý řád	295,40	295,40

## Porovnání výsledných hodnot

Výsledné ohybové momenty:

Ohybový moment [kNm]		$M_{Ed}$	První řád	Druhý řád	
Ruční výpočet	Jmenovitá křivost	$M_y$	<b>305,21</b>	103,82	201,39
		$M_z$	<b>327,28</b>	118,93	208,35
	Jmenovitá tuhost	$M_y$	<b>290,42</b>	103,82	186,60
		$M_z$	<b>357,17</b>	118,93	238,24
FIN EC – Beton	Jmenovitá křivost	$M_y$	<b>303,80</b>	83,49	220,31
		$M_z$	<b>341,50</b>	121,30	220,20
	Jmenovitá tuhost	$M_y$	<b>153,70</b>	43,69	110,01
		$M_z$	<b>510,40</b>	145,10	365,30
SCIA Engineer	Jmenovitá křivost	$M_y$	<b>377,90</b>	82,50	295,40
		$M_z$	<b>377,90</b>	82,50	295,40



# Parametrická studie zjednodušených metod

V této části diplomové práce je zpracována studie řešeného sloupu. Pro řešený sloup z předchozí části jsou upravovány tyto parametry:

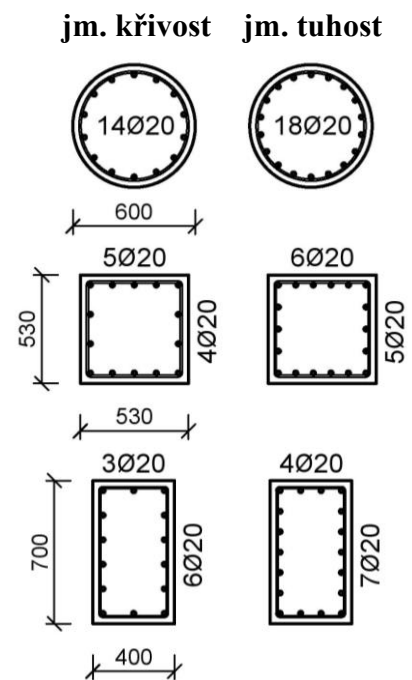
- Tvaru průřezu
- Třída betonu

Pro každou variantu jsou vnitřní síly přepočteny pomocí SCIA Engineer [34].

## Vliv tvaru průřezu

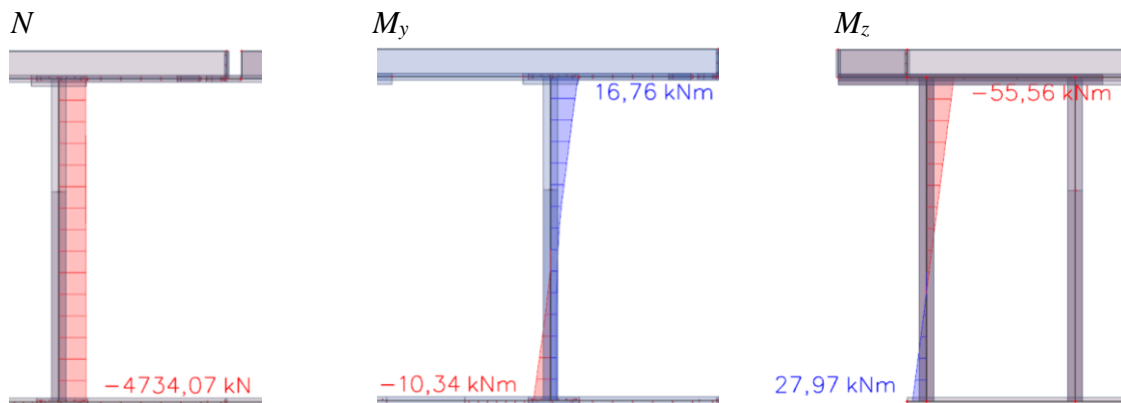
Z hlediska tvaru průřezu jsou vytvořeny tyto varianty:

- Kruhový průřez (původní návrh)
  - $d = 600 \text{ mm}$
  - $A_c = 282743,3 \text{ mm}^2$
- Čtvercový průřez
  - $a = 530 \text{ mm}$
  - $A_c = 280900,0 \text{ mm}^2$
- Obdélníkový průřez
  - $b = 400 \text{ mm}; h = 700 \text{ mm}$
  - $A_c = 280000,0 \text{ mm}^2$

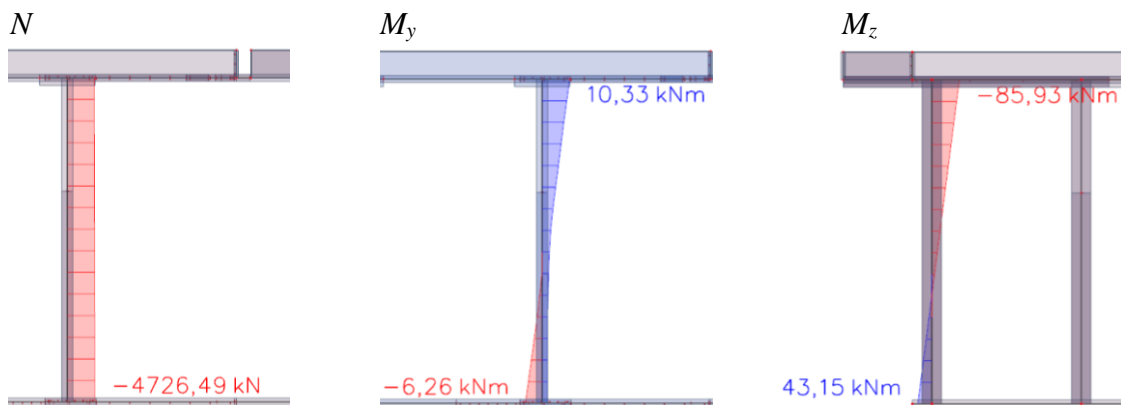


Stanovené vnitřní síly pomocí [34]:

Čtvercový průřez:



Obdélníkový průřez:



**Výsledné hodnoty:**

- **Kruhový průřez:**

Výpočet hodnot ohybových momentů pro kruhový průřez:

**Výsledné ohybové momenty:**

Ohybový moment [kNm]		$M_{Ed}$	První řád	Druhý řád
Jmenovitá křivost	$M_y$	305,21	103,82	201,39
	$M_z$	327,28	118,93	208,35
Jmenovitá tuhost	$M_y$	290,42	103,82	186,60
	$M_z$	357,17	118,93	238,24

- Čtvercový průřez – metoda jmenovité křivosti:

Jmenovitá křivost –  $M_y$ :

Průřez:						Minimální výstřednost:		
čtvercový:			parametry průřezu:			$e_i$		
b	530	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
h	530	mm	$A_c$	280900,0	mm <sup>2</sup>	b/30	17,67	mm
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$e_{min}$	20,00	mm

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
(1/r)	6,86E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,046	m	$M_{0e}$	6,70	kNm
1/r <sub>0</sub>	1,10E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	c	10	-	$N_{Ed}$	4734,07	kN
d	437,5	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	-10,34	kNm
			$M_2$	219,30	kNm	$M_{02}$	16,76	kNm

Výsledný návrhový moment		
$M_{0Ed}$	103,97	kNm
$N_{Ed}$	4734,07	kN
$M_{0Ed} + M_2$	323,26	kNm
$M_{02}$	114,02	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	217,25	kNm
$M_{Ed}$	<b>323,26</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá křivost –  $M_z$ :

Průřez:						Minimální výstřednost:		
čtvercový:			parametry průřezu:			$e_i$		
b	530	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
h	530	mm	$A_c$	280900,0	mm <sup>2</sup>	b/30	17,67	mm
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$e_{min}$	20,00	mm

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
(1/r)	6,90E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,047	m	$M_{0e}$	-22,22	kNm
1/r <sub>0</sub>	1,07E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	c	10	-	$N_{Ed}$	4734,07	kN
d	450,8	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	27,97	kNm
			$M_2$	220,51	kNm	$M_{02}$	-55,56	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	119,49	kNm
$N_{Ed}$	4734,07	kN
$M_{0Ed} + M_2$	339,99	kNm
$M_{02}$	152,82	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	235,48	kNm
$M_{Ed}$	<b>339,99</b>	<b>kNm</b>

- Čtvercový průřez – metoda jmenovité tuhosti:

Jmenovitá tuhost –  $M_y$ :

Průřez:					
čtvercový:			parametry průřezu:		
b	530	mm	$A_s$	5654,9	mm <sup>2</sup>
h	530	mm	$A_c$	280900,0	mm <sup>2</sup>
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	$i_c$	153,00	mm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
b/30	17,67	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,110	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	$I_s$	168596711,3	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,993E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,372E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>5,365E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	6,70	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4734,07	kN
$M_{01}$	-10,34	kNm
$M_{02}$	16,76	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	103,97	kNm
$N_B$	7839,86	kN
$N_{Ed}$	4734,07	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>299,47</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá tuhost –  $M_z$ :

Průřez:					
čtvercový:			parametry průřezu:		
b	530	mm	$A_s$	5654,9	mm <sup>2</sup>
h	530	mm	$A_c$	280900,0	mm <sup>2</sup>
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	$i_c$	153,00	mm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
b/30	17,67	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,097	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	6575400833	mm <sup>4</sup>	$I_s$	188927528,2	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,757E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,779E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>5,535E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	-22,22	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4734,07	kN
$M_{01}$	27,97	kNm
$M_{02}$	-55,56	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	119,49	kNm
$N_B$	8089,21	kN
$N_{Ed}$	4734,07	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>327,48</b>	<b>kNm</b>

- **Obdélníkový průřez – metoda jmenovité křivosti:**

Jmenovitá křivost –  $M_y$ :

<b>Průřez:</b>						<b>Minimální výstřednost:</b>		
obdélníkový:			parametry průřezu:			$e_i$		
b	700	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
h	400	mm	$A_c$	280000,0	mm <sup>2</sup>	b/30	23,33	mm
$I_c$	3733333333	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$e_{min}$	20,00	mm

<b>Křivost:</b>			<b>Excentricita druhého řádu:</b>			<b>Ekvivalentní moment:</b>		
(1/r)	7,77E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,052	m	$M_{0e}$	4,13	kNm
1/r <sub>0</sub>	1,43E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,023	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	c	10	-	$N_{Ed}$	4726,49	kN
d	339,0	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	-6,26	kNm
			$M_2$	247,91	kNm	$M_{02}$	10,33	kNm

<b>Výsledný návrhový moment:</b>		
$M_{0Ed}$	114,42	kNm
$N_{Ed}$	4726,49	kN
$M_{0Ed} + M_2$	362,33	kNm
$M_{02}$	120,61	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	240,50	kNm
$M_{Ed}$	362,33	kNm

Jmenovitá křivost –  $M_z$ :

<b>Průřez:</b>						<b>Minimální výstřednost:</b>		
obdélníkový:			parametry průřezu:			$e_i$		
b	400	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
h	700	mm	$A_c$	280000,0	mm <sup>2</sup>	b/30	13,33	mm
$I_c$	11433333333	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$e_{min}$	20,00	mm

<b>Křivost:</b>			<b>Excentricita druhého řádu:</b>			<b>Ekvivalentní moment:</b>		
(1/r)	6,06E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,041	m	$M_{0e}$	-33,58	kNm
1/r <sub>0</sub>	8,46E-03	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	c	10	-	$N_{Ed}$	4726,49	kN
d	571,1	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	43,15	kNm
			$M_2$	193,50	kNm	$M_{02}$	-83,95	kNm

<b>Výsledný návrhový moment:</b>		
$M_{0Ed}$	130,69	kNm
$N_{Ed}$	4726,49	kN
$M_{0Ed} + M_2$	324,18	kNm
$M_{02}$	181,06	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	237,00	kNm
$M_{Ed}$	324,18	kNm

- **Obdélníkový průřez – metoda jmenovité tuhosti:**

Jmenovitá tuhost –  $M_y$ :

Průřez:					
obdélníkový:			parametry průřezu:		
b	700	mm	$A_s$	5654,9	mm <sup>2</sup>
h	400	mm	$A_c$	280000,0	mm <sup>2</sup>
$I_c$	3733333333	mm <sup>4</sup>	$i_c$	115,47	mm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,023	mm
$l_0/400$	20,55	mm
b/30	23,33	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,110	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	3733333333	mm <sup>4</sup>	$I_s$	102243132,9	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,129E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>2,045E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>3,174E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	4,13	kNm
$e_i$	0,023	m
$N_{Ed}$	4726,49	kN
$M_{01}$	-6,26	kNm
$M_{02}$	10,33	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	114,42	kNm
$N_B$	4638,75	kN
$N_{Ed}$	4726,49	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>-7489,38</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá tuhost –  $M_z$ :

Průřez:					
obdélníkový:			parametry průřezu:		
b	400	mm	$A_s$	5654,9	mm <sup>2</sup>
h	700	mm	$A_c$	280000,0	mm <sup>2</sup>
$I_c$	11433333333	mm <sup>4</sup>	$i_c$	202,07	mm

Minimální výstřednost:		
$e_i$	0,021	mm
$l_0/400$	20,55	mm
b/30	13,33	mm
$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá tuhost:					
beton:			ocel:		
$K_c$	0,096	-	$K_s$	1,0	-
$E_{cd}$	27,5	GPa	$E_s$	200,0	GPa
$I_c$	11433333333	mm <sup>4</sup>	$I_s$	289167895,8	mm <sup>4</sup>
$K_c E_{cd} I_c$	<b>3,013E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>5,783E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>
<b>EI</b>	<b>8,796E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>			

Ekvivalentní moment:		
$M_{0e}$	<b>-33,58</b>	kNm
$e_i$	0,021	m
$N_{Ed}$	4726,49	kN
$M_{01}$	43,15	kNm
$M_{02}$	-83,95	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	130,69	kNm
$N_B$	12854,41	kN
$N_{Ed}$	4726,49	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>224,44</b>	<b>kNm</b>

## Vliv třídy betonu

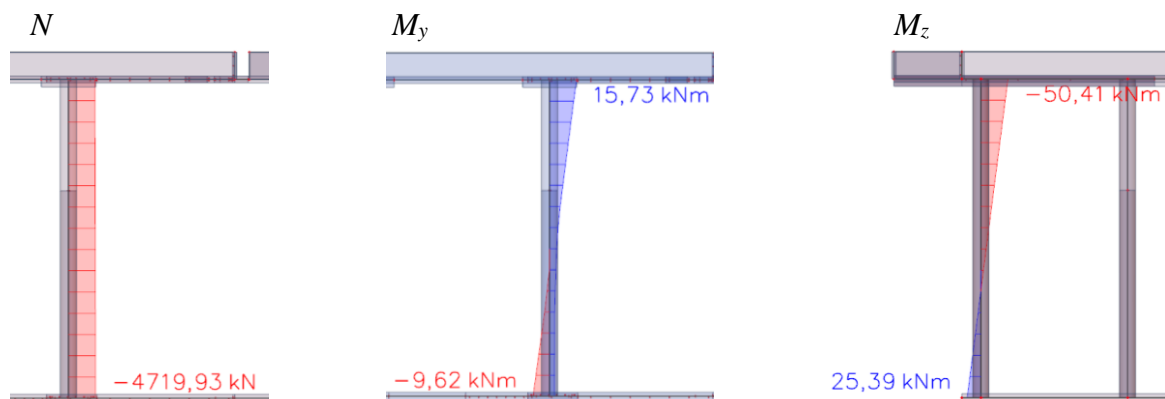
Z hlediska třídy použitého jsou vytvořeny tyto varianty:

- C 20/25
- C 30/37 (původní návrh)
- C 50/60

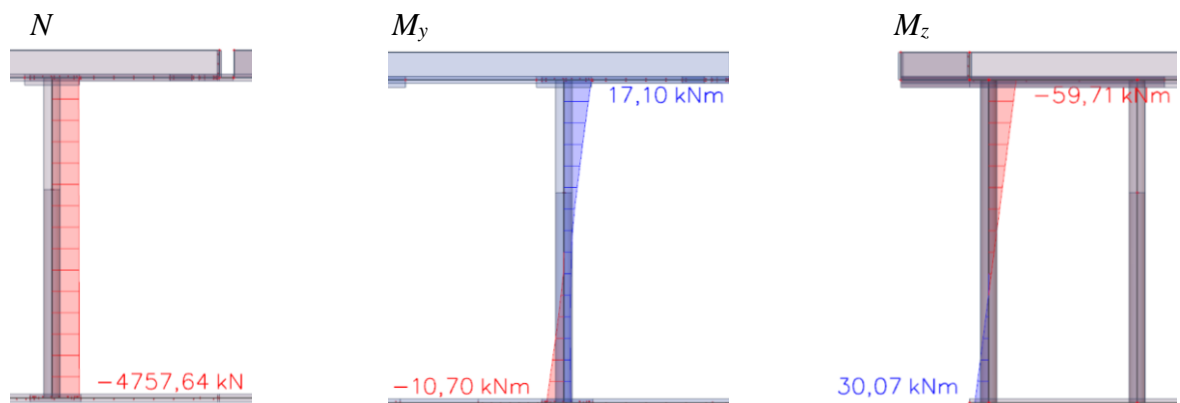
třída betonu	$f_{ck}$	$f_{cd}$	$E_{cm}$
	[MPa]	[MPa]	[GPa]
C 20/25	20,0	13,3	30,0
C 30/37	30,0	20,0	33,0
C 50/60	50,0	33,3	37,0

Stanovené vnitřní síly pomocí [34]:

C 20/25:



C 50/60:



- **C 20/25 – metoda jmenovité křivosti:**

Společné parametry průřezu:

Průřez:						Minimální výstřednost:		
kruhový:			parametry průřezu:					
$d_c$	600	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$e_i$	0,021	mm
$h_c$	11740	mm	$A_c$	282743,3	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$b/30$	20,00	mm
						$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá křivost –  $M_y$ :

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
$(1/r)$	2,62E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,018	m	$M_{0e}$	6,29	kNm
$1/r_0$	1,01E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	$c$	10	-	$N_{Ed}$	4719,93	kN
$d$	476,8	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	-9,62	kNm
			$M_2$	83,50	kNm	$M_{02}$	15,73	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	103,26	kNm
$N_{Ed}$	4719,93	kN
$M_{0Ed} + M_2$	186,76	kNm
$M_{02}$	112,70	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	148,34	kNm
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>186,76</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá křivost –  $M_z$ :

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
$(1/r)$	2,69E-03	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,018	m	$M_{0e}$	-20,16	kNm
$1/r_0$	1,01E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	$c$	10	-	$N_{Ed}$	4719,93	kN
$d$	476,8	mm	<b>Moment druhého řádu:</b>			$M_{01}$	25,39	kNm
			$M_2$	85,71	kNm	$M_{02}$	-50,41	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	117,13	kNm
$N_{Ed}$	4719,93	kN
$M_{0Ed} + M_2$	202,84	kNm
$M_{02}$	147,38	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	165,22	kNm
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>202,84</b>	<b>kNm</b>



- C 20/25 – metoda jmenovité tuhosti:

Společné parametry průřezu:

Průřez:						Minimální výstřednost:		
kruhový:			parametry průřezu:					
d	600	mm	$A_s$	5654,9	mm <sup>2</sup>	$e_i$	0,021	mm
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$A_c$	282743,3	mm <sup>2</sup>	$I_0/400$	20,55	mm
$i_c$	150,00	mm				b/30	20,00	mm
						$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá tuhost –  $M_y$ :

Jmenovitá tuhost:						Ekvivalentní moment:		
beton:			ocel:					
$K_c$	0,082	-	$K_s$	1,0	-	$M_{0e}$	6,29	kNm
$E_{cd}$	25,0	GPa	$E_s$	200,0	GPa	$e_i$	0,021	m
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$I_s$	176855958,4	mm <sup>4</sup>	$N_{Ed}$	4719,93	kN
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,307E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$M_{01}$	-9,62	kNm
<b>EI</b>	<b>4,844E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>				$M_{02}$	15,73	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	103,26	kNm
$N_B$	7078,49	kN
$N_{Ed}$	4719,93	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>358,21</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá tuhost –  $M_z$ :

Jmenovitá tuhost:						Ekvivalentní moment:		
beton:			ocel:					
$K_c$	0,072	-	$K_s$	1,0	-	$M_{0e}$	-20,16	kNm
$E_{cd}$	25,0	GPa	$E_s$	200,0	GPa	$e_i$	0,021	m
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	$I_s$	176855958,4	mm <sup>4</sup>	$N_{Ed}$	4719,93	kN
$K_c E_{cd} I_c$	<b>1,142E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$K_s E_s I_s$	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	$M_{01}$	25,39	kNm
<b>EI</b>	<b>4,679E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>				$M_{02}$	-50,41	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$\beta$	1,234	-
$c_0$	8	-
$M_{0Ed}$	117,13	kNm
$N_B$	6838,04	kN
$N_{Ed}$	4719,93	kN
<b><math>M_{Ed}</math></b>	<b>439,16</b>	<b>kNm</b>

- **C 50/60 – metoda jmenovité křivosti:**

Společné parametry průřezu:

Průřez:						Minimální výstřednost:		
kruhový:			parametry průřezu:					
$d_c$	600	mm	$A_s$	4398,2	mm <sup>2</sup>	$e_i$	0,021	mm
$h_c$	11740	mm	$A_c$	282743,3	mm <sup>2</sup>	$l_0/400$	20,55	mm
$I_c$	6361725124	mm <sup>4</sup>	předpoklad $A_s/A_c$	0,016	-	$b/30$	20,00	mm
						$e_{min}$	20,00	mm

Jmenovitá křivost –  $M_y$ :

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
$(1/r)$	1,05E-02	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,071	m	$M_{0e}$	6,84	kNm
$1/r_0$	1,01E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	$c$	10	-	$N_{Ed}$	4757,64	kN
$d$	476,8	mm	Moment druhého řádu:			$M_{01}$	-10,70	kNm
			$M_2$	335,98	kNm	$M_{02}$	17,10	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	104,59	kNm
$N_{Ed}$	4757,64	kN
$M_{0Ed} + M_2$	440,57	kNm
$M_{02}$	114,85	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	276,44	kNm
$M_{Ed}$	<b>440,57</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá křivost –  $M_z$ :

Křivost:			Excentricita druhého řádu:			Ekvivalentní moment:		
$(1/r)$	1,09E-02	m <sup>-1</sup>	$e_2$	0,073	m	$M_{0e}$	-23,88	kNm
$1/r_0$	1,01E-02	m <sup>-1</sup>	$l_0$	8218,00	mm	$e_i$	0,021	m
$\epsilon_{yd}$	0,002174	-	$c$	10	-	$N_{Ed}$	4757,64	kN
$d$	476,8	mm	Moment druhého řádu:			$M_{01}$	30,07	kNm
			$M_2$	348,93	kNm	$M_{02}$	-59,71	kNm

Výsledný návrhový moment:		
$M_{0Ed}$	121,63	kNm
$N_{Ed}$	4757,64	kN
$M_{0Ed} + M_2$	470,56	kNm
$M_{02}$	157,46	kNm
$M_{01} + 0,5M_2$	302,28	kNm
$M_{Ed}$	<b>470,56</b>	<b>kNm</b>

- **C 50/60 – metoda jmenovité tuhosti:**

Společné parametry průřezu:

Průřez:						Minimální výstřednost:		
kruhový:			parametry průřezu:					
d	600	mm	A <sub>s</sub>	5654,9	mm <sup>2</sup>	e <sub>i</sub>	0,021	mm
I <sub>c</sub>	6361725124	mm <sup>4</sup>	A <sub>c</sub>	282743,3	mm <sup>2</sup>	I <sub>0</sub> /400	20,55	mm
i <sub>c</sub>	150,00	mm				b/30	20,00	mm
						e <sub>min</sub>	20,00	mm

Jmenovitá tuhost –  $M_y$ :

Jmenovitá tuhost:						Ekvivalentní moment:		
beton:			ocel:					
K <sub>c</sub>	0,143	-	K <sub>s</sub>	1,0	-	M <sub>0e</sub>	6,84	kNm
E <sub>cd</sub>	30,8	GPa	E <sub>s</sub>	200,0	GPa	e <sub>i</sub>	0,021	m
I <sub>c</sub>	6361725124	mm <sup>4</sup>	I <sub>s</sub>	176855958,4	mm <sup>4</sup>	N <sub>Ed</sub>	4757,64	kN
<b>K<sub>c</sub>E<sub>cd</sub>I<sub>c</sub></b>	<b>2,808E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	<b>K<sub>s</sub>E<sub>s</sub>I<sub>s</sub></b>	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	M <sub>01</sub>	-10,07	kNm
<b>EI</b>	<b>6,345E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>				M <sub>02</sub>	17,10	kNm

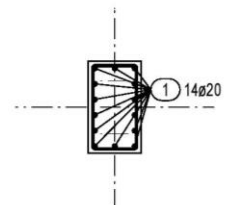
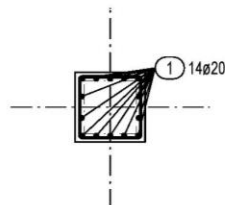
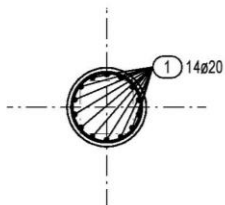
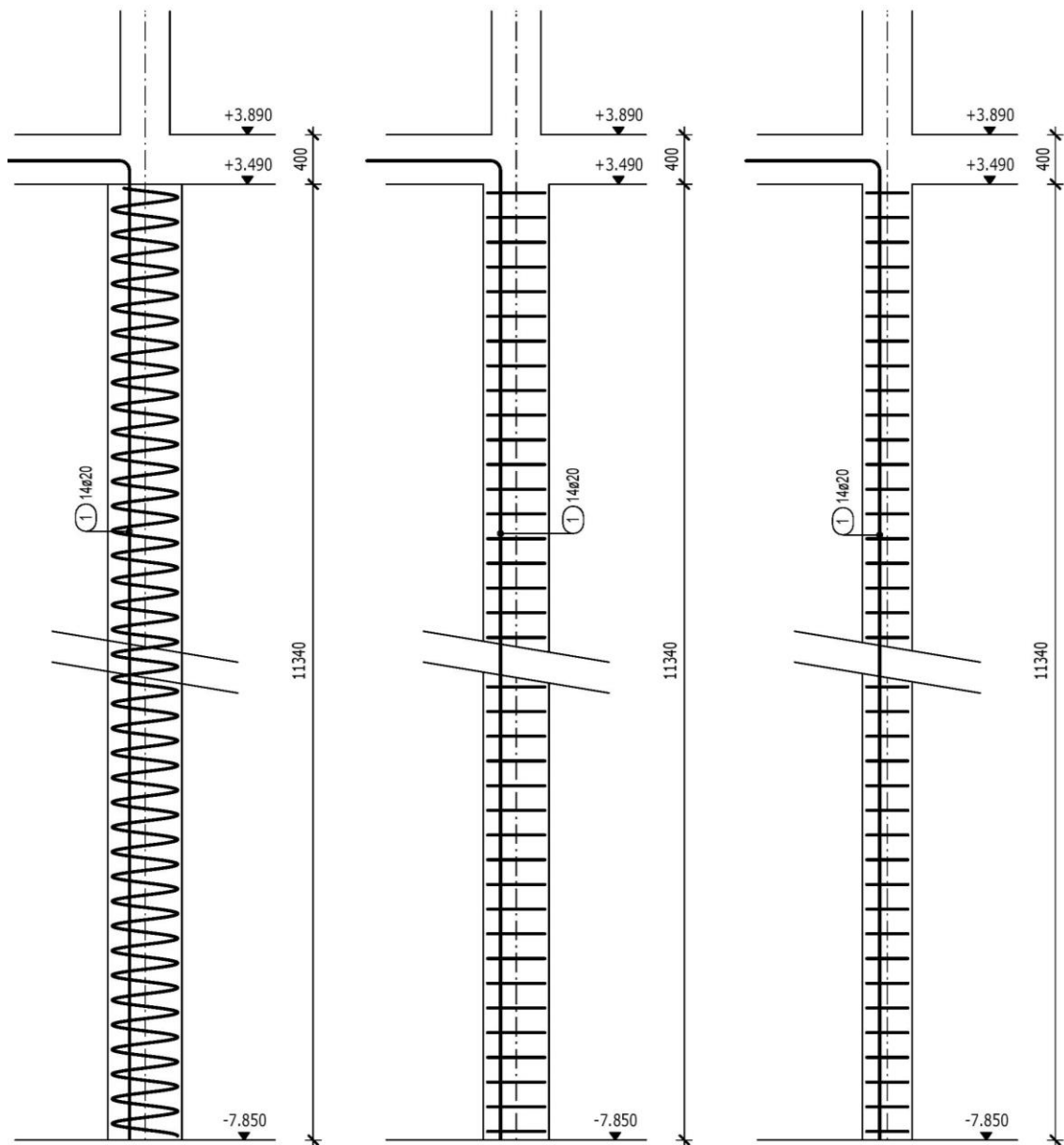
Výsledný návrhový moment:		
β	1,234	-
c <sub>0</sub>	8	-
M <sub>0Ed</sub>	104,59	kNm
N <sub>B</sub>	9272,43	kN
N <sub>Ed</sub>	4757,64	kN
<b>M<sub>Ed</sub></b>	<b>240,55</b>	<b>kNm</b>

Jmenovitá tuhost –  $M_z$ :

Jmenovitá tuhost:						Ekvivalentní moment:		
beton:			ocel:					
K <sub>c</sub>	0,129	-	K <sub>s</sub>	1,0	-	M <sub>0e</sub>	-23,88	kNm
E <sub>cd</sub>	30,8	GPa	E <sub>s</sub>	200,0	GPa	e <sub>i</sub>	0,021	m
I <sub>c</sub>	6361725124	mm <sup>4</sup>	I <sub>s</sub>	176855958,4	mm <sup>4</sup>	N <sub>Ed</sub>	4757,64	kN
<b>K<sub>c</sub>E<sub>cd</sub>I<sub>c</sub></b>	<b>2,533E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	<b>K<sub>s</sub>E<sub>s</sub>I<sub>s</sub></b>	<b>3,537E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>	M <sub>01</sub>	30,07	kNm
<b>EI</b>	<b>6,070E+13</b>	<b>Nmm<sup>2</sup></b>				M <sub>02</sub>	-59,71	kNm

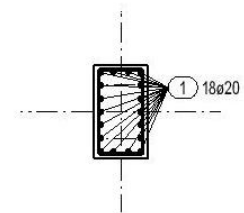
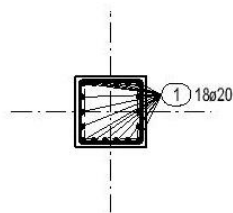
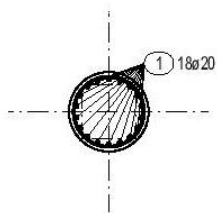
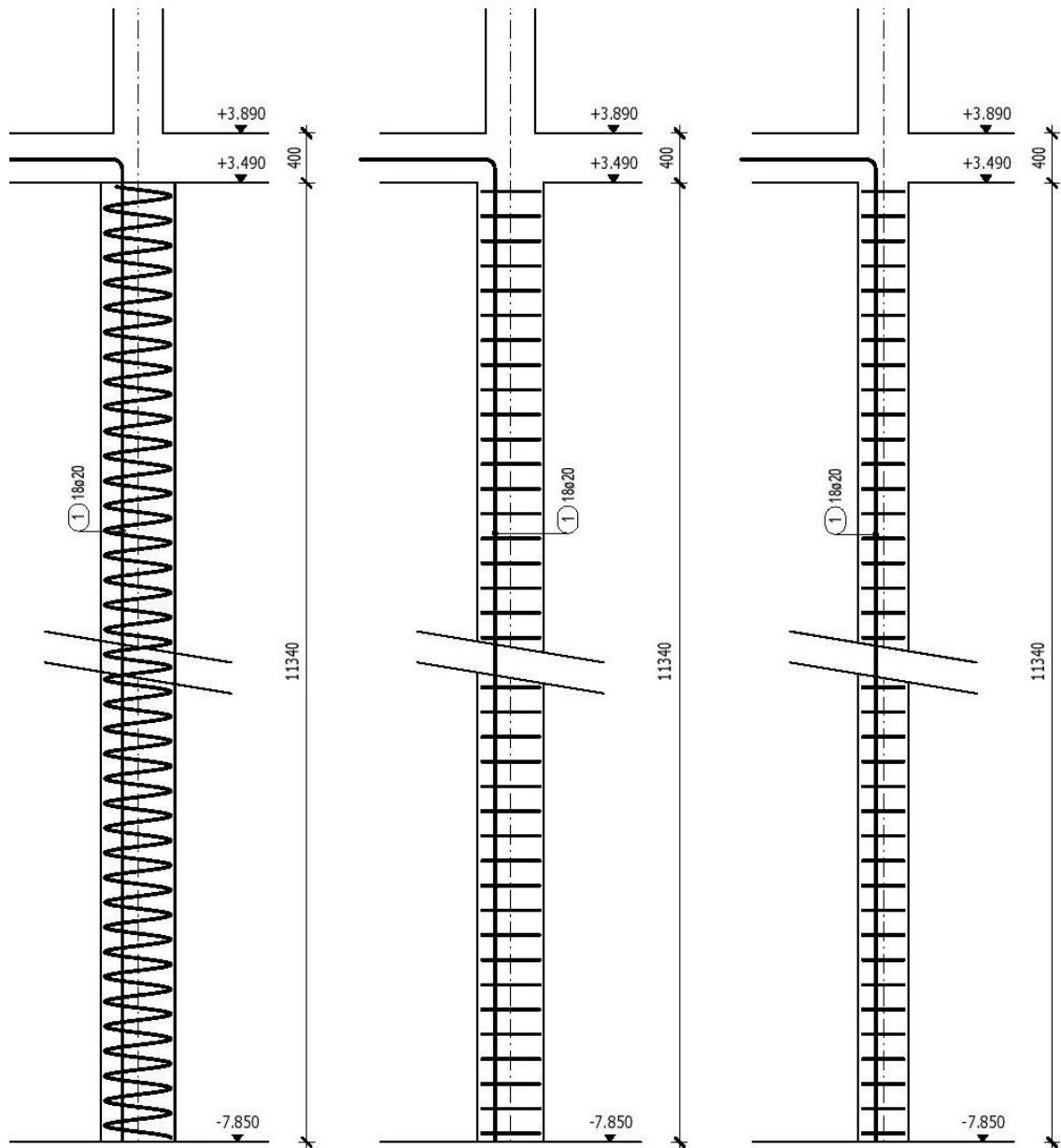
Výsledný návrhový moment:		
β	1,234	-
c <sub>0</sub>	8	-
M <sub>0Ed</sub>	121,63	kNm
N <sub>B</sub>	8870,99	kN
N <sub>Ed</sub>	4757,64	kN
<b>M<sub>Ed</sub></b>	<b>295,19</b>	<b>kNm</b>

**Schéma vyztužení sloupu – metoda jmenovité křivosti:**



POZN.:  
TRNY PRO SLOUP VYŠŠÍHO PODLAŽÍ  
JSOU SOUČÁSTÍ VÝZTUŽE DESKY

**Schéma vyztužení sloupu – metoda jmenovité tuhosti:**



POZN.:  
TRNY PRO SLOUP VYŠŠÍHO PODLAŽÍ  
JSOU SOUČÁSTÍ VÝZTUŽE DESKY