



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nosné konstrukce objektu Hotelu Miura

Statický výpočet

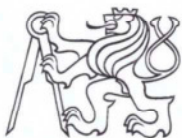
Bc. Kristýna Macháčová

Program: Stavební inženýrství

Obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí diplomové práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. MACHÁČOVÁ Jméno: Kristýna Osobní číslo: 410058
Zadávací katedra: betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh nosné konstrukce objektu hotelu MIURA

Název diplomové práce anglicky: Structural Design of hotel MIURA

Pokyny pro vypracování:

Předběžný návrh nosných prvků objektu.

Podrobný návrh vybraných prvků.

Technická zpráva ke statické části.

Výkresy tvaru, výkresy výztuže vybraných prvků.

Obsah dílčích částí zadání - viz specifikace zadání.

Seznam doporučené literatury:

doporučená literatura pro studenty bakalářského a magisterského studia
dostupné podklady k realizovanému objektu

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

2.10.2017
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením Ing. Hany Hanzlové, CSc., a že jsem uvedla veškerou literaturu a použitý software v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 7. 1. 2016

.....
Kristýna Macháčová

Za cenné rady, ochotu a odborné vedení při psaní této práce bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Haně Hanzlové CSc.. Dále děkuji za pomoc Ing. Lence Hanzalové, Ph.D. a panu Ing. Janu Kosovi, CSc.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu při psaní práce, ale i za jejich podporu během celého studia.

Děkuji.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce hotelu Miura v Čeladné u Frýdku Místku. Podkladem pro zpracování práce byly fotografie a slepé půdorysy objektu. Předmětem práce byl předběžný návrh nosné konstrukce objektu, vytvoření 3D modelu v softwaru SCIA Engineer a jeho ověření. Následně byl proveden podrobný návrh konstrukčních prvků objektu se zaměřením na konstrukci a vyztužení desky 1.NP a konstrukci vybraného sloupu. Navržena byla také základová konstrukce objektu. Součástí práce jsou výkresy tvaru celého objektu, výkres výztuže a technická zpráva.

Abstract

This diploma thesis deals with The Miura Hotel, located in Čeladná city, near Frýdek Místek. The background for this thesis were photos and basic floor plan drawings of the structure. The subject of this thesis was a preliminary design of bearing constructions of the building, a 3D model in software SCIA Engineer and verification of this model. Another part of the thesis is full design of bearing constructions focused on the slab above ground floor and chosen column. Foundations of the building were also designed. This thesis is resolved with drawings of shape of the whole building, a reinforcement drawing and a technical report.

Klíčová slova

Klíčová slova

Železobeton, předběžný návrh, zatížení, stropní deska, suterénní stěna, základová deska, základová patka, sloup, 3D model, průhyby, výkres tvaru, výkres výztuže, protlačení

Key words

Reinforced concrete, preliminary design, load, slab, basement wall, slab foundation, foundation pad, column, 3D model, deflections, drawing of shape, reinforcement drawing, punching shear

Obsah

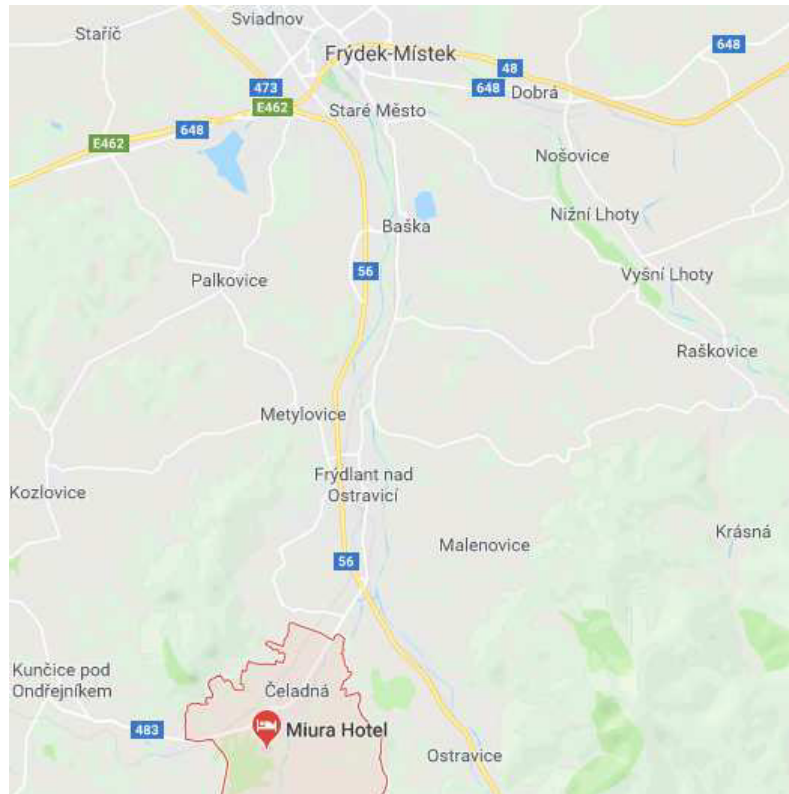
1. Úvod	3
1.1. <i>Popis objektu</i>	3
1.1.1. Popis konstrukce objektu	4
1.1.2. Popis využití prostor v objektu	4
2. Zatížení a materiálové charakteristiky	1
2.1. <i>Skladby konstrukcí a zatížení</i>	1
2.1.1. Zatížení od příček	1
2.1.2. Zatížení větrem	1
2.1.3. Užitná zatížení	4
2.2. <i>Materiály</i>	6
3. Předběžný návrh dimenzí vybraných konstrukčních prvků	7
3.1. <i>Stropní desky</i>	12
3.2. <i>Železobetonové stěny</i>	18
3.3. <i>Sloupy</i>	18
3.4. <i>Stěnový nosník</i>	32
3.5. <i>Ověření suterénní stěny</i>	36
3.6. <i>Předběžný návrh prvků vykonzolované části konstrukce v sekci B</i>	39
3.7. <i>Předběžný návrh schodišť v objektu</i>	40
3.7.1. Schodiště 1	40
3.7.2. Schodiště 2	43
3.7.3. Schodiště 3	46
3.7.4. Schodiště 4	49
3.8. <i>Dilatační spáry</i>	50
3.8.1. Dilatační spára č. 1	50
3.8.2. Dilatační spára č. 2	51
4. Tvorba a ověření 3D modelu objektu	52
4.1. <i>Tvorba 3D modelu</i>	52
4.1.1. Modelování vylehčení stropní desky (D3) – U-Boot Beton	52
4.2. <i>Ověření prostorového modelu</i>	54
4.3.1. Porovnání osových sil ve sloupech S19 a S3	54
4.3.2. Metoda náhradních rámců	57
5. Podrobný návrh konstrukčních prvků	65
5.1. <i>Kontrola počtu ztužujících stěn v sekci A</i>	65
5.2. <i>Návrh výztuže desky D4 (deska 1.NP)</i>	69
5.2.1. Uložení schodiště 1 na stropní desku	72
5.2.2. Konstrukční zásady:	73
5.2.3. Návrh výztuže dle MSÚ	74

5.2.4.	Ověření návrhu výztuže s ohledem na mezní stav použitelnosti	75
5.2.5.	Výsledky:	77
5.2.6.	Omezení šířky trhliny a výpočet průhybu	81
5.3.	<i>Kritický průřez desky D4</i>	84
5.4.	<i>Úprava konstrukce desky D4</i>	87
5.4.1.	VARIANTA 1 – zesílení desky nad sloupy.....	87
5.4.2.	VARIANTA 2 – Zesílení kraje desky.....	89
5.4.3.	VARIANTA 3 – Pokračování krajních sloupů v dalších podlažích	91
5.4.4.	VARIANTA 4 – Zesílení desky nad sloupy	93
5.4.5.	VARIANTA 5 – Zesílení desky nad sloupy	95
5.4.6.	VARIANTA 6 – Zesílení kraje desky.....	97
5.5.	<i>Návrh výztuže desky – výsledky modelu var. 6</i>	102
5.6.	<i>Návrh výztuže na protlačení</i>	110
5.6.1.	Sloup S5.....	113
5.6.2.	Sloup S2.....	117
5.6.3.	Sloup S17.....	121
5.6.4.	Sloup S18.....	123
5.6.5.	Sloup S16.....	126
5.6.6.	Sloup S17 – tl. desky 400 mm	129
5.6.7.	Sloup S18 – tl. desky 400 mm	132
5.6.8.	Sloup S16 – tl. desky 400 mm	137
5.6.9.	Sloup S1.....	139
5.6.10.	Stanovení šířky zesílení stropní desky na okrajích	142
5.6.11.	Úprava konstrukce z důvodu nevyhovění stropní desky na protlačení nad sloupy S1 a S16.....	144
5.6.12.	Sloup S1 – upravená konstrukce	148
5.6.13.	Sloup S16 – upravená konstrukce	152
5.7.	<i>NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE VYBRANÉHO SLOUPU</i>	157
5.7.1.	Krytí, vnitřní síly a geometrie sloupu	157
5.7.2.	Předběžný návrh podélné výztuže sloupu	159
5.7.3.	Úprava rozměru sloupu.....	164
5.7.4.	Posouzení sloupu pomocí interakčního diagramu	170
5.7.5.	Výpočet štíhlosti pro vyhovující sloup.....	178
6.	Základové konstrukce	182
6.1.	<i>Popis založení objektu</i>	182
6.2.	<i>Zatížení základové konstrukce</i>	182
6.3.	<i>Materiály základové konstrukce</i>	182
6.4.	<i>Geologické poměry</i>	182
6.5.	<i>Výpočet</i>	183
6.6.	<i>Shrnutí výsledků</i>	184
7.	Závěr	185
8.	Zdroje:	186

1. Úvod

1.1. Popis objektu

Objekt vybraný pro zpracování této diplomové práce byl navržen ateliérem Labor13, nachází se v Čeladné u Frýdku-Místku a je součástí golfového areálu.



Obrázek 1 – Mapa umístění objektu

Objekt Hotel Miura se v soutěži Stavba roku 2011 umístil na 23. místě.



Obrázek 2 – Fotografie Hotelu Miura ateliéru Labor13

Podkladem práce byly slepé půdorysy a fotografie.

1.1.1. Popis konstrukce objektu

Objekt je konstrukčně rozdělen na 3 samostatné sekce – A, B a C. Jednotlivé sekce tvoří dilatační celky.

Objekt má jedno podzemní podlaží – sekce B a C. Tyto sekce mají 3 nadzemní podlaží a sekce A má 4 nadzemní podlaží.

Svislou nosnou konstrukci tvoří železobetonové monolitické stěny v kombinaci se sloupy uvnitř půdorysu a vodorovnou konstrukci tvoří železobetonové monolitické desky – plné nebo vylehčené. V jednotlivých sekcích se vyskytují vykonzolované části konstrukcí nebo lodžie.

Stropní desky jsou železobetonové monolitické. Sekce A a C jsou zastřešeny deskou ve sklolnu. Sekce B je zastřešena vodorovnou deskou.

Základovou konstrukci podzemní části tvoří základová deska, v nadzemní části je objekt založen částečně na základové desce, ale převážně na základových patkách.

Schodiště v objektu jsou řešena jako monolitická uložená do schodišťových stěn a na stropní desky. Jediné prefabrikované schodiště v objektu, se nachází v sekci C a tvoří vertikální komunikaci pouze mezi 1.NP a 2.NP. V sekci B se mezi 1. NP a 2. NP nachází rampa, kterou je umožněna přímá komunikace z recepcce do hotelové restaurace.

Nosná konstrukce byla navržena dle podkladů, tak aby byl zachován návrh architektů.

1.1.2. Popis využití prostor v objektu

V 1. PP se nachází technické zázemí, zázemí pro zaměstnance a wellness hotelu.

V 1. NP se nachází recepcce hotelu, skladové prostory, prostory pro zásobování a sociální zařízení.

Ve 2. NP se v sekcích A a C nachází hotelové pokoje, dále kuchyně a sociální zařízení. V sekci B se nachází hotelová restaurace, ke které patří i venkovní terasy. Světla výška prostoru restaurace sahá až pod strop nad 3. NP.

Ve 3. NP se nachází hotelové pokoje a strojovna VZT.

Ve 4. NP, tedy pouze v sekci A, se opět nacházejí hotelové pokoje.

Skladby jednotlivých konstrukcí jsou uvedeny ve stavební části práce.

Půdorysy, které tvořily zadání jsou součástí přílohy diplomové práce.

2. Zatížení a materiálové charakteristiky

2.1. Skladby konstrukcí a zatížení

Skladby konstrukcí byly vytvořeny ve stavební části práce. Skladby se inspirovaly původním návrhem objektu. Skladby, které tvoří zatížení plošných prvků jsou uvedeny v tabulce zatížení. Všechny skladby jsou pak uvedeny ve stavební části práce.

2.1.1. Zatížení od příček

Zatížení od sádkartonových příček bylo převedeno na náhradní plošné zatížení.

V sekcích A a C, kde se nachází velká koncentrace příček, je stanoveno náhradní plošné zatížení, které nahrazuje zatížení příčkami a to 0,8 kN/m². (Hmotnost příčky = 1,6 kN/m (0,5 kN/m² * 3,2 m))

2.1.2. Zatížení větrem

Objekt se nachází v obci Čeladná u Frýdku-Místku – dle větrné mapy ČHMÚ se jedná o větrnou oblast II ($v_{b,0} = 25$ m/s).

1. Základní rychlost větru

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

Kde c_{dir} je součinitel směru větru (obecně $c_{dir} = 1$)

c_{season} je součinitel ročního období (obecně $c_{season} = 1$)

$$v_b = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

2. Charakteristická střední rychlost větru $v_m(z)$ ve výšce z (=15 m) nad terémem

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

kde $c_0(z)$ je součinitel orografie = 1 (rychlost větru není zvětšena o více jak 5% vlivem orografie)

$$c_r(z) \text{ je součinitel drsnosti terénu } c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

z_0 je parametr drsnosti terénu, viz. tabulka kategorie terénu (kategorie terénu = 2 (oblast s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy, jejichž vzdálenost je větší než 20 násobek výšky překážek) = 0,05 m

z_{min} je minimální výška, viz tab. kategorie terénu (II) = 2 m

$$k_r \text{ je součinitel terénu } k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = 0,19 * \ln\left(\frac{15}{0,05}\right) = 1,084$$

$$v_m = 1,084 * 1 * 25 = 27,093 \text{ m/s}$$

3. Maximální dynamický tlak $q_p(z)$ – pro referenční výšku objektu 15 m.

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 1/2 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

$$I_v(z) = \left(\frac{\sigma_y}{v_m(z)}\right) = \left(\frac{k_1}{c_0(z) * \ln(z/z_0)}\right) = \left(\frac{1}{1 * \ln(15/0,05)}\right) = 0,175$$

Kde k_1 je součinitel turbulence = 1

ρ je měrná hmotnost vzduchu = 1,25 kg/m³

$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b(z)^2$ je základná dynamický tlak větru

$c_e(z)$ je součinitel expozice = (kat. terénu II a výška obj. 15 m) = 2,62

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,175] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 27,093^2 = 2,62 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2$$

$$1020,76 = \mathbf{1023,44 \text{ N/m}^2} = \mathbf{1,023 \text{ kN/m}^2}$$

4. Tlak větru na konstrukci

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

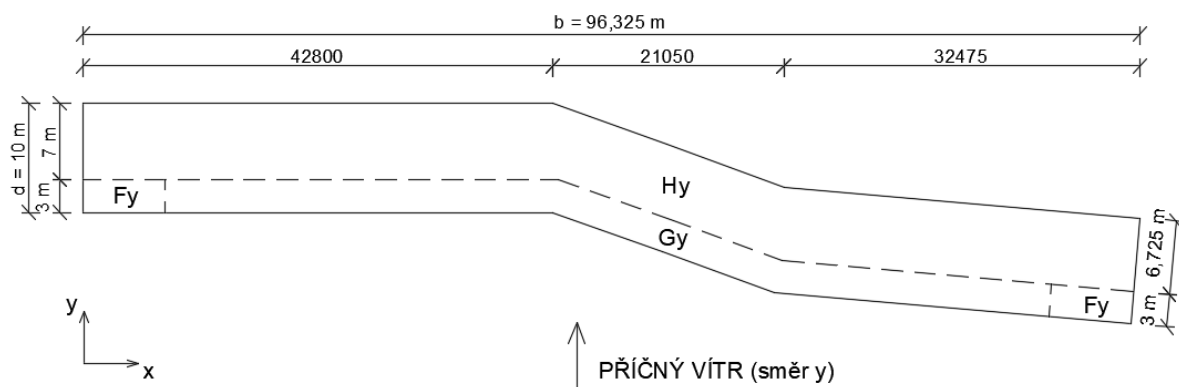
kde c_{pe} je součinitel vnějšího tlaku (závisí na velikosti plochy vystavené větru a zejména na tvaru konstrukce)

z_e je referenční výška pro vnější tlak

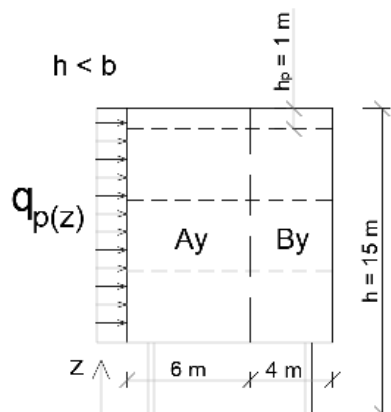
Byl spočítaný příčný a podélný tlak větru na svislou stěnu i na střechu.

Výsledné působení větru na objekt:

PŘÍČNÝ VÍTR (směr y)



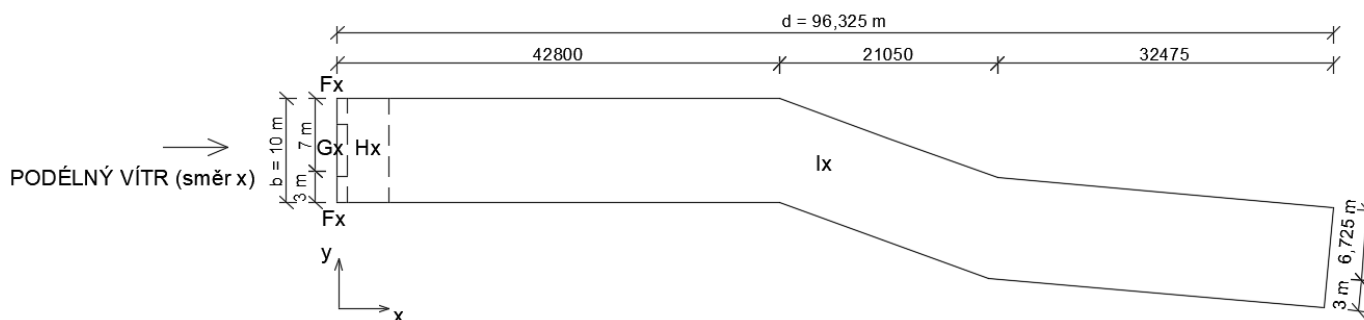
Obrázek 3 – Schéma působení příčného větru na objekt



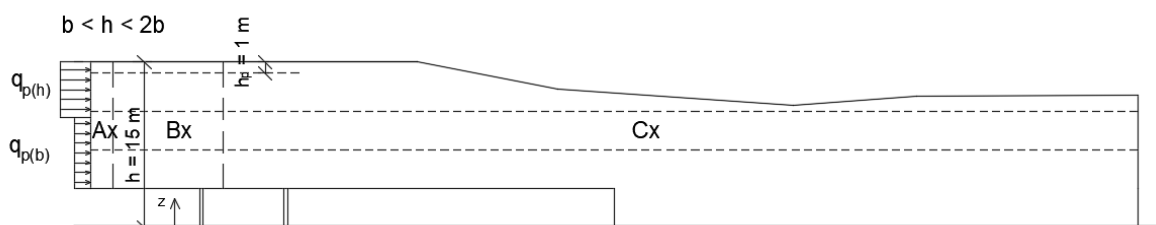
oblast	max. dynamický tlak $q_{p(z)}$ [kN/m ²]	součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,10}$	tlak větru na konstrukci w_e, char [kN/m ²]
A _y	1,023	-1,2	-1,23
B _y	1,023	-1,325	-1,36
F _y	1,023	-1,2	-1,23
G _y	1,023	-0,8	-0,82
H _y	1,023	-0,7	-0,72

Obrázek 4 – Schematický příčný řez s vyznačením působení větru

PODÉLNÝ VÍTR (směr x)



Obrázek 5 – Schéma působení podélného větru



Obrázek 6 – Schematický podélný řez s vyznačením působení větru

oblast	max. dynamický tlak $q_{p(z)}$ [kN/m ²]	součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,10}$	tlak větru na konstrukci $w_{e, char}$ [kN/m ²]
A _x	1,023	-1,2	-1,23
	0,94	-1,2	-1,13
B _x	1,023	-1,325	-1,36
	0,94	-1,325	-1,25
C _x	1,023	-0,5	-0,51
	0,94	-0,5	-0,47
F _x	1,023	-1,2	-1,23
G _x	1,023	-0,8	-0,82
H _x	1,023	-0,7	-0,72
I _x	1,023	-0,2/+0,2	-0,3075/+0,3075

Zatížení sněhem

Zatížení bylo spočítáno dle sněhové mapy ČR dle umístění objektu - Čeladná (okres Frýdek-Místek).

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

kde: μ_i je tvarový součinitel – plochá střecha, sklon max. 5 % \cong 2,86°

$$\Rightarrow \mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 0,8 + (0,8 * \alpha) / 30 = 0,8 + (0,8 * 2,86) / 30 = 0,876$$

- C_e je součinitel expozice – otevřená krajina = 0,8
 C_t je tepelný součinitel = 1,0
 s_k je charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi (sněhová oblast IV – Čeladná (okres Frýdek-Místek) = 2,0 kN/m²

$$s_1 = 0,8 * 0,8 * 1,0 * 2,0 = 1,28 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,876 * 0,8 * 1 * 2,0 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

Při výpočtech bude použito sjednocené zatížení sněhem $s_2 = 1,4 \text{ kN/m}^2$

2.1.3. Užitná zatížení

Užitná zatížení, která se objevují v objektu, byla stanovena dle EN 1991-1-1 a jsou uvedena v tabulce Přehled plošných zatížení.

Přehled plošných zatížení						
Zatížení střechy (1.NP, 2. NP)						
Z1	Stálé: (skladba ploché střechy)	objemová hm./plošná hm.	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g	g_d [kN/m ²]
	asfaltový modifikovaný pás 2x (tl. 4 mm)	200 g/m ²	$2*0,2*10*(1/1000)$	0,004	1,35	0,0054
	kaširovaný polystyren tl. 250 mm	30 kg/m ³	$30*0,250*10*(1/1000)$	0,075	1,35	0,101
	asfaltový modifikovaný pás (tl. 4 mm)	200 g/m ²	$0,2*10*(1/1000)$	0,002	1,35	0,003
	podhled SDK deska 12.5 mm	9,2 kg/m ²	$9,2*10*(1/1000)$	0,092	1,35	0,124
celkem				0,173		0,234
Proměnné:		poznámka	výpočet	q_k [kN/m ²]	γ_q	q_d [kN/m ²]
U1	sníh 2 - Čeladná (Frýdek-Místek)	sněhová oblast IV	$sk = 0,876*0,8*1,0*2,0$	1,402	1,5	2,102
U2	užitné zatížení	nepochozí střecha		0,750	1,5	1,125
zatížení střechy (2.NP) celkem =				1,575		2,336
Zatížení stropních desek v 1. NP, 2.NP, 3.NP a 4.NP						
Z2	Stálé: Skladba podlahy	objemová hm./plošná hm.	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g	g_d [kN/m ²]
	cem. samonivelační stěrka tl. 10 mm	2300 kg/m ³	$2300*0,01*10*(1/1000)$	0,230	1,35	0,311
	vyrovnávací cem. stěrka tl. 5 mm	2300 kg/m ³	$2300*0,005*10*(1/1000)$	0,115	1,35	0,155
	bet. mazanina + kari síť tl. 50 mm	2500 kg/m ³	$25*0,05*10*(1/1000)$	1,250	1,35	1,688
	kroč. Izolace ISOVER T-P tl. 50 mm	150 kg/m ³	$1,5*0,05*10*(1/1000)$	0,075	1,35	0,101
	podhled SDK deska 12.5 mm	9,2 kg/m ²	$9,2*10*(1/1000)$	0,092	1,35	0,124
celkem				1,762		2,379
Proměnné zatížení:						
Užitná zatížení v objektu		kategorie zatížení	hodnota zatížení	q_k [kN/m ²]	γ_q	q_d [kN/m ²]
U3	tech. místnost, chodba, pokoj hostů	kategorie A	1,5 kN/m ²	1,500	1,50	2,250
U4	sklad - potraviny,...	volba	3,0 kN/m ²	3,000	1,50	4,500
U5	restaurace, recepce, bar	kategorie C1	3,0 kN/m ²	3,000	1,5	4,500
Náhradní plošné zatížení:						
U6	Příčky	plošná hmotnost		g_k [kN/m]	γ_q	g_d [kN/m]
	náhradní plošné zatížení pro část 1.NP,2.NP, 3.NP, 4.NP	výška příčky = 3,2 m hm. Příčky = 50 kg/m ²	náhradní plošné zatížení 0,8 kN/m ²	0,8	1,5	1,2
Vlastní tíha:						
	Stropní desky	obj.hm./pl. hm.	výpočet	g_k [kN/m ²]	γ_g	g_d [kN/m ²]
Z3	ŽB deska 1. NP - tl. 250 mm	2500 kg/m ³ *d	$0,25*2500*10*(1/1000)$	6,25	1,35	8,438
Z4	ŽB deska 2. NP - 360 mm (vylehcena)	710,9 kg/m ²	$710,9*10*(1/1000)$	7,11	1,35	9,597
Stálé plošné zatížení celkem						
	běžná podlaží			g_k [kN/m ²]	γ_q	g_d [kN/m ²]
Z3 + Z2	desky D1, D2, D4, D5, D6	6,25 + 1,762		8,012	1,35	10,8162
Z4 + Z2	deska D3	7,11 + 1,762		8,871	1,35	11,97585
	střecha					
Z3 + Z1	desky D1, D2, D4, D5, D6	6,25 + 0,173		6,423	1,35	8,67105
Z4 + Z1	deska D3	7,11 + 0,173		7,28	1,35	9,8307

2.2. Materiály

Beton

Stupeň vlivu prostředí je stanoven:

- XC1 – pro konstrukce uvnitř budovy a obvodové konstrukce, které jsou chráněny proti povětrnosti (riziko koroze karbonatů, prostředí suché nebo stále mokré)
- XC4 – pro základové konstrukce a konstrukce, které se nachází pod úrovní terénu a nechráněné vnější konstrukce (riziko koroze karbonatů, prostředí střídavě suché a mokré)

1. Pevnostní třída betonu je zvolena C 30/37. Tato třída je použita pro výpočet všech konstrukcí.

- Charakteristická pevnost betonu $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- Návrhová pevnost betonu $f_{cd} = f_{ck}/1,5 = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$

Ocel

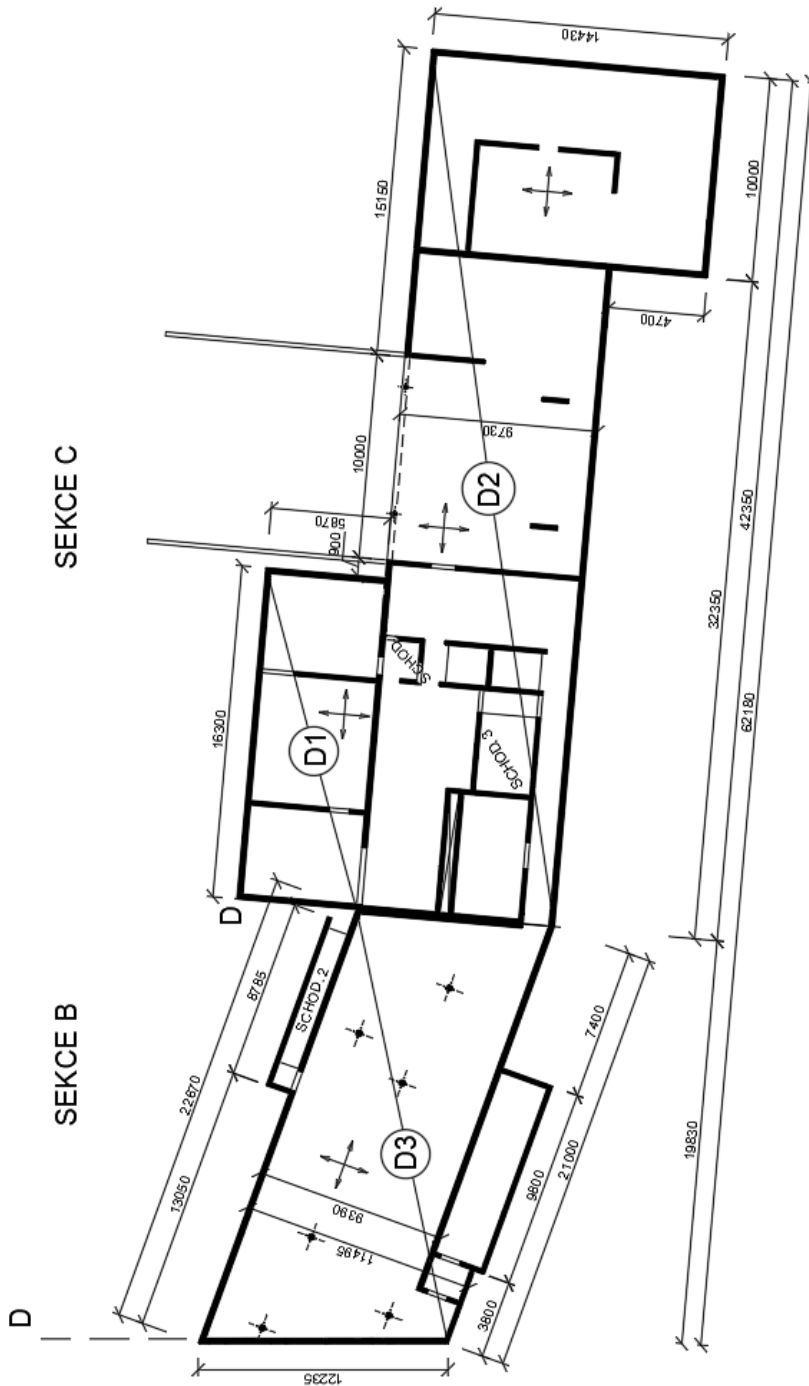
Železobetonové prvky budou vyztuženy výztuží s žebírkovým povrchem B500B.

- Charakteristická pevnost oceli $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- Návrhová pevnost oceli $f_{yd} = f_{yk}/1,15 = 500/1,15 = 434,8 \text{ MPa}$

Pro zajištění spolupůsobení betonu a výztuže, pro zajištění ochrany výztuže proti korozi a požáru jsou dále ve výpočtu stanoveny potřebné krycí vrstvy výztuže.

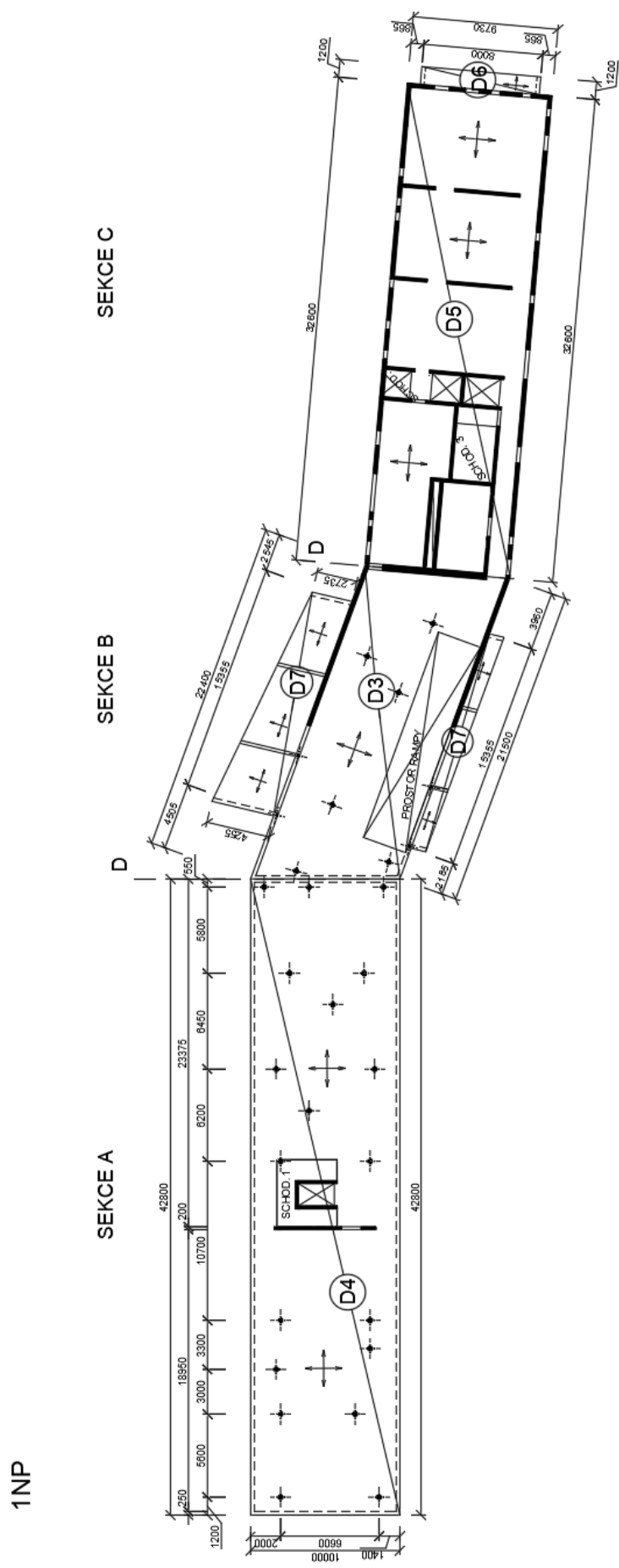
3. Předběžný návrh dimenzí vybraných konstrukčních prvků

Nejprve byla vytvořena statická schémata jednotlivých podlaží.

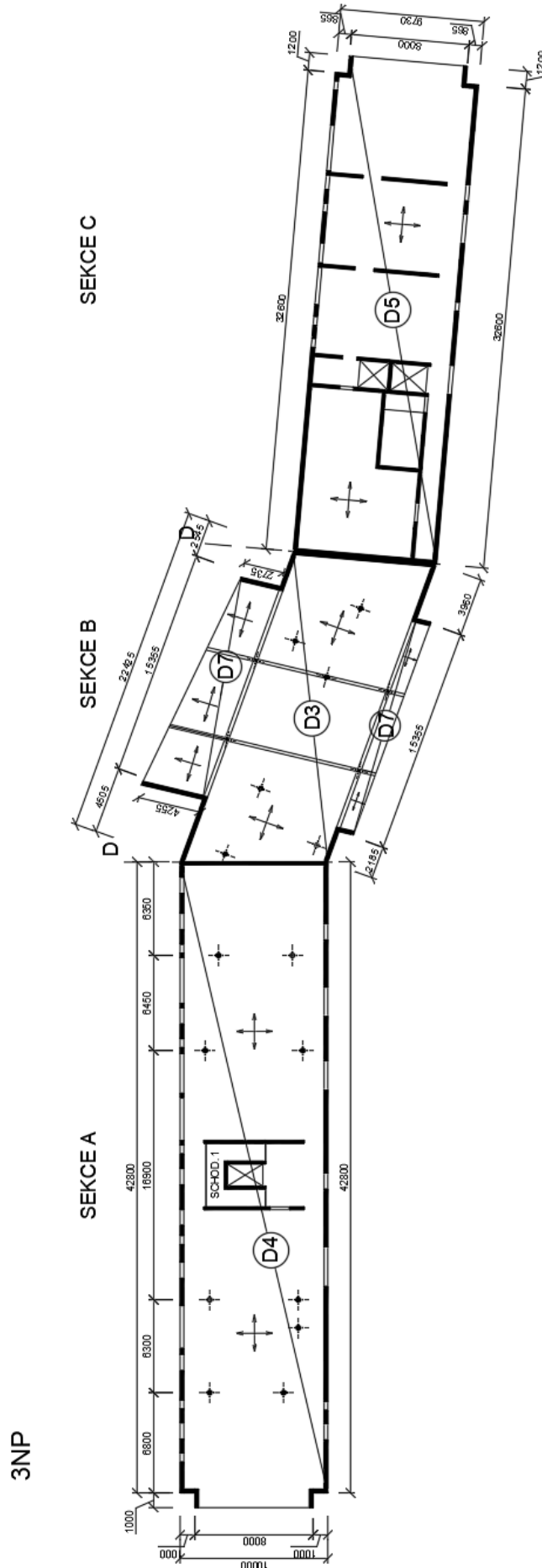


1PP

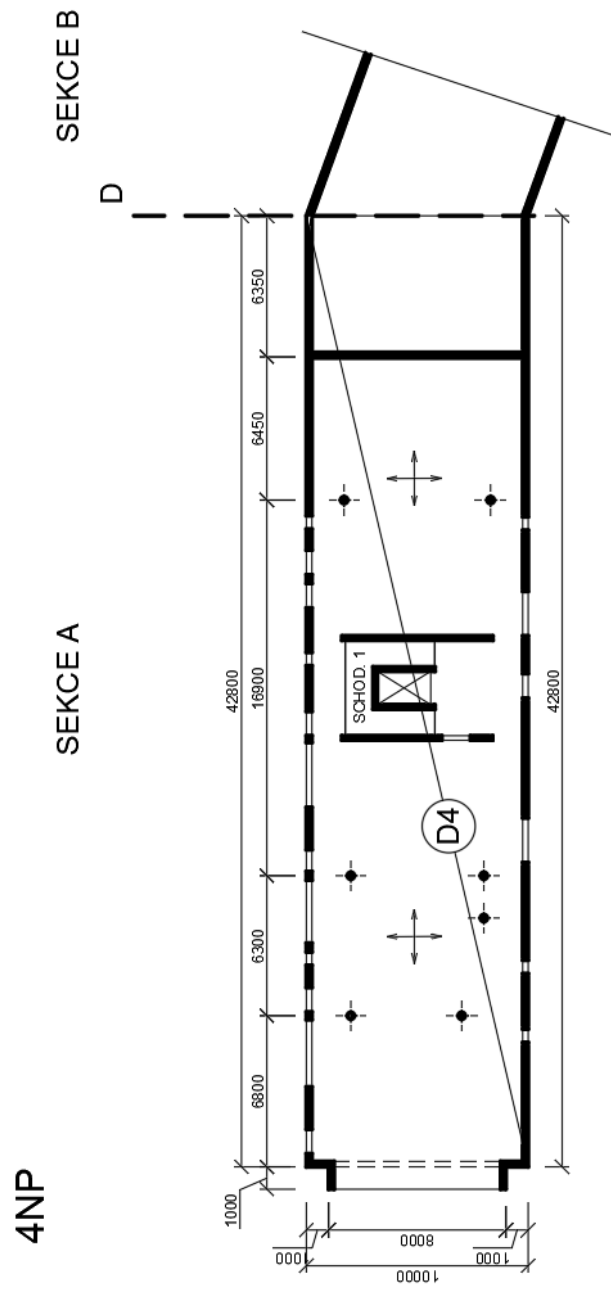
Obrázek 7 – Statické schéma 1.PP



Obrázek 8 – Statické schéma 1.NP



Obrázek 10 – Statické schéma 3.NP



Obrázek 11 - Statické schéma 3.NP

3.1. Stropní desky

- Výpočet nominální hodnoty tloušťky betonové krycí vrstvy stropních desek $c_{nom,1}$

$$c_{nom,1} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

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

kde: $c_{min,b}$ je minimální krytí výztuže s ohledem na soudržnost = profil výztuže
(volím $\varnothing 12 \text{ mm}$) = **12 mm**

$c_{min,dur}$ je minimální krytí výztuže s ohledem na prostředí, ve kterém se konstrukce nachází (třída prostředí = XC1; konstrukční třída S2)
= **20 mm**

$\Delta c_{dur,\gamma}$ je přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti = **0 mm**

$\Delta c_{dur,st}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli (nepředpokládá se) =
0 mm

$\Delta c_{dur,add}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití dodatečné ochrany (nepředpokládá se) = **0 mm**

Δc_{dev} je přídavek na návrhovou odchylku = **10 mm** (doporučená hodnota)

$$c_{min} = \text{maximální hodnota } (12 \text{ mm}; 20 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = \mathbf{12 \text{ mm}}$$

$$c_{nom,1} = 12 + 10 = 22 \text{ mm} \Rightarrow \text{zaokrouhlení na } 25 \text{ mm}$$

Nominální hodnota krycí vrstvy výztuže stanovena na 25 mm.

- Stanovení tloušťky stropní desky D1 (1. PP)

Deska nad 1. PP, deska křížem pnutá, po obvodě „vetknutá“ do obvodových a vnitřních ŽB stěn, maximální rozpětí $l_{max} = 6,3 \text{ m}$

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{35} \right) * l = \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{35} \right) * 6300 = \mathbf{180 \text{ až } 210 \text{ mm}}$$

- Vymežující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

$$\lambda_d = K_{c1} * K_{c2} * K_{c3} * \lambda_{d,tab}$$

kde: K_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

K_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{max} < 7 \text{ m}$) $\gg K_{c2} = 1,0$

K_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s, prov}}{A_{s, req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d, tab}$ je tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **30,8** pro vnitřní pole spojitého nosníku

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 30,8 = 36,96$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 6300 / 36,96$$

$$d \geq \mathbf{170,45}$$

$$d = h_d - c - (\emptyset/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\emptyset/2) = 170,45 + 25 + (12/2) = \mathbf{201,45 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{200 \div 220 \text{ mm}}$$

Tloušťku desky volím s ohledem na hodnotu užitého zatížení 250 mm (zelená střecha).

- Stanovení tloušťky stropní desky D2 (1. PP)

Deska nad 1. PP, deska lokálně podepřená, po obvodě „vetknutá“ do obvodových stěn, maximální rozpětí $l_{max} = 6,9 \text{ m}$

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = (1/33) * l_{max} + 10\% = (1/33) * 6900 + 0,1 * h_d = \mathbf{230 \text{ mm}}$$

- Vymežující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s, prov}}{A_{s, req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d, tab}$ je tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37, lokálně podepřená deska) = **24,6**

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 24,6 = 29,52$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 6900 / 29,52$$

$$d \geq 233,7$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 233,7 + 25 + (12/2) = 264,7 \text{ mm} \Rightarrow 260 \div 280 \text{ mm}$$

Tloušťku desky volím s ohledem na hodnotu užitého zatížení a s ohledem na další podepření desky 250 mm.

- Stanovení tloušťky stropní desky D3 (1. PP)

Deska nad 1. PP, deska lokálně podepřená, po obvodě „vetknutá“ do obvodových stěn, maximální rozpětí $l_{\max} = 8,55 \text{ m}$

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = (1/33) * l_{\max} + 10\% = (1/33) * 8550 + 0,1 * h_d = 285 \text{ mm}$$

- Vymezuující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

$$\lambda_d = K_{c1} * K_{c2} * K_{c3} * \lambda_{d,tab}$$

- kde: K_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0
 K_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{\max} > 7 \text{ m}$) $\gg K_{c2} = 7/l = 7/8,55 = 0,82$
 K_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$K_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $K_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymezuující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37, lokálně podepřená deska) = **24,6**

$$\lambda_d = 1,0 * 0,82 * 1,2 * 24,6 = 25,58$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 8550 / 25,58$$

$$d \geq 334,25$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 334,25 + 25 + (12/2) = 365,25 \text{ mm} \Rightarrow 360 \div 380 \text{ mm}$$

Tloušťku desky volím 360 mm (vylehčená stropní deska s vložkami výšky 160 mm).

Katalogové parametry desky

Orientačné charakteristiky a porovnanie s plnou doskou										
Rozpätie dosky štvorcového pôdorysu	Hrúbka dosky navrhutej pre zaťaženie 500 kg/m ²	Výška spodnej dosky S1	Výška tvarovky U-Boot H	Výška hornej dosky S2	Moment zotrvačnosti odľahčenej dosky*	Moment zotrvačnosti plnej dosky	Zodpovedajúca strata výšky	Hmotnosť odľahčenej dosky	Hmotnosť plnej dosky	Úspora hmotnosti
m	mm	mm	mm	mm	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m	%	kg/m ²	kg/m ²	%
7	260	50	160	50	124802	146487	5,196	460,9	650,0	29,09
8	300	70	160	70	203335	225000	3,319	560,9	750,0	25,21
9	340	50	240	50	249430	327533	8,680	563,3	850,0	33,73
10	360	100	160	100	367135	388800	1,893	710,9	900,0	21,01
11	380	70	240	70	379163	457267	6,052	663,3	950,0	30,18
12	420	50	320	50	426164	617400	11,624	671,8	1050,0	36,02
12	440	100	240	100	631763	709867	3,811	813,3	1100,0	26,06
12	460	70	320	70	619897	811133	8,573	771,8	1150,0	32,89
13	500	50	400	50	660882	1041667	14,073	774,2	1250,0	38,06
14	520	100	320	100	980497	1171733	5,766	921,8	1300,0	29,09
14	540	70	400	70	931415	1312200	10,797	874,2	1350,0	35,24
15	580	50	480	50	959465	1625933	16,123	876,6	1450,0	39,54
15	600	100	400	100	1419215	1800000	7,617	1024,2	1500,0	31,72
16	620	70	480	70	1319599	1986067	12,740	976,6	1550,0	36,99
18	680	100	480	100	1953799	2620267	9,320	1126,6	1700,0	33,73

* Moment zotrvačnosti dosky vypočítaný s nosníkmi šírky 120 mm

Obrázek 12 – Tabulka charakteristik vylehčené desky

- Stanovení tloušťky stropní desky D4 (1. NP)

Deska nad 1. NP, deska lokálně podepřená, maximální rozpětí $l_{\max} = 6,6$ m

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = (1/33) \cdot l_{\max} + 10\% = (1/33) \cdot 6600 + 0,1 \cdot h_d = \mathbf{220 \text{ mm}}$$

- Vymezení ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{\max} < 7$ m) >> $\kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymezení ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37, lokálně podepřená deska) = **24,6**

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 24,6 = 29,52$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 6600 / 29,52$$

$$d \geq \mathbf{223,58}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 223,58 + 25 + (12/2) = \mathbf{254 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{220 \div 270 \text{ mm}}$$

Tloušťku desky volím s ohledem na hodnotu užitého zatížení 250 mm.

- Stanovení tloušťky stropní desky D5 (1. NP)

Deska nad 1. NP, deska jednosměrně pnutá mezi ŽB stěnami, po obvodě „vetknutá“ do obvodových stěn, maximální rozpětí $l_{\max} = 6,55 \text{ m}$

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{35} \right) * l = \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{35} \right) * 6550 = (218,333 \text{ až } 187,143) \text{ mm} \sim \mathbf{180 \div 220 \text{ mm}}$$

- Vymezuující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélíkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{\max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s, \text{prov}}}{A_{s, \text{req}}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d, \text{tab}}$ je tabulková hodnota vymezuující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **26** pro krajní pole spojitého nosníku

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 26 = 31,2$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 6550 / 31,2$$

$$d \geq \mathbf{209,94}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 209,94 + 25 + (12/2) = \mathbf{240,94 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{180 \div 250 \text{ mm}}$$

Tloušťku desky volím s ohledem na hodnotu užitého zatížení 250 mm.

- Stanovení tloušťky stropní desky D6 (1. NP) - konzola

Deska nad 1.NP, vykonzolovaná ze železobetonové stěny, max. vyložení konzoly je 1200 mm.

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = l/14 = 1200/14 = 85,7 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{190 \text{ mm}}$$

- Vymezuující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymezuující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37, konzola) = 8

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 8 = \mathbf{9,6}$$

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 1200 / 9,6$$

$$d \geq \mathbf{125}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 125 + 25 + (12/2) = \mathbf{156 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{160 \text{ mm}}$$

Tloušťku desky D6 volím 250 mm v rámci sjednocení tlouštěk desek v objektu.

- Stanovení tloušťky stropní desky D7 (1. NP) – deska vykonzolované části pnutá mezi trámy

Deska nad 1. NP a 3.NP, pnutá mezi trámy a průvlakem (podepřená ve třech směrech – „křížem pnutá“), max. rozpon desky 4 m (druhý rozměr 3,95 m)

- Empirický vzorec na stanovení tloušťky desky h_d

$$h_d = 1,2 * (L1 + L2) / 105 = 1,2 * (4000 + 3950) / 105 = 90,85 \Rightarrow \mathbf{100 \text{ mm}}$$

- Vymezuující ohybová štíhlost

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymezující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37, krajní pole spojitého nosníku) = **24,1**

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 24,1 = \mathbf{28,92}$$

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 4000 / 28,92$$

$$d \geq \mathbf{138,31}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 138,31 + 25 + (12/2) = \mathbf{169,31 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{170 \text{ mm}}$$

Tloušťka desky D7 bude navržena 200 mm a to z důvodu, že předběžný návrh přesně nevystihuje působení desky.

Desky s rozdílnými tloušťkami 250 mm a 360 mm budou odděleny navrženými dilatačními spárami.

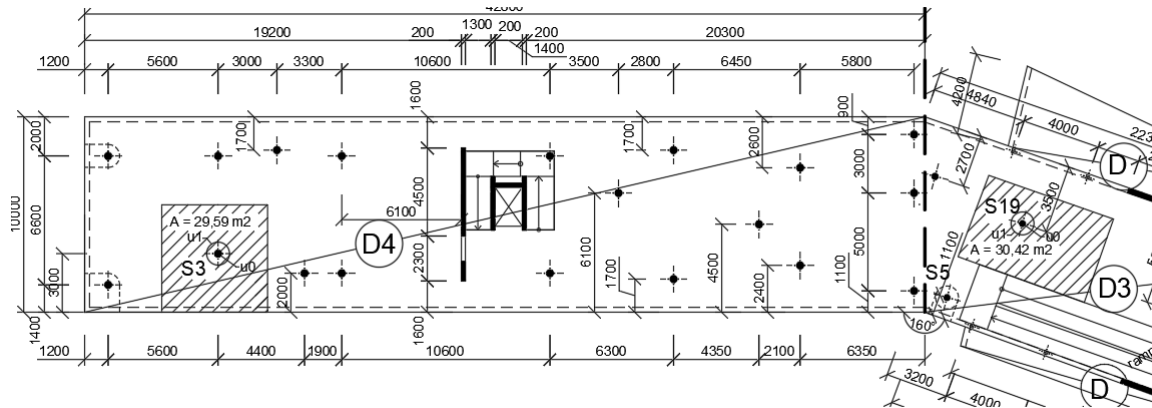
3.2. Železobetonové stěny

Tloušťky obvodových železobetonových stěn byly odhadnuty na 250 mm a tloušťky vnitřních železobetonových stěn na 200 mm.

3.3. Sloupy

- Stanovení rozměrů nosných sloupů

Pro předběžný návrh rozměrů sloupů byly vybrány sloupy S1 (sekce A) a S2 (sekce B) - viz schéma 1.NP, protože se pravděpodobně jedná o nejvíce namáhané sloupy v objektu. Sloupy se nacházejí v různých částech budovy a procházejí přes různý počet podlaží. Zatěžovací plocha je patrná z výkresů a je stanovena zjednodušeně jako polovina rozpětí polí kolem sloupu.



Obrázek 13 - Schéma umístění sloupů S3 a S19

• **Návrh sloupu S19**

Výpočet zatížení sloupu

Výpočet zatížení na
sloup

S19	zatížení	charakteristická hodnota	zatěžovací plocha, příp. výška sloupů	Gk, příp. Qk [kN]	γ_g	Gd, příp. Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 3NP	Z1	0,173 kN/m ²	17,19 m ²	2,97	1,35	4,01
	Z4	7,11 kN/m ²	17,19 m ²	122,22	1,35	165,00
	U2	1,4 kN/m ²	17,19 m ²	24,07	1,5	36,10
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1,762 kN/m ²	30,43 m ²	53,62	1,35	72,38
	Z4	7,11 kN/m ²	30,43 m ²	216,36	1,35	292,08
	U5	3 kN/m ²	30,43 m ²	91,29	1,5	136,94
ZATÍŽENÍ 1PP	Z2	1,762 kN/m ²	30,43 m ²	53,62	1,35	72,38
	Z4	7,11 kN/m ²	30,43 m ²	216,36	1,35	292,08
	U5	3 kN/m ²	30,43 m ²	91,29	1,5	136,94
vlastní tíha	sloup v 1.PP - d = 300 mm	1,75 0.07*25 kN/m	2*3.14+6.64 m	22,61	1,35	30,52
				894,40 kN		1238,44 kN

▪ **Návrh rozměrů sloupu**

$$G_d + Q_d = 458,75 + 779,69 = 1238,44 \text{ kN} = N_{ed}$$

$$N_{rd} = 0,8 * A_c * f_{cd} + A_c * f_{yd} \geq N_{ed}$$

1) Výpočet bez uvažování výztuže

$$A_c \geq \frac{N_{ed}}{(0,8 * f_{cd})}$$

$$A_c \geq \frac{1238,44 * 1000}{(0,8 * 20)}$$

$$A_c \geq 77402,5 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{průměr sloupu } d \geq 313,93 \text{ mm} \Rightarrow a = 320 \text{ mm}$$

2) Výpočet s uvažováním výztuže

$$\text{Stupeň vyztužení volím } 1,5 \% \Rightarrow \rho = A_c/A_s = 0,015 \Rightarrow A_s = 0,015 A_c$$

$$N_{rd} = A_c * (0,8 * f_{cd} + 0,015 * \sigma_s) \geq N_{ed}$$

$$A_c \geq \frac{N_{ed}}{(0,8 * f_{cd} + 0,015 * \sigma_s)}$$

$$A_c \geq \frac{1238,44 * 1000}{(0,8 * 20 + 0,015 * 400)}$$

$$A_c \geq 56292,73 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{průměr sloupu } d \geq 267,72 \text{ mm} \Rightarrow a = 270 \text{ mm}$$

Návrh průřezu sloupu d = 300 mm.

- Návrh sloupu S3**

Výpočet zatížení sloupu

S3	zatížení	hodnota		zatěžovací plocha/výška sloupů		Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 4NP	Z1	0,173	kN/m ²	23,27	m ²	4,03	1,35	5,43
	Z3	6,25	kN/m ²	23,27	m ²	145,44	1,35	196,34
	U1	1,4	kN/m ²	23,27	m ²	32,58	1,5	48,87
ZATÍŽENÍ 3NP	Z2	1,762	kN/m ²	23,27	m ²	41,00	1,35	55,35
	Z4	6,25	kN/m ²	23,27	m ²	145,44	1,35	196,34
	U3+U6	2,3	kN/m ²	23,27	m ²	53,52	1,5	80,28
ZATÍŽENÍ 2NP	Z2	1,762	kN/m ²	21,21	m ²	37,37	1,35	50,45
	Z4	6,25	kN/m ²	21,21	m ²	132,56	1,35	178,96
	U3+U6	2,3	kN/m ²	21,21	m ²	48,78	1,5	73,17
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1,762	kN/m ²	29,59	m ²	52,14	1,35	70,39
	Z3	6,25	kN/m ²	29,59	m ²	184,94	1,35	249,67
	U3+U6	2,3	kN/m ²	29,59	m ²	68,06	1,5	102,09
vlastní tíha	sloup v 1.PP - d = 300 mm	1,75	0,07*25 kN/m	3.14*4	m	21,98	1,35	29,67
						967,83 kN		1337,01 kN

▪ Návrh rozměrů sloupu

$$G_d + Q_d = 1337,01 \text{ kN} = N_{ed}$$

$$N_{rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} \geq N_{ed}$$

3) Výpočet bez uvažování výztuže

$$A_c \geq \frac{N_{ed}}{(0,8 \cdot f_{cd})}$$

$$A_c \geq \frac{1337,01 \cdot 1000}{(0,8 \cdot 20)}$$

$$A_c \geq 83\,563,125 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{průměr sloupu } d \geq 326,18 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad a = 330 \text{ mm}$$

4) Výpočet s uvažováním výztuže

$$\text{Stupeň vyztužení volím } 1,5\% \Rightarrow \rho = A_s/A_c = 0,015 \Rightarrow A_s = 0,015 A_c$$

$$N_{rd} = A_c \cdot (0,8 \cdot f_{cd} + 0,015 \cdot \sigma_s) \geq N_{ed}$$

$$A_c \geq \frac{N_{ed}}{(0,8 \cdot f_{cd} + 0,015 \cdot \sigma_s)}$$

$$A_c \geq \frac{1337,01 \cdot 1000}{(0,8 \cdot 20 + 0,015 \cdot 400)}$$

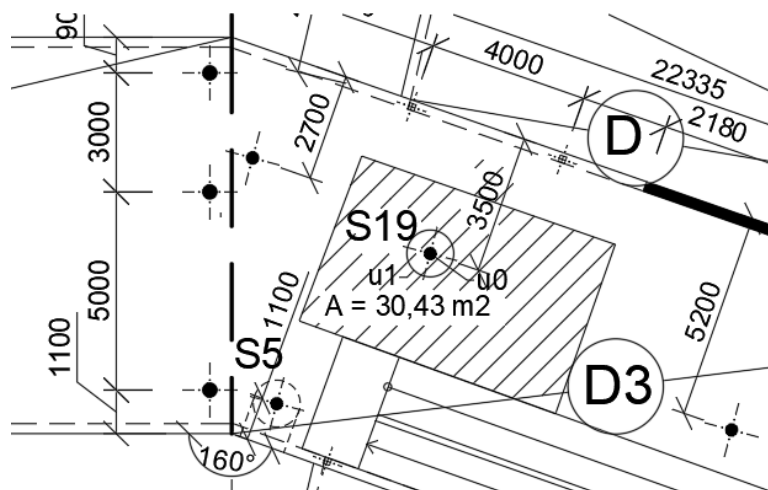
$$A_c \geq 60\,773,18 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{průměr sloupu } d \geq 278,17 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad a = 280 \text{ mm}$$

Návrh průřezu sloupu $d = 300 \text{ mm}$.

Všechny sloupy v objektu budou kruhového průřezu o průměru 300 mm .

3.1 Kontrola v protlačení

• Kontrola protlačení desky D3 v 1. NP – SLOUP S19



Obrázek 14 – Zatěžovací plocha sloupu S19

Stanovení síly V_{Ed}

Protlačení v 1.NP

S19	zatížení	hodnota [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1.762	30.43	53.62	1.35	72.38
	U5	3	30.43	91.29	1.5	136.94
	Z4	7.11	30.43	216.36	1.35	292.08
						501.40 kN

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro vnitřní sloup $\beta = 1,15$ (odhad, nestejně rozpětí sousedních polí)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4*d) = \pi * (300 + 4*219) = 3694,51 \text{ mm}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{501,40}{(0,942 * 0,219)} = 2430,46 \text{ kPa} = 2,43 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{501,40}{(3,695 * 0,219)} = 619,62 \text{ kPa} = 0,62 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = \mathbf{0,528}$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) => $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18/g_M = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,43 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,1} = 0,62 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

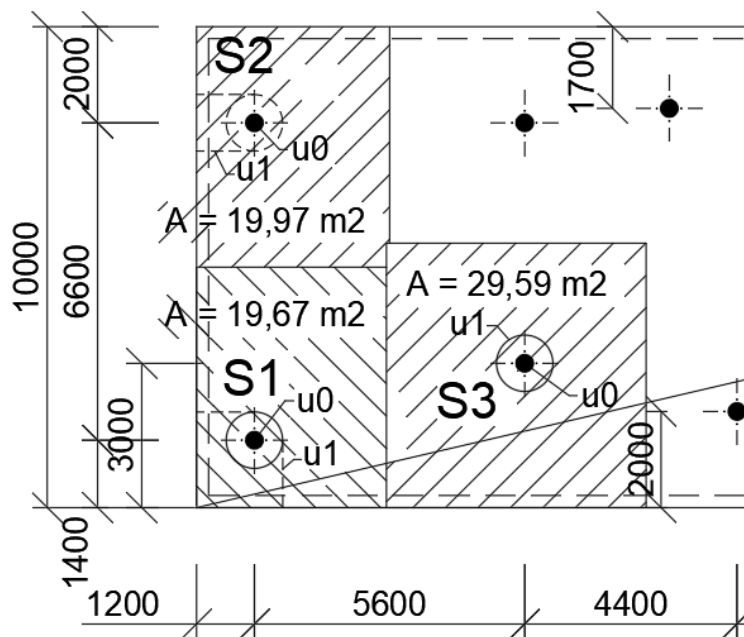
$$V_{Ed,1} = 0,62 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ MPa}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

VYHOVUJE

• Kontrola protlačení desky D4 v 1. NP



Obrázek 15 – Zatěžovací plochy sloupů S1, S2 a S3

a) SLOUP 3

Stanovení síly V_{Ed}

S3	zatížení	hodnota [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 2NP	Z2	1.762	29.59	52.14	1.35	70.39
	U3	1.5	29.59	44.39	1.5	66.58
	U6	0.8	29.59	23.67	1.5	35.51
	Z3	6.25	29.59	184.94	1.35	249.67
						422.14 kN

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro okrajový sloup $\beta = 1,4$ (odhad, nestejně rozpětí sousedních polí)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \quad (d = \text{průměr sloupu}) = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4 * d) = \pi * (300 + 4 * 219) = 3694,5 \text{ mm}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{Ed,0} = 1,4 * \frac{422,14}{(0,942 * 0,219)} = 2864,77 \text{ kPa} = 2,86 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = 1,4 * \frac{422,14}{(3,695 * 0,219)} = 730,34 \text{ kPa} = 0,730 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) $\Rightarrow f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18/g_M = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$V_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,86 \text{ MPa} \leq V_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,1} = 0,73 \text{ MPa} > V_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 0,73 \text{ MPa} \leq k_{max} * V_{Rd,c}$$

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ MPa}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

VYHOVUJE

b) SLOUP 1Stanovení síly V_{Ed}

S3	zatížení	hodnota [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 2NP	Z2	1,762	19,67	34,66	1,35	46,79
	U3	0,85*1,5	19,67	25,08	1,5	37,6
	U6	0,8	19,67	15,74	1,5	23,60
	Z3	6,25	19,67	122,94	1,35	165,97
						273,96

Deska je na okrajích zatížena obvodovými stěnami, další podlaží tvoří 3x stropní deska a 1x střešní deska. Vzhledem ke špatnému odhadu toku zatížení se zatížení sloupu odhadne zatížení jako 3x zatížení podlaží + 0,8*zatížení podlaží (odhad zatížení ze střechy, poměr zatížení střechy a běžného podlaží je $8,67/10,8 = 0,8$)

$$= 3*273,96 + 0,8*273,96 = 1012,25 \text{ kN}$$

Užitné zatížení je možné redukovat součinitelem α_n

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2) * \psi_0}{n} = \frac{2 + (4 - 2) * 0,7}{4} = 0,85$$

kde: n je počet pater

$$\psi_0 = 0,7 \text{ (kat. C)}$$

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro vnitřní sloup $\beta = 1,15$ (odhad vzhledem k přitížení okrajů desky bude sloup uvažován jako „vnitřní“)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4*d) = \pi * (300 + 4*219) = 3694,5 \text{ mm}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1012,248}{(0,942 * 0,219)} = 5642,74 \text{ kPa} = 5,64 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1012,248}{(3,695 * 0,219)} = 1438,55 \text{ kPa} = 1,44 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * (1 - 30/250) = \mathbf{0,528}$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) => $f_{cd} = 20$ MPa

$$v_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18/g_M = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 5,64 \text{ MPa} > v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,44 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,36 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

$$k_{max} \text{ smykové trny} = 1,9$$

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

NEVYHOVUJE

Výpočet bude zopakován pro případ použití manžetové hlavice. Vyložení hlavice $a < d$ bude 200 mm.

Změna kontrolovaných obvodů

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * (300+400) = 2199 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

$$u_1 = \pi * (700 + 4*d) = \pi * (700 + 4*219) = 4,951 \text{ m}$$

Smykové napětí

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1012,4}{(2,2 * 0,219)} = 2416,5 \text{ kPa} = 2,42 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1012,4}{(4,95 * 0,219)} = 1073,99 \text{ kPa} = 1,07 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,42 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,07 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,097 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

$$k_{max} \text{ smykové trny} = 1,9$$

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

VYHOVUJE

Při použití hlavic nebo případně většího stupně vyztužení desky nad sloupem, by mělo být možné desku na protlačení vyztužit.

Je zřejmé že se jedná o problémovou, silně namáhanou oblast. Při podrobném návrhu bude protlačení dále řešeno.

C) SLOUP 2

Stanovení síly V_{Ed}

S4	zatížení	hodnota [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 2NP	Z2	1,762	19,97	35,19	1,35	47,50
	U3	0,85*1,5	19,97	25,46	1,5	38,19
	U6	0,8	19,97	15,98	1,5	23,96
	Z3	6,25	19,97	124,81	1,35	168,50
						278,15

Deska je na okrajích zatížena obvodovými stěnami, další podlaží tvoří 3x stropní deska a 1x střešní deska. Vzhledem ke špatnému odhadu toku zatížení se zatížení sloupu odhadne zatížení jako 3x zatížení podlaží + 0,8*zatížení podlaží (odhad zatížení ze střechy, poměr zatížení střechy a běžného podlaží je $8,67/10,8 = 0,8$) = $3*278,15 + 0,8*278,15 = 1056,97$ kN

Užitné zatížení je možné redukovat součinitelem α_n

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2) * \psi_0}{n} = \frac{2 + (4 - 2) * 0,7}{4} = 0,85$$

kde: n je počet pater

$$\psi_0 = 0,7 \text{ (kat. C)}$$

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro rohový sloup $\beta = 1,15$ (odhad vzhledem k přitížení okrajů desky bude sloup uvažován jako „vnitřní“)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4*d) = \pi * (300 + 4*219) = 3694,5 \text{ mm}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1056,97}{(0,942 * 0,219)} = 5892,04 \text{ Pa} = 5,89 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1056,97}{(3,695 * 0,219)} = 1502,1 \text{ kPa} = 1,5 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * (1 - 30/250) = \mathbf{0,528}$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) $\Rightarrow f_{cd} = 20$ MPa

$$v_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18/g_M = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 5,89 \text{ MPa} > v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,5 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,5 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

$$V_{Ed,1} > 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Výpočet bude zopakován pro případ použití manžetové hlavice. Vložení hlavice $a < d$ bude 200 mm.

Změna kontrolovaných obvodů

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * (300+400) = 2199 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

$$u_1 = \pi * (700 + 4*d) = \pi * (700 + 4*219) = 4,951 \text{ m}$$

Smykové napětí

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1056,97}{(2,2 * 0,219)} = 2522,86 \text{ kPa} = 2,52 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1056,97}{(4,95 * 0,219)} = 1121,27 \text{ kPa} = 1,03 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,52 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,03 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,03 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

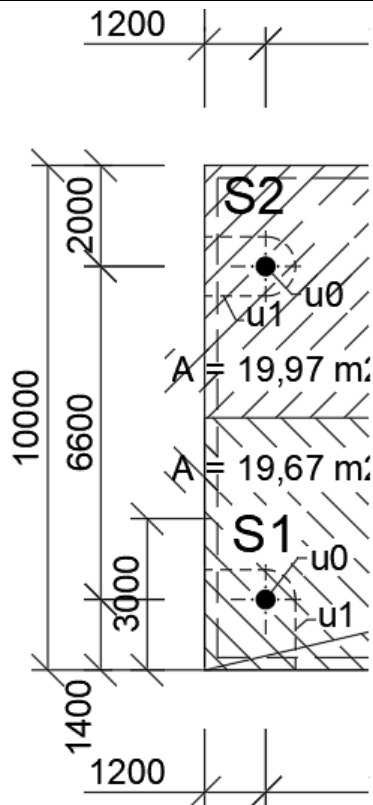
$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

VYHOVUJE

Při použití hlavic nebo případně většího stupně vyztužení desky nad sloupem, by mělo být možné desku na protlačení vyztužit.

Je zřejmé že se jedná o problémovou, silně namáhanou oblast. Při podrobném návrhu bude protlačení dále řešeno.

- Kontrola pro alternativní tvar porušení desky u sloupů S1 a S2



Obrázek 16 – Alternativní kontrolované obvody sloupů S1 a S2

SLOUP S1

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro rohový sloup $\beta = 1,15$ (odhad, vzhledem k přetížení okrajů desky bude sloup uvažován jako „vnitřní“)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = 3525 \text{ mm (odměřeno z AutoCADu)}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1012,4}{(0,942 * 0,219)} = 5643,6 \text{ kPa} = 5,64 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1012,4}{(3,525 * 0,219)} = 1508,16 \text{ kPa} = 1,5 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = \mathbf{0,528}$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) $\Rightarrow f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$$V_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18 / g_M = 0,18 / 1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$V_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 5,64 \text{ MPa} > V_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,5 \text{ MPa} > V_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,5 \text{ MPa} \leq k_{max} * V_{Rd,c}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

$$V_{Ed,1} > 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

NEVYHOVUJE

Výpočet bude zopakován pro případ použití manžetové hlavice. Vyložení hlavice $a < d$ bude 200 mm.

Změna kontrolovaných obvodů

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * (300+400) = 2199 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,837 \text{ m} - \text{odměřeno z autocadu}$$

Smykové napětí

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1012,4}{(2,2 * 0,219)} = 2416,5 \text{ kPa} = 2,42 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1012,4}{(3,837 * 0,219)} = 1385,5 \text{ kPa} = 1,39 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,42 \text{ MPa} < V_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,39 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,39 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

$$k_{max} \text{ smykové trny} = 1,9$$

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Při použití hlavice a většího stupně vyztužení desky nad sloupem, by mělo být možné desku na protlačení vyztužit.

Je zřejmé že se jedná o problémovou, silně namáhanou oblast. Při podrobném návrhu bude protlačení dále řešeno.

SLOUP 2

- Smykové napětí

$$v_{Ed,i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_i * d}$$

kde: β je součinitel vlivu momentů, pro rohový sloup $\beta = 1,15$ (odhad vzhledem k přitížení okrajů desky bude sloup uvažován jako „vnitřní“)

u_i je délka kontrolovaného obvodu

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 300 = 942,48 \text{ mm}$$

$$u_1 = 4250 \text{ mm (odměřeno v AutoCADu)}$$

$$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$$

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1056,97}{(0,942 * 0,219)} = 5892,04 \text{ kPa} = 5,9 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1056,97}{(4,25 * 0,219)} = 1305,95 \text{ kPa} = 1,31 \text{ MPa}$$

- Maximální únosnost v protlačení

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

kde: v je součinitel redukce pevnosti betonu v tlaku

$$v = 0,6 * \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku (beton C 30/37) => $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

- Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

$$\text{kde: } C_{Rd,c} = 0,18 / g_M = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 5,9 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,31 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,31 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

$$V_{Ed,1} > 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

NEVYHOVUJE

Výpočet bude zopakován pro případ použití manžetové hlavice. Vyložení hlavice $a < d$ bude 200 mm.

Změna kontrolovaných obvodů

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * (300+400) = 2199 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

$$u_1 = \text{odměřeno z autocadu} = 4,875 \text{ m}$$

Smykové napětí

$$v_{ED,0} = 1,15 * \frac{1056,97}{(2,2 * 0,219)} = 2522,9 \text{ kPa} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} = 1,15 * \frac{1056,97}{(4,875 * 0,219)} = 1138,52 \text{ kPa} = 1,14 \text{ MPa}$$

Porovnání:

$$V_{Ed,0} = 2,5 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$V_{Ed,1} = 1,14 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE

Nutný návrh smykové výztuže – smykové trny

$$V_{Ed,1} = 1,14 \text{ MPa} \leq k_{max} * v_{Rd,c}$$

k_{max} smykové trny = 1,9

$$V_{Ed,1} \leq 1,9 * 0,579 = 1,1 \text{ Mpa}$$

NEVYHOVUJE

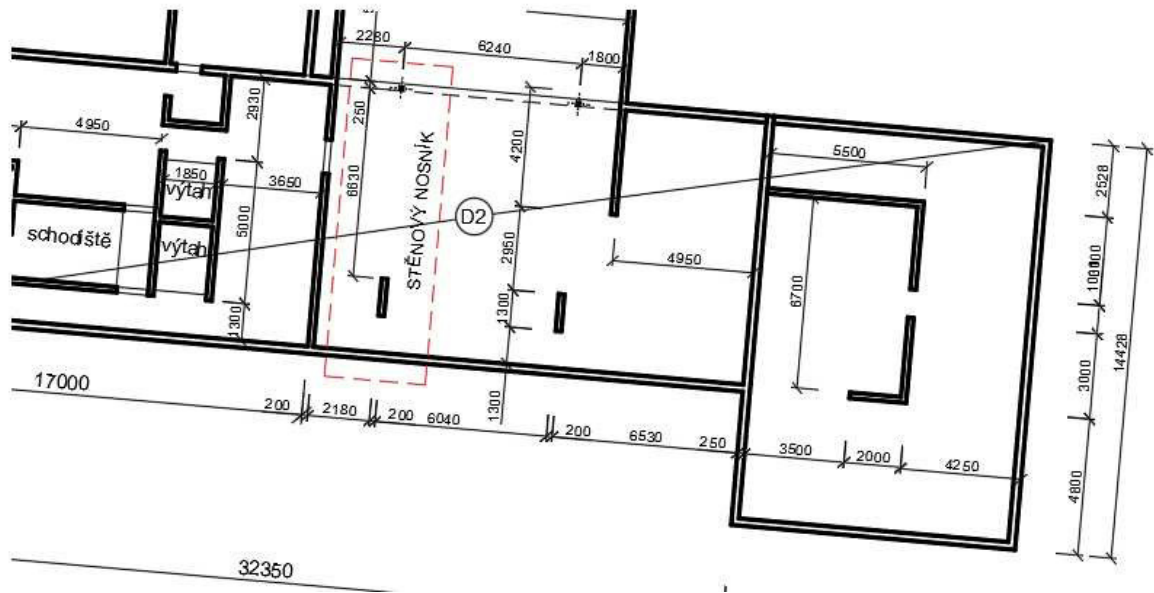
Při použití hlavic a většího stupně vyztužení desky nad sloupem, by mělo být možné desku na protlačení vyztužit.

Je zřejmé že se jedná o problémovou, silně namáhanou oblast. Při podrobném návrhu bude protlačení dále řešeno.

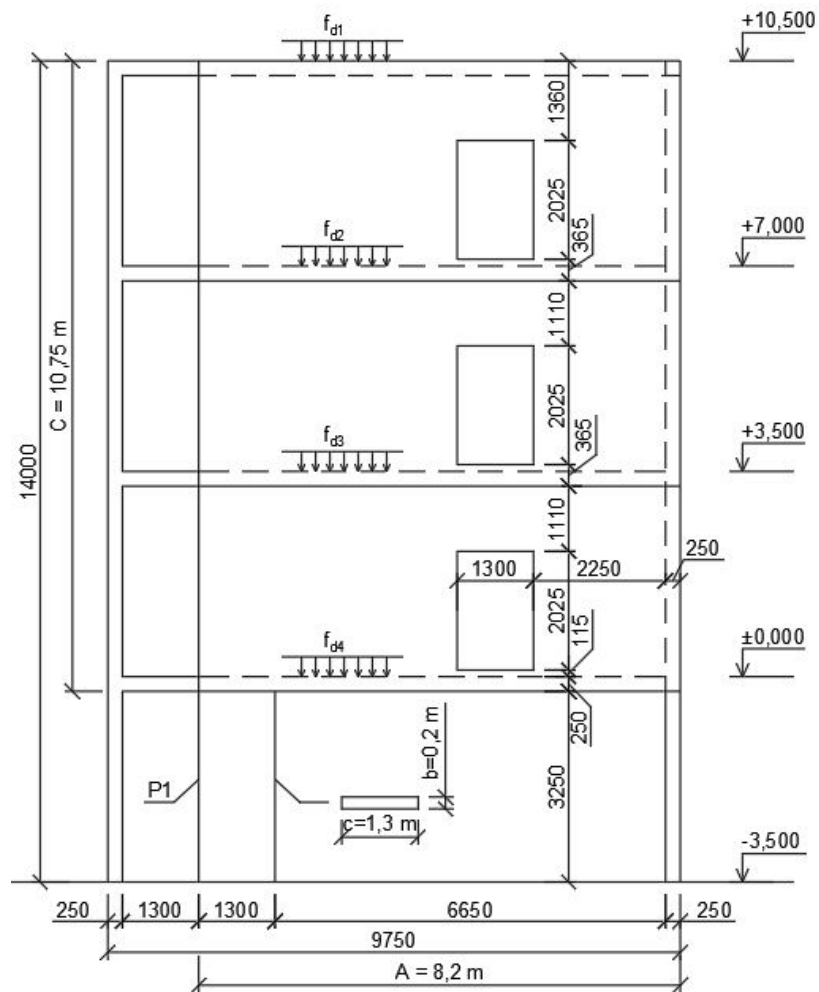
Není nutné navrhovat výztuž na protlačení, ale bude navržena alespoň konstrukční výztuž.

3.4. Stěnový nosník

Stěnových nosníků se v objektu objevuje několik. Pro předběžný návrh – předběžné ověření podpor, byl vybrán stěnový nosník v sekci C.



Obrázek 17 – Schéma polohy stěnového nosníku



Obrázek 18 – Pohled na stěnový nosník

Návrhové liniové zatížení stěnového nosníku (**zatěžovací šířka nosníku B je 6m**)

- $f_{d1} = (Z1+Z3+U1)*B = 8,67*6 + 1,92*6 = 63,54 \text{ kN/m}$ zatížení střechou
- $f_{d2} = (Z2+Z3+U4)*B = 10,816*6 + 1,5*6 = 73,896 \text{ kN/m}$ zatížení 3.NP
- $f_{d3} = (Z2+Z3+U4)*B = 10,816*6+1,5*6 = 73,896 \text{ kN/m}$ zatížení 2.NP
- $f_{d4} = (Z2+Z3+U5)*B = 10,816*6+3*6 = 82,896 \text{ kN/m}$ zatížení 1.NP

Vlastní tíha stěnového nosníku

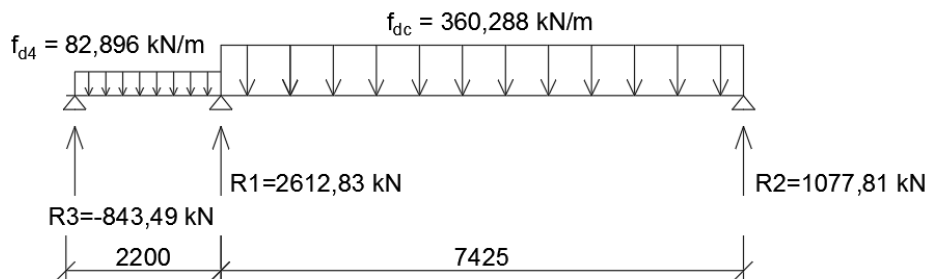
- $f_{d5} = (A*C - \text{otvory}) * \gamma_b * \gamma_f = (8,2*10,75 - 3*1,3*2,025) * 25 * 1,35 = 2708,52 \text{ kN/m} * t_{\text{stěny}}$
 $= 2708,52 * 0,2 = 541,7 \text{ kN}$
- vlastní tíha na 1m' $541,7 \text{ kN} / 8,2 \text{ m} = 66,06 \text{ kN/m}$

Celkové zatížení stěnového nosníku

$$f_{dc} = f_{d1} + f_{d2} + f_{d3} + f_{d4} + f_{d5} = 63,54 + 73,896 + 73,896 + 82,896 + 66,06 = \mathbf{360,288 \text{ kN/m}}$$

Reakce v podporách stěnového nosníku

Reakce byly stanoveny pomocí 2D modelu v softwaru Scia Engineer 15.3.



Obrázek 19 – Schéma zatížení a reakcí stěnového nosníku

1. Nad podporami stěnového nosníku musí být splněny podmínky:

Pro střední podporu (v místě R1)

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

$$V_{Ed} = 1077,81 - 360,288 * 7,425 = -1597,33 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 0,1 * b * k * f_{cd}$$

kde: b = tloušťka stěnového nosíku = 0,2 m

f_{cd} = návrhová pevnost betonu v tlaku = 20 MPa

k = minimum z hodnot l nebo h

l = osově rozpětí podpor = 7,425 m

h = výška stěnového nosníku = 3,5 m

$k = 3,5 \text{ m}$

$$V_{Rd} = 0,1 * 0,2 * 3,5 * 20 * 10^3 = 1400 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

$$\mathbf{1597,33 \text{ kN} > 1400 \text{ kN}}$$

NEVYHOVUJE

=> **zvětšení podpory – zvětšení tloušťky podpory na 250 mm**

$$V_{Rd} = 0,1 * 0,25 * 3,5 * 20 * 10^3 = 1750 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

$$1597,33 \text{ kN} < 1750 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2. V podporách stěnového nosníku musí být splněny podmínky:

Podmínka pro krajní podporu:

$$R2 \leq 0,8 * b * (c+d) * f_{cd} = 0,8 * 0,25 * 0,25 * 20 * 10^3 = 1000 \text{ kN}$$

$$d = 0$$

$$1077,81 \text{ kN} > 800 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE=> **zvětšení podpory:** min. rozměr $c = 1077,81 / (0,8 * 0,25 * 20 * 10^3) = 0,269 \text{ m} =$ návrh rozměru sloupu 250/300 mm

$$R2 \leq 0,8 * b * (c+d) * f_{cd} = 0,8 * 0,25 * 0,30 * 20 * 10^3 = 1200 \text{ kN}$$

$$d = 0$$

$$1077,81 \text{ kN} < 1200 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

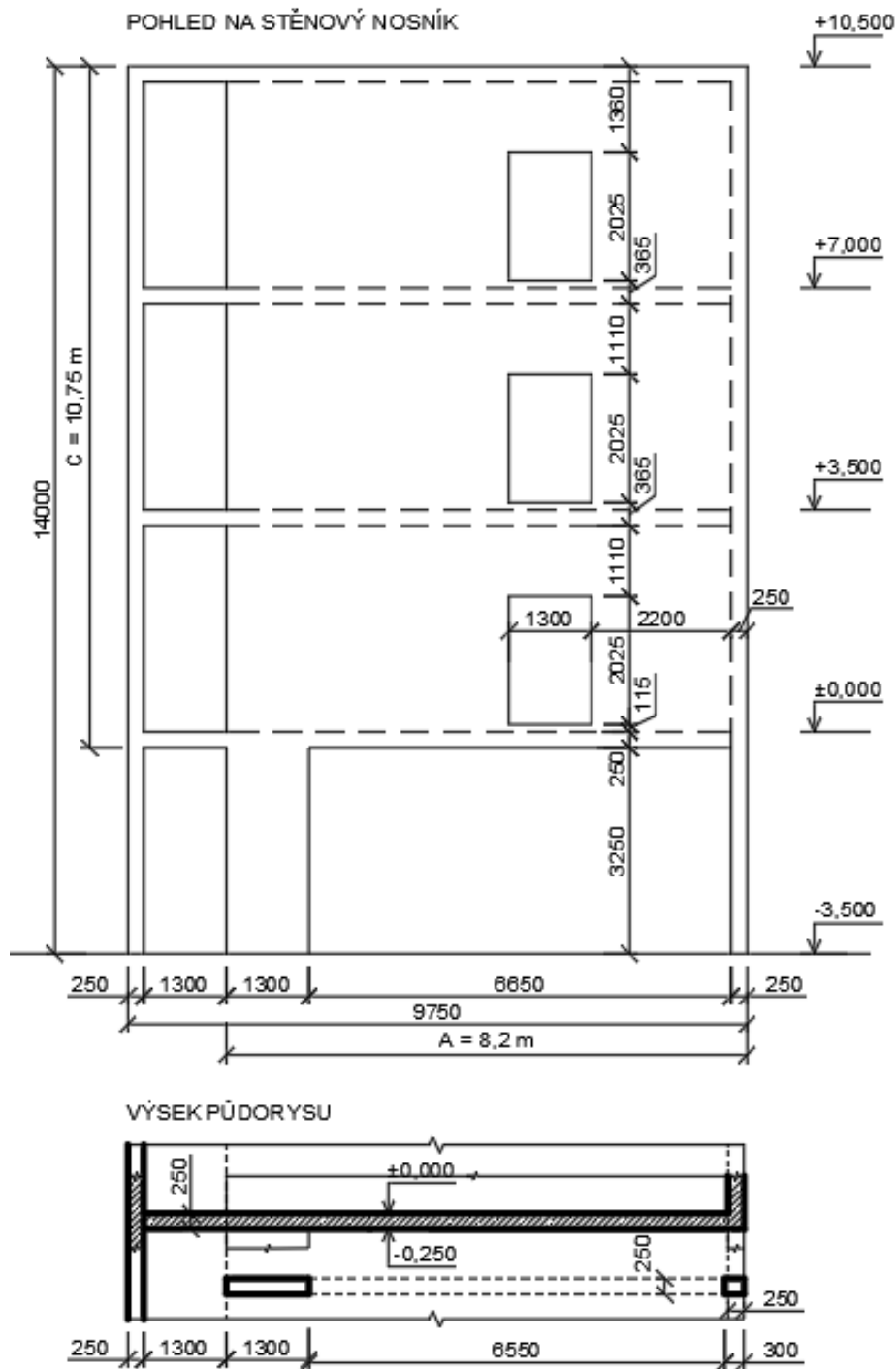
Podmínka pro vnitřní podporu:

$$R1 \leq 1,2 * b * (c+2d) * f_{cd} = 0,8 * 0,25 * 1,3 * 20 * 10^3 = 5200 \text{ kN}$$

$$d = 0$$

$$2612,83 \text{ kN} < 5200 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



Obrázek 20 – Konečné schéma stěnového nosníku

Dle předběžného návrhu byly upraveny rozměry podpor nosníku.

3.5. Ověření suterénní stěny

Návrh konstrukce základů je uveden v kapitole. V této chvíli bude pouze ověřena konstrukce suterénní stěny.

Tloušťka stěny je 250 mm a z vnější strany je chráněna fóliovou hydroizolací.

- Výpočet nominální hodnoty tloušťky betonové krycí vrstvy základové desky a suterénní stěny $c_{nom,2}$

$$c_{nom,2} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

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

kde: $c_{min,b}$ je minimální krycí výztuže s ohledem na soudržnost = profil výztuže
(volím $\varnothing 12 \text{ mm}$) = **12 mm**

$c_{min,dur}$ je minimální krycí výztuže s ohledem na prostředí, ve kterém se konstrukce nachází (třída prostředí = XC2; konstrukční třída S4)
= **25 mm**

$\Delta c_{dur,\gamma}$ je přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti = **0 mm**

$\Delta c_{dur,st}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli (nepředpokládá se) =
0 mm

$\Delta c_{dur,add}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití dodatečné ochrany (nepředpokládá se) = **0 mm**

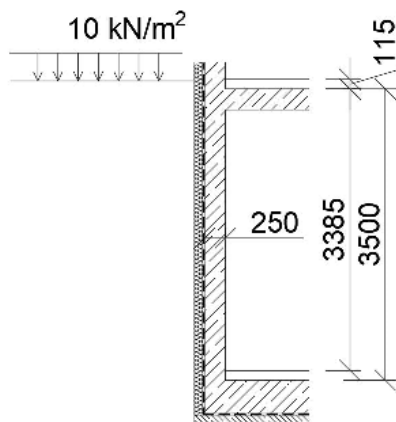
Δc_{dev} je přídavek na návrhovou odchylku = **10 mm** (doporučená hodnota)

$$c_{min} = \text{maximální hodnota } (12 \text{ mm}; 10 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = \mathbf{12 \text{ mm}}$$

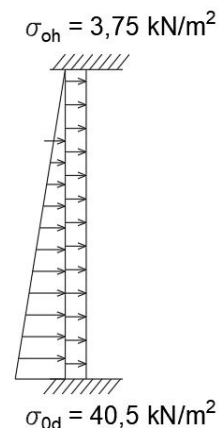
$$c_{nom,2} = 12 + 25 = 37 \text{ mm} \Rightarrow \text{zaokrouhlení na } 40 \text{ mm}$$

Nominální hodnota krycí vrstvy výztuže stanovena na 40 mm.

Na suterénní stěnu působí zemní tlak v klidu a přitížení 10 kN/m^2 , které bylo zvoleno s ohledem na možnost skladování materiálu nebo pojezdu těžkých strojů a vozidel v blízkosti konstrukce během výstavby. Tloušťka stěny je předběžně zvolena 250 mm a tato tloušťka bude ověřena.



Obrázek 22 – Schéma suterénní stěny



Obrázek 21 – Schéma zatížení suterénní stěny

Výpočet působení zemního tlaku a přitížení na stěnu:

- tloušťka stěny $t = 250 \text{ mm}$
- výška stěny $h = 3,5 \text{ m}$
- zemina G2 $\Rightarrow \gamma_z = 21 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 33^\circ$
- přitížení $f_p = 10 \text{ kN/m}^2$
- součinitel zemního tlaku $K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 33 = 0,455$

tlak od přitížení

$$\sigma_{0h} = f_p * \gamma_g * K_0 = 10 * 1,5 * 0,455 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

zemní tlak v klidu

$$\sigma_z = \gamma_z * h * K_0 = 21 * 3,5 * 0,455 = 36,75 \text{ kN/m}^2$$

tlak na stěnu celkem

$$\sigma_{0d} = \sigma_{0h} + \sigma_z = 7,5 + 36,75 = 44,25 \text{ kN/m}^2$$

Ověření stěny:

- krytí $c = 40 \text{ mm}$
- účinná výška $d = 250 - 40 - 12/2 = 204 \text{ mm}$

poměrný ohybový moment

$$\mu = \frac{m_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} = \frac{29,48}{1 * 0,204^2 * 20 * 10^3} = 0,035$$

$$\Rightarrow \zeta = 0,9825$$

$$\xi = 0,0445 < \xi_{bal,1} = 0,617 \text{ (pro desky } \xi_{optimální} \sim 0,05-0,1 \text{)}$$

VYHOVUJE

nutná plocha výztuže

$$A_s = \frac{m_{ed}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{29,48 * 10^6}{0,9825 * 0,204 * 434 * 10^3} = 338,9 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{návrh } 5\phi 10 \quad A_{s,prov} = 393 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{účinná výška } d = 250 - 40 - 5 = 205 \text{ mm}$$

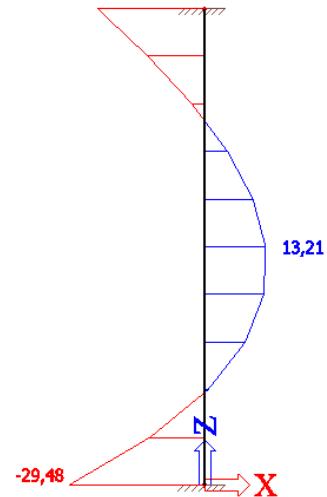
výška tlačené oblasti

$$x = \frac{A_{s,prov} * f_{yd}}{b * 0,8 * f_{cd}} = \frac{393 * 434}{1000 * 0,8 * 20} = 10,66 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{10,66}{205} = 0,052 < \xi_{bal,1} = 0,617 \text{ (pro desky } \xi_{optimální} \sim 0,05-0,1 \text{)}$$

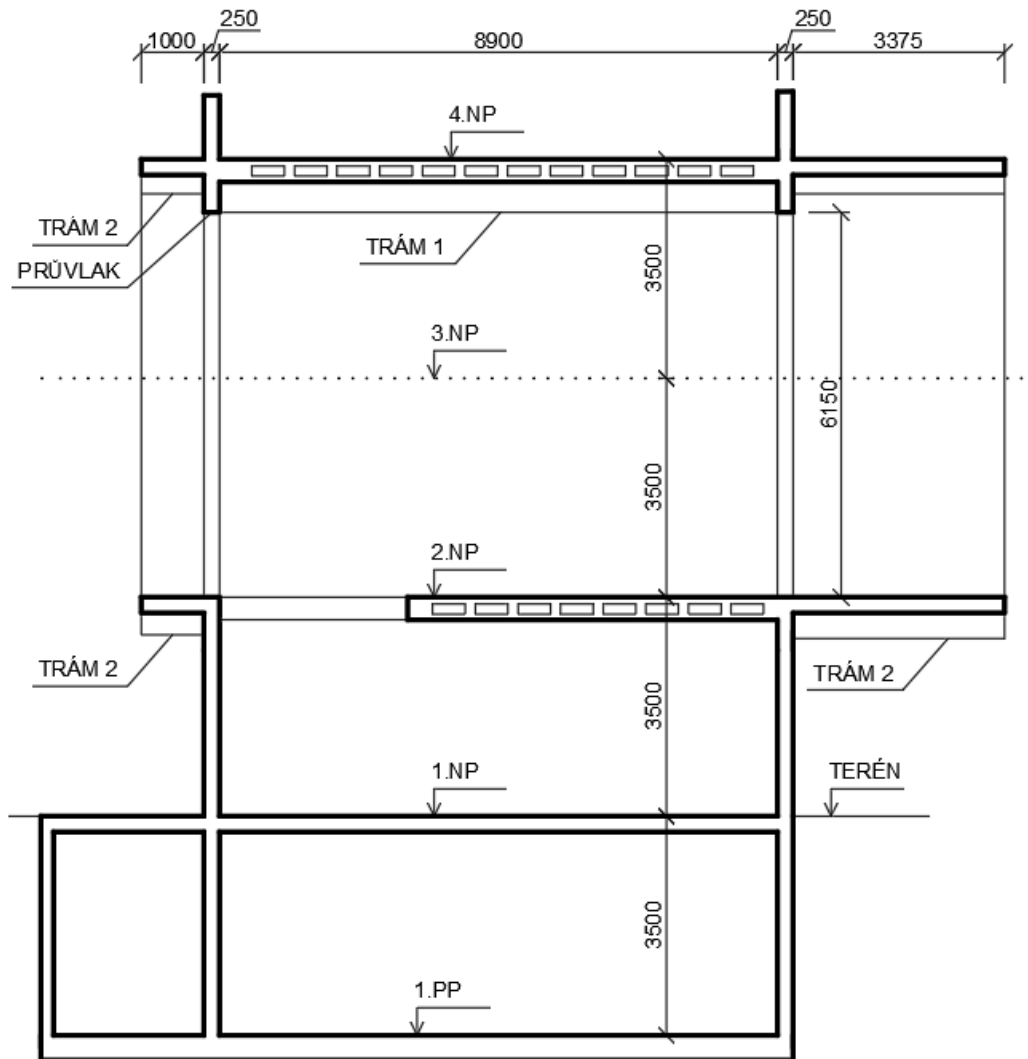
VYHOVUJE

Stěna tloušťky 250 mm vyhoví na ohybový moment od působení zemního tlaku a přitížení.



Obrázek 23 – Ohybový moment [kNm]

3.6. Předběžný návrh prvků vykonzolované části konstrukce v sekci B



Obrázek 24 – Řez částí objektu

Průvlak ve 4. NP empiricky ($l_{\max} = 5,7 \text{ m}$)

$$h = \frac{l}{12} \div \frac{l}{8} = \frac{5,7}{12} \div \frac{5,7}{8} = 0,475 \div 0,7125 \text{ m} \quad \Rightarrow$$

NÁVRH $h = 600 \text{ mm}$

$$b = (0,4 \div 0,5)h = 0,4 \cdot 600 \div 0,5 \cdot 600 = 240 \div 120 \text{ mm} \quad \Rightarrow$$

NÁVRH $b = 250 \text{ mm}$ **Průvlak P1 je předběžně navržen o rozměrech 250/600 mm**Trám 1 ve 4.NP empiricky ($l_{\max} = 9,15 \text{ m}$)

$$h = \frac{l}{15} \div \frac{l}{10} = \frac{9,15}{15} \div \frac{9,15}{10} = 0,61 \div 0,915 \text{ m} \quad \Rightarrow$$

NÁVRH $h = 600 \text{ mm}$

$$b = (0,4 \div 0,5)h = 0,4 \cdot 600 \div 0,5 \cdot 600 = 240 \div 300 \text{ mm} \Rightarrow$$

NÁVRH $b = 250 \text{ mm}$ **Trám T1 je předběžně navržen o rozměrech 250/600 mm**

Trám 2 empiricky ve 2.NP a 4. NP, konzola ($l_{max} = 3,99$ m)

$$h = \frac{l}{8} \div \frac{l}{10} = \frac{3,99}{8} \div \frac{3,99}{10} = 0,499 \div 0,399 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \text{NÁVRH } h = 600 \text{ mm}$$

Trám T2 je předběžně navržen o rozměrech 250/600 mm

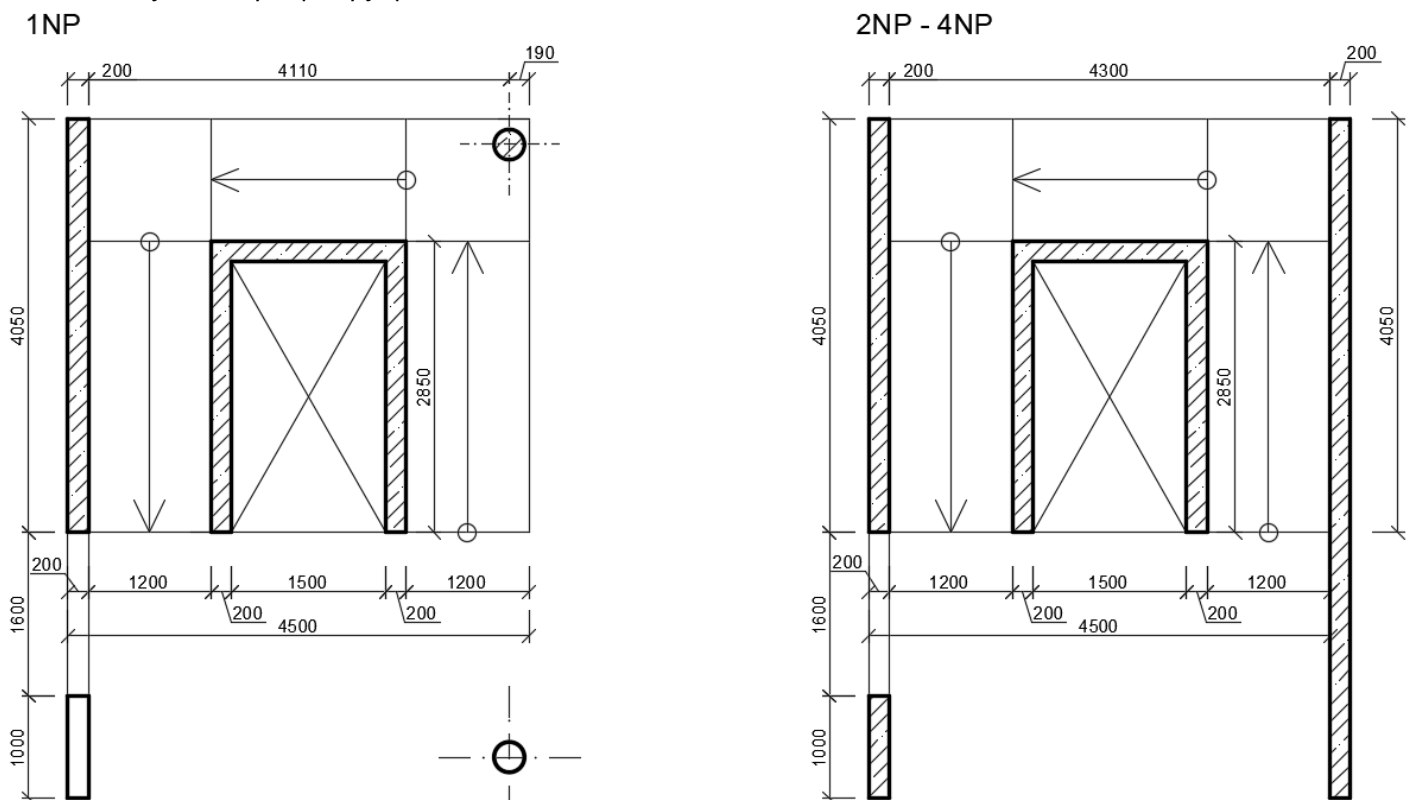
Svislé nosné prvky v této sekci budou pravděpodobně štíhlé. Vzhledem k působícímu zatížení lze však předpokládat, že při posouzení vyhoví.

3.7. Předběžný návrh schodišť v objektu

V objektu se nachází 4 schodiště. Zjednodušeně byla navržena všechna schodiště. Konstrukční výška objektu je 3,5 m.

3.7.1. Schodiště 1

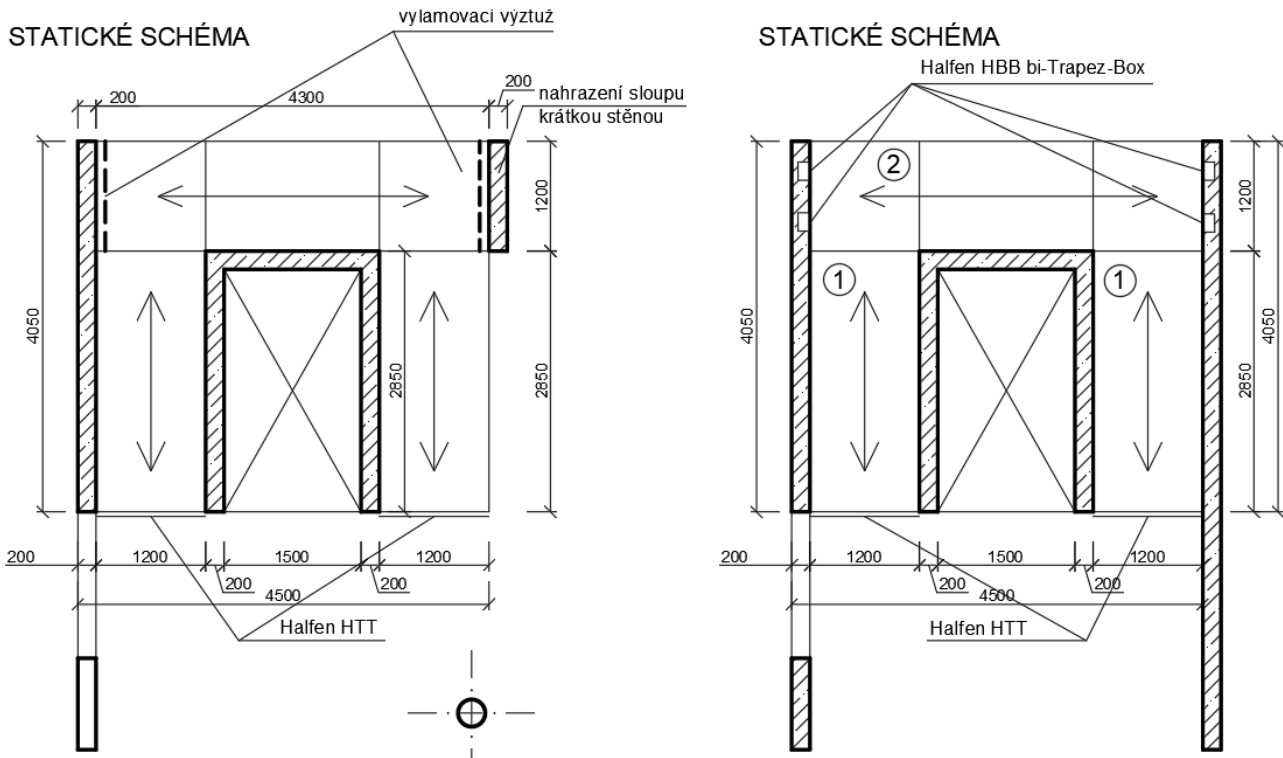
Schodiště se nachází v sekci A a tvoří vertikální komunikaci z 1NP až do 4NP. Jedná se o trojramenné schodiště s dvěma mezipodestami. Schodiště má 21 stupňů, rozměry těchto stupňů jsou 175/280 mm. Šířka ramen je 1200 mm. V zrcadle schodiště se nachází výtahová šachta. Statické uspořádání schodiště mezi jednotlivými patry je patrné ze schémat.



Obrázek 25 – Schémata schodiště

V rámci tvorby statických schémat, byla upravena konstrukce schodiště z 1NP do 2NP, kde byl sloup podírající mezipodestu a střední rameno nahrazen krátkou stěnou, ve které bude uložena vylamovací výztuž.

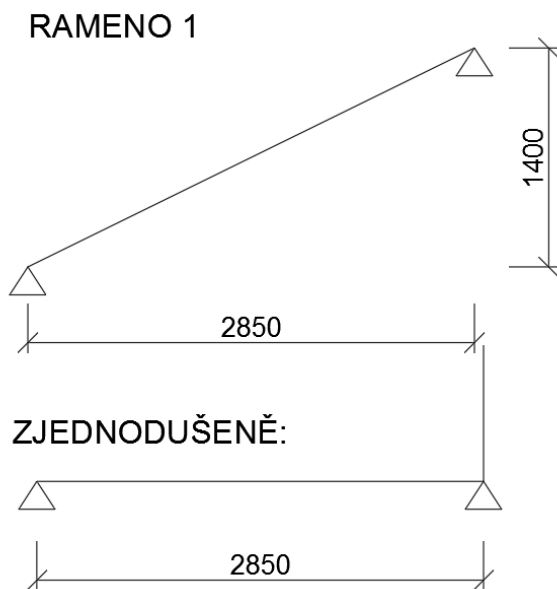
Schodiště je v místě uložení na stropní desku doplněno o akustické prvky Halfen.



Obrázek 26 – Statická schémata schodiště

Návrh ramene č. 1

Návrh tloušťky desek schodišťových ramen bude proveden dle vymezející ohybové štíhlosti a z empirie.



Obrázek 27 – Statické schéma ramene 1

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{\max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s, prov}}{A_{s, req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d, tab}$ je tabulková hodnota vymezující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **20,5** pro prostý nosník

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 20,5 = 24,6$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 2850 / 24,6$$

$$d \geq \mathbf{115,85}$$

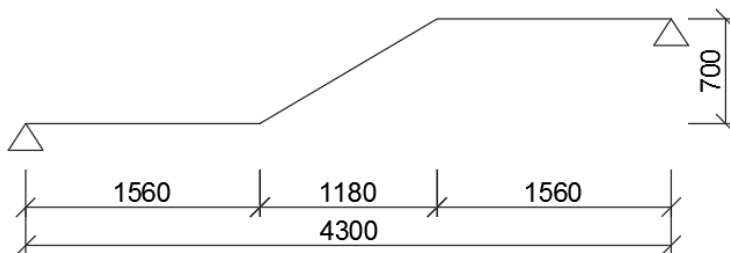
$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 115,85 + 25 + (12/2) = \mathbf{146,85 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{120 \div 150 \text{ mm}}$$

Empirie:

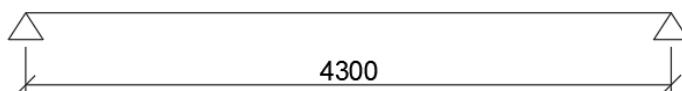
$$h_d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * l = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * 2850 = \mathbf{142,5 \div 114 \text{ mm}} \Rightarrow \text{Návrh } 130 \text{ mm}$$

Tloušťku desky volím 130 mm.

RAMENO 2



ZJEDNODUŠENĚ:



Obrázek 28 – Statické schéma rameno 2

Vymezující ohybová štíhlost:

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{\max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s, prov}}{A_{s, req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d, tab}$ je tabulková hodnota vymezující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$,
beton C30/37) = **20,5** pro prostý nosník

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 20,5 = 24,6$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 4300 / 24,6$$

$$d \geq \mathbf{174,797}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 174,8 + 25 + (12/2) = \mathbf{205,8 \text{ mm}} \Rightarrow h_d - \mathbf{200 \div 210 \text{ mm}}$$

Empirie:

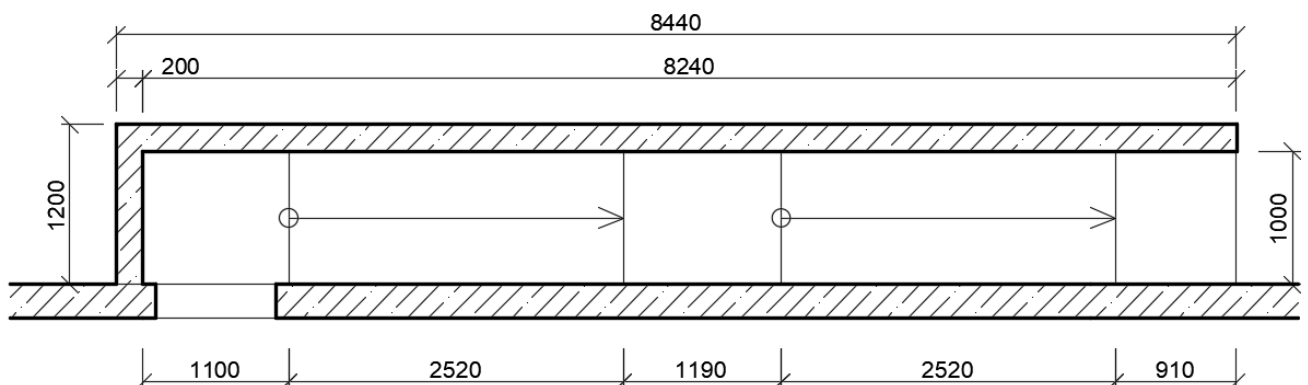
$$h_d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * l = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * 4300 = \mathbf{215 \div 172 \text{ mm}} \Rightarrow \text{Návrh } 200 \text{ mm}$$

Tloušťku desky volím 200 mm.

3.7.2. Schodiště 2

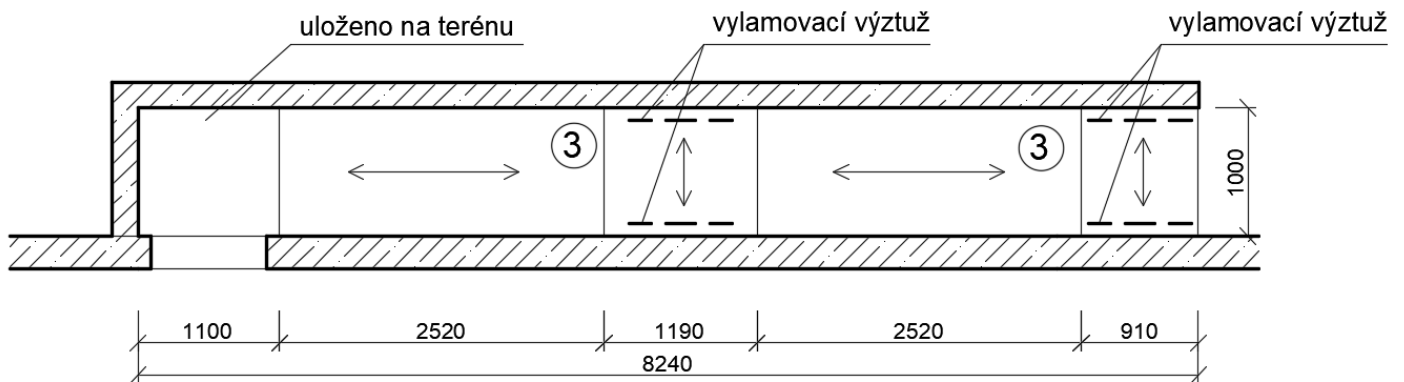
Jedná se o venkovní jednoramenné přímé schodiště s mezipodestou, které vede z 1PP do 1NP a které je půdorysně umístěno vedle sekce B. Schodiště je uloženo do železobetonových schodišťových stěn a má 20 stupňů o rozměrech 175/280 mm.

1PP - 1NP



Obrázek 29 – Schéma schodiště 1.PP – 1.NP

STATICKÉ SCHÉMA



Obrázek 30 – Statické schéma schodiště 1.PP – 1.NP

1. Návrh tloušťky desky mezipodesty

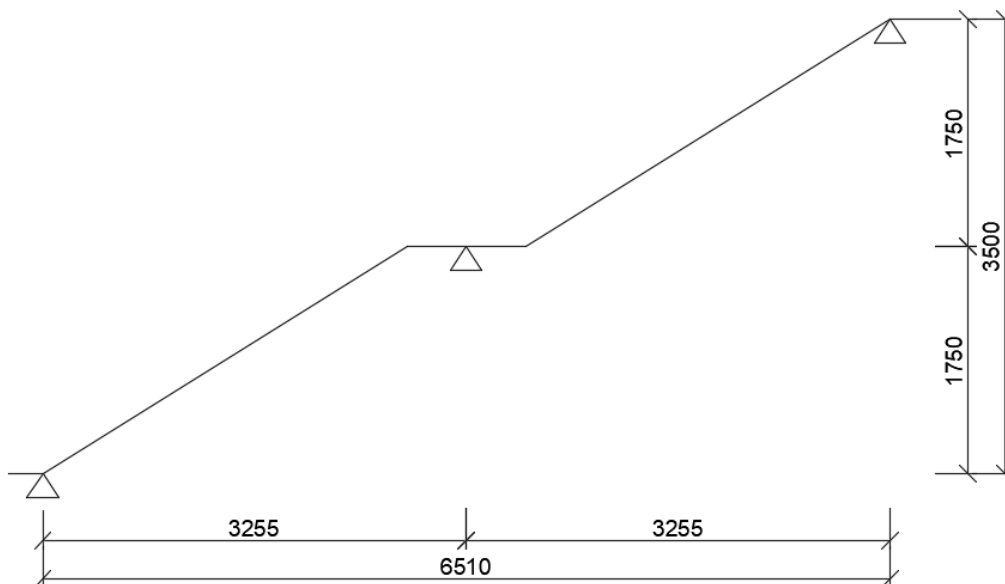
Návrh bude proveden z empirie, vzhledem k rozpětí a uložení schodiště.

$$h_d = \left(\frac{1}{30} \div \frac{1}{35} \right) * l = \left(\frac{1}{30} \div \frac{1}{35} \right) * 1000 = 33,33 \div 28,6 \Rightarrow \text{tloušťka desky min. 50 mm}$$

Tloušťka mezipodesty schodiště vychází malá vzhledem k malému rozpětí a uložení schodiště do obvodových stěn. Tloušťka desky závisí na typu použitých vylamovacích lišt.

2. Návrh tloušťky ramene schodiště

Zjednodušeně bude použito následující schéma



Obrázek 31 – Statické schéma ramene

Vymezující ohybová štíhlost:

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **26** pro krajní pole spojitého nosníku

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 26 = 31,2$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 3255 / 31,2$$

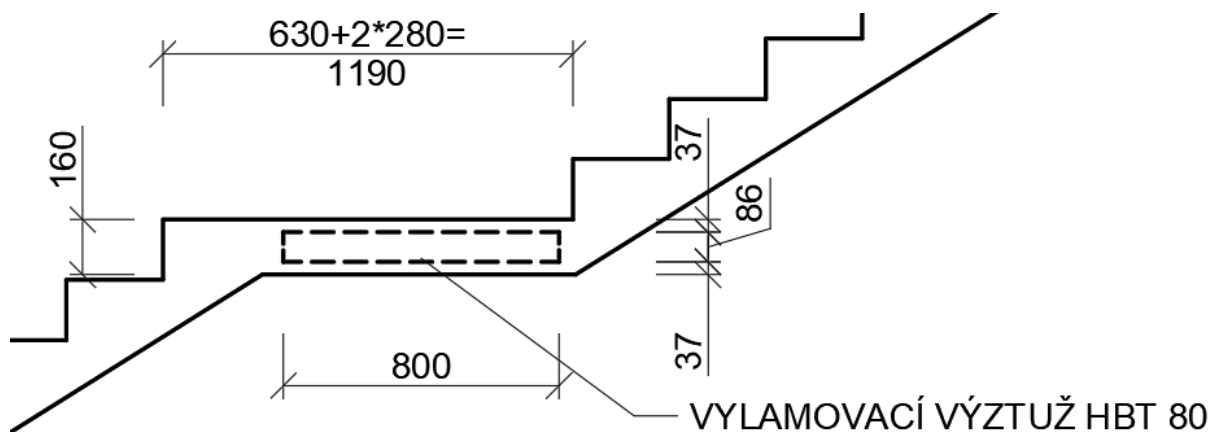
$$d \geq \mathbf{104,33}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 104,33 + 40 + (12/2) = \mathbf{150,33 \text{ mm}} \Rightarrow h_d - \mathbf{140 \div 160 \text{ mm}}$$

Empirie:

$$h_d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * l = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * 3255 = \mathbf{130,2 \div 162,75 \text{ mm}} \Rightarrow \text{Návrh } 200 \text{ mm}$$

Tloušťka desky bude zvolena v závislosti typu použité vylamovací výztuže.

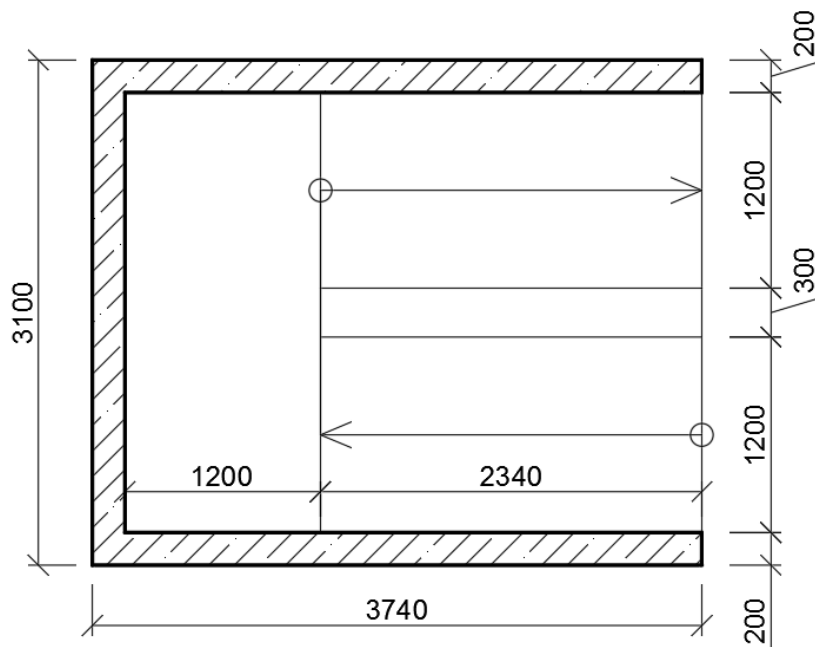


Obrázek 32 – Schéma umístění vylamovací výztuže

V případě použití výztuže Halfen HBT 80 typu 6 (délka 800 mm) je zvolena tloušťka desky 140 mm. Návrh tloušťky ovlivnil i fakt, že se schodiště nachází venku a nemá povrchovou úpravu – bylo uvažováno větší krytí výztuže.

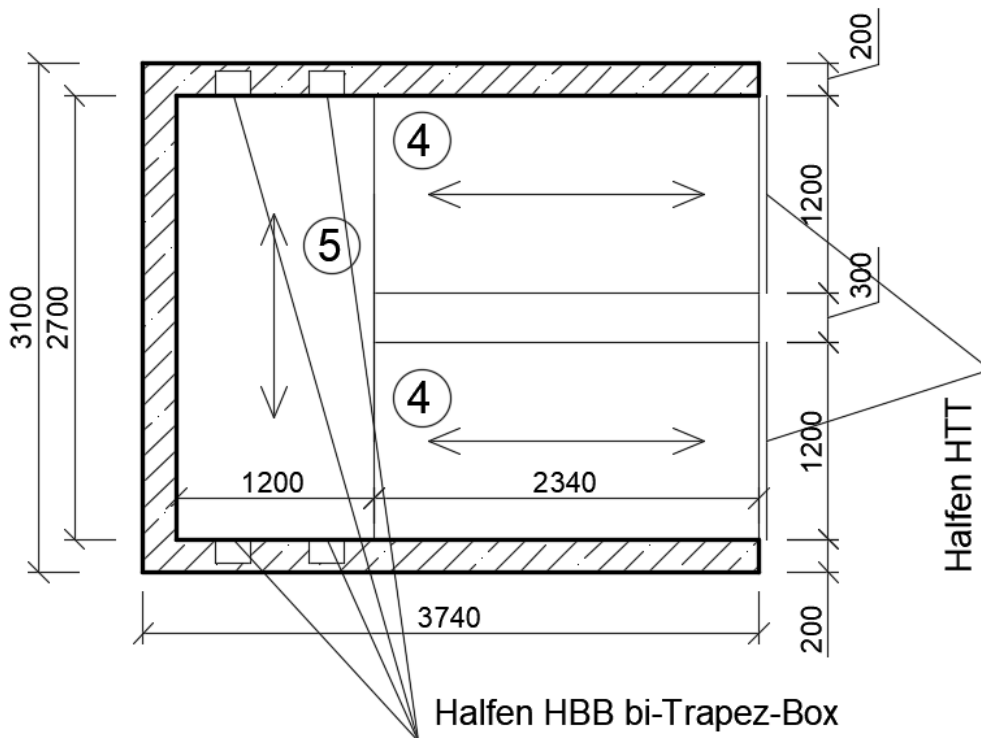
3.7.3. Schodiště 3

Jedná se o dvouramenné schodiště v sekci C, které slouží pro pohyb veřejnosti. Má 20 stupňů o rozměrech 175/260 mm. Statické působení schodiště je zřejmé ze schémat. Schodiště je doplněno o akustické prvky Halfen.



Obrázek 33 – Schéma schodiště 3

STATICKÉ SCHÉMA



Obrázek 34 – Statické schéma schodiště 3

Návrh tloušťky desek schodiště 4 a 5 bude proveden z empirie a vymezení ohybové štíhlosti.

Rameno – deska 4

Vymezení ohybová štíhlost:

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

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

kde: κ_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0

κ_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{max} < 7 \text{ m}$) $\gg \kappa_{c2} = 1,0$

κ_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$\kappa_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $\kappa_{c3} = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymezení ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **20,5** pro prostý nosník

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 20,5 = 24,6$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 2340 / 24,6$$

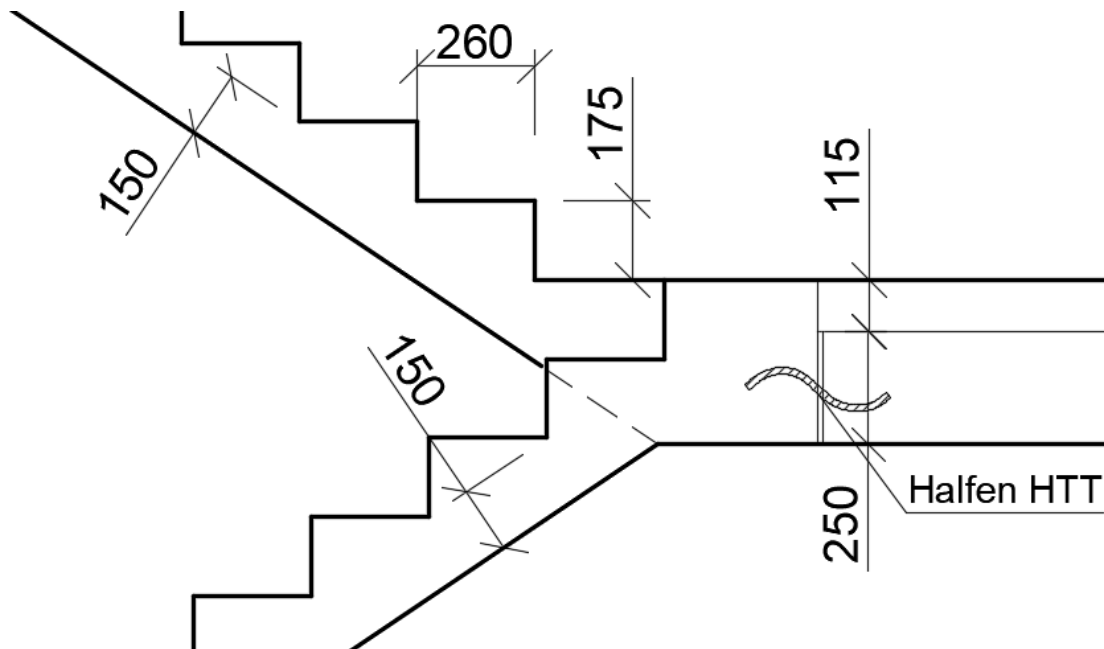
$$d \geq \mathbf{95,12}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 95,12 + 25 + (12/2) = \mathbf{126,12 \text{ mm}} \Rightarrow h_d - \mathbf{110 \div 140 \text{ mm}}$$

Empirie:

$$h_d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * l = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * 2340 = \mathbf{117 \div 93,6 \text{ mm}} \Rightarrow \text{Návrh } 130 \text{ mm}$$

Tloušťku desky bude minimálně 130 mm. Výsledná tloušťka bude stanovena z detailu napojení schodišťových ramen na podestě.



Obrázek 35 – Detail napojení schodišťových ramen

Podesta – deska 5

Vymežující ohybová štíhlost:

$$\lambda = l/d \leq \lambda_d$$

$$\lambda_d = K_{c1} * K_{c2} * K_{c3} * \lambda_{d,tab}$$

kde: K_{c1} je závislost na tvaru průřezu, obdélníkový průřez = 1,0 K_{c2} je závislost na rozpětí ($l_{max} < 7 \text{ m}$) $\gg K_{c2} = 1,0$ K_{c3} je součinitel napětí tahové výztuže

$$K_{c3} \sim \frac{500}{f_{yk}} * \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = 1,2$$

pro odhad využití výztuže 80% je $K_{c3} = 1,2$ $\lambda_{d,tab}$ je tabulková hodnota vymežující ohybové štíhlosti (stupeň vyztužení $\rho = 0,5\%$, beton C30/37) = **20,5** pro prostý nosník

$$\lambda_d = 1,0 * 1,0 * 1,2 * 20,5 = 24,6$$

d je účinná výška průřezu

$$d \geq l / \lambda_d$$

$$d \geq 2700 / 24,6$$

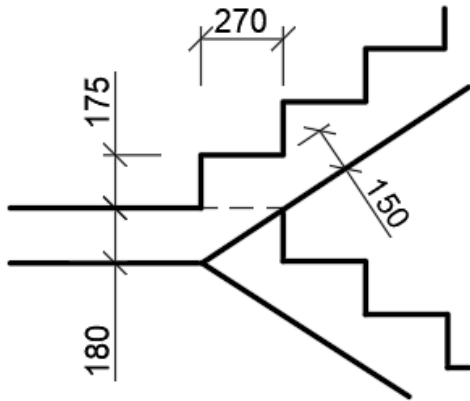
$$d \geq \mathbf{109,8}$$

$$d = h_d - c - (\phi/2) \Rightarrow h_d = d + c + (\phi/2) = 109,8 + 25 + (12/2) = \mathbf{140,8 \text{ mm}} \Rightarrow h_d - \mathbf{130 \div 150 \text{ mm}}$$

Empirie:

$$h_d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * l = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{25} \right) * 2700 = 135 \div 108 \text{ mm} \Rightarrow \text{Návrh } 150 \text{ mm}$$

Z důvodu geometrie zalomení spodní hrany mezipodesty je tloušťka desky zvolena 180 mm.

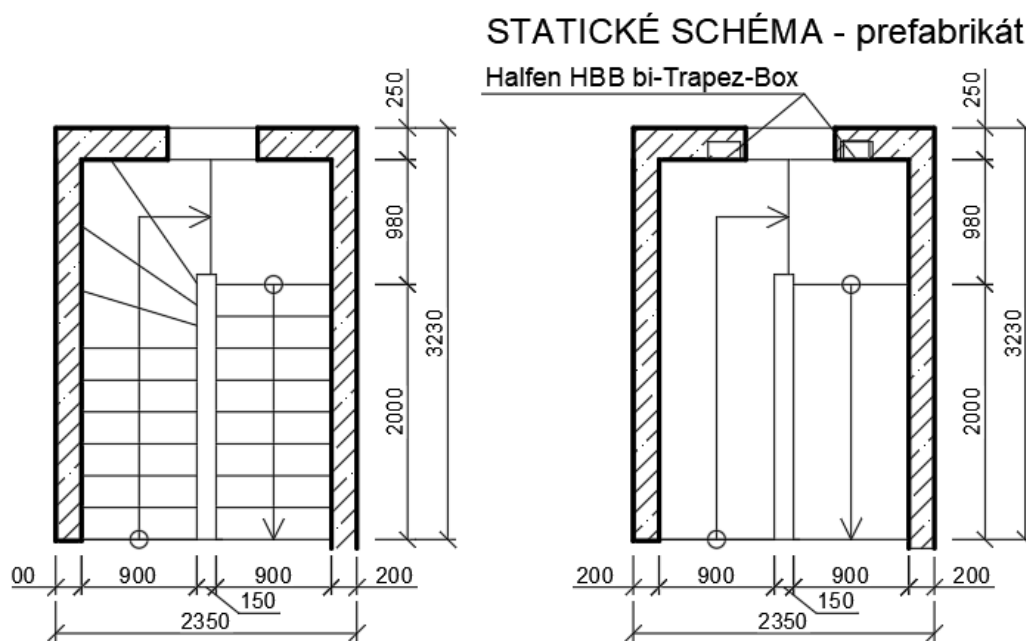


Obrázek 36 – Detail geometrie zalomení spodní hrany

3.7.4. Schodiště 4

Jedná se o zakřivené jednoramenné schodiště s mezipodestou v sekci C, které vede pouze z 1PP do 1NP a slouží pouze pro personál hotelu k zásobování kuchyně. Schodiště má 20 stupňů o rozměrech 175/250 mm.

Schodiště je navrženo jako prefabrikát uložený do monolitických železobetonových stěn přes prvky pro tlumení kročejového hluku Halfen HBB bi-Trapez-Box.



Obrázek 37 – Schémata schodiště 4

3.8. Dilatační spáry

Objekt je rozdělen dvěma dilatačními spárami na 3 jednotlivé sekce A, B a C.

Délkové rozměry jednotlivých sekcí jsou:

Sekce A = 42,8 m

Sekce B = 21,5 m

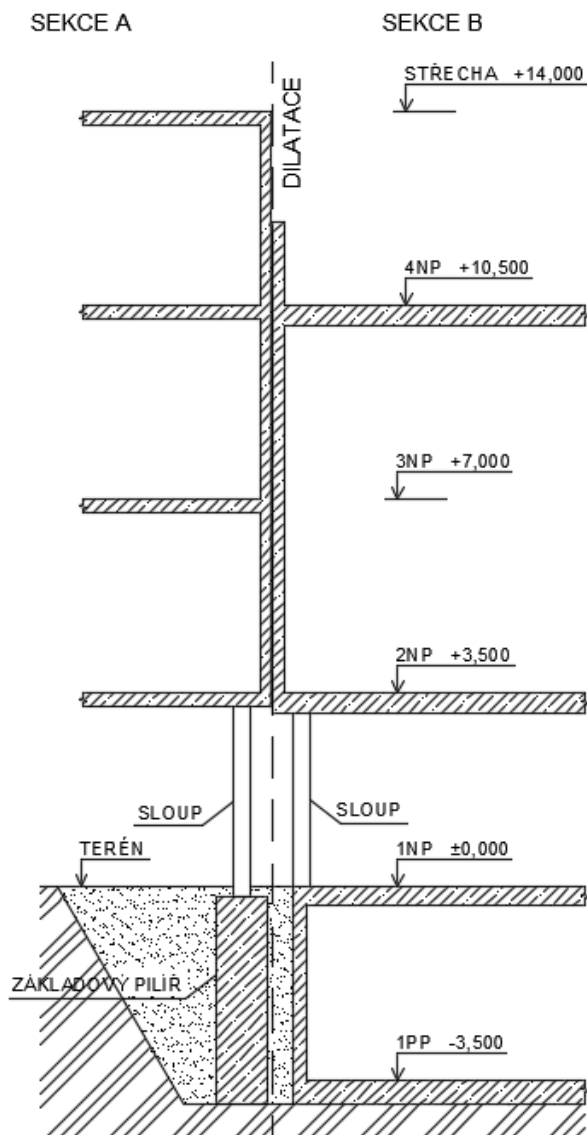
Sekce C = 32,6 m

Velikosti dilatačních celků jsou zvoleny s ohledem na členění objektu a na tabulkové hodnoty maximálních dilatačních celků.

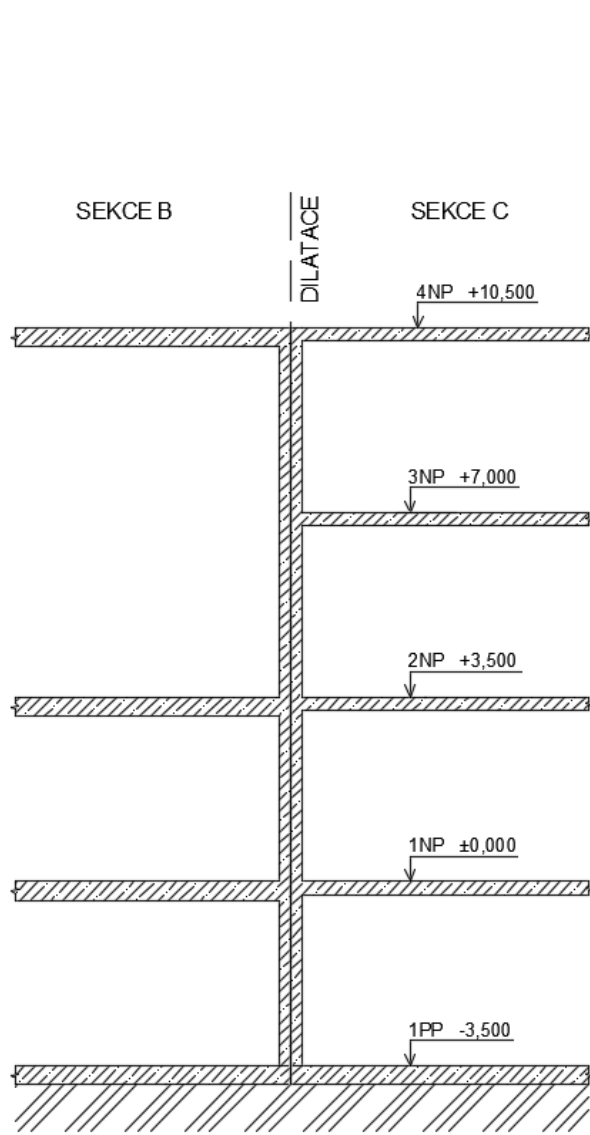
Šířka dilatačních spár je orientačně zvolena 20 mm. Při podrobném návrhu by bylo nutné tuto šířku ověřit a navrhnout výplň dilatační spáry.

3.8.1. Dilatační spára č. 1

Je spára mezi sekcemi A a B. Jedná se o spáru vytvořenou z důvodu rozdílného sedání sekcí – sekce A je vyšší o jedno podlaží a není na rozdíl od sekce B podsklepená.



Obrázek 38 – Dilatační spára č.1



Obrázek 39 – Dilatační spára č.2

3.8.2. Dilatační spára č. 2

Je spára mezi sekcemi B a C. Tato spára je vytvořená z důvodu teplotní roztažnosti konstrukce. Obě sekce jsou podsklepené, dilatační spára prochází základovou deskou, ale základová deska je propojena smykovými trny.

Návrh šířky dilatační spáry – z pohledu teplotní roztažnosti:

$$\Delta l = l_{\max} \cdot \alpha \cdot \Delta \Theta_p$$

$$l_{\max} = 42,8 \text{ m}$$

$$\alpha = (\text{součinitel teplotní roztažnosti – beton}) = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta \Theta_p = 30 \text{ K (rozdíl teplot konstrukce)}$$

$$\Delta l = 42,8 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 0,0154 \text{ m} \Rightarrow$$

NÁVRH ŠÍŘKY SPÁRY 20 mm

4. Tvorba a ověření 3D modelu objektu

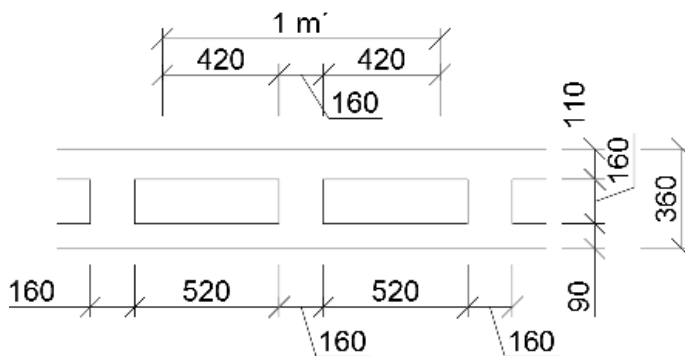
4.1. Tvorba 3D modelu

Po dokončení předběžného návrhu byl v softwaru Scia Engineer 15.3 vytvořen celkový 3D model objektu. Cílem bylo vytvořit model, ze kterého by byly následně převzaty vnitřní síly v konstrukci pro podrobný návrh výztuže vybraných konstrukčních prvků.

4.1.1. Modelování vylehčení stropní desky (D3) – U-Boot Beton

Vylehčená stropní deska byla v modelu vytvořena jako plná deska o náhradní tloušťce, která bude zatížena záporným plošným zatížením působícím jako odlehčení desky.

- tl. vylehčené desky = 360 mm
- šířka žeber = 160 mm
- vylehčovací tvarovky = 520/520/160 mm



Obrázek 40 – Schematický řez vylehčené stropní desky

Určení náhradní tloušťky desky

Tloušťka desky 200 mm by sice odpovídala hmotností, ale neodpovídala by momentem setrvačnosti průřezu. Proto bude náhradní tloušťka určena z momentu setrvačnosti vylehčené desky I_{y360} .

- moment setrvačnosti vylehčené desky tl. 360 mm

$$I_{y360} = (1/12) * b * h^3 - ((1/12) * b * h^3 + b * h * z^2) * 2 = (1/12) * 1,0 * 0,36^3 - (((1/12) * 0,42 * 0,16^3 + 0,42 * 0,16 * 0,01^2) * 2) = 3,58784 * 10^{-3} \text{ m}^4$$
- stanovení náhradní tloušťky desky

$$I_{y360} = (1/12) * 1\text{m} * h_{\text{náhr}}^3$$

$$h_{\text{náhr}} = \sqrt[3]{(I_{y360} * 12)} = \sqrt[3]{(3,58784 * 10^{-3} * 12)} = 0,35 \text{ m}$$

V modelu je nutné zohlednit tíhu desky, která bude vymodelována s tloušťkou 350 mm, ale tíha desky ve skutečnosti odpovídá tloušťce 200 mm. Proto bude do modelu zadáno záporné zatížení – odlehčení této desky.

Odlehčení

Tíha desky 200 mm = $0,2 * 25 = 5 \text{ kN/m}^2$

Tíha desky 350 mm = $0,35 * 25 = 8,75 \text{ kN/m}^2$

Odlehčení bude vyrovnávat rozdíl mezi těmito hodnotami a bude tedy **3,75 kN/m²**.

Na okrajích desky, v místech uložení a nad sloupy, je deska plná. Pro určení ploch, na které bude působit odtížení desek, byly rozkresleny jednotlivé tvarovky vylehčených stropních desek ve všech podlažích – rozmístění bude patrné z výkresů tvaru.

Rozmístění vylehčovacích tvarovek v okolí sloupů

V desce nad sloupy se v rámci kontroly protlačení počítá s výztuží na protlačení, bedničky tedy budou rozmístěny dle obvodu u_{out} , tedy obvodu, ve kterém již není potřebná výztuž na protlačení.

Protlačení v 1.NP

S1	zatížení	hodnota [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1,762	30,43	53,62	1,35	72,38
	U5	3	30,43	91,29	1,5	136,94
	Z4	7,11	30,43	216,36	1,35	292,08
						501,40

$$u_{out} = \frac{\beta * V_{Ed}}{v_{Rdc} * d}$$

kde:

β je součinitel vlivu momentů, pro rohový sloup $b = 1,5$ (odhad, nestejně rozpětí sousedních polí)

$d = \text{účinná výška} = h_d - c - (\phi/2) = 360 - 25 - 12/2 = 329 \text{ mm}$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{\rho_k * f_{ck}}$$

kde: $C_{Rd,c} = 0,18/g_M = 0,18/1,5 = 0,12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{219}} = 1,956$$

$\rho_k = 0,5 \%$ (odhad) - stupeň vyztužení

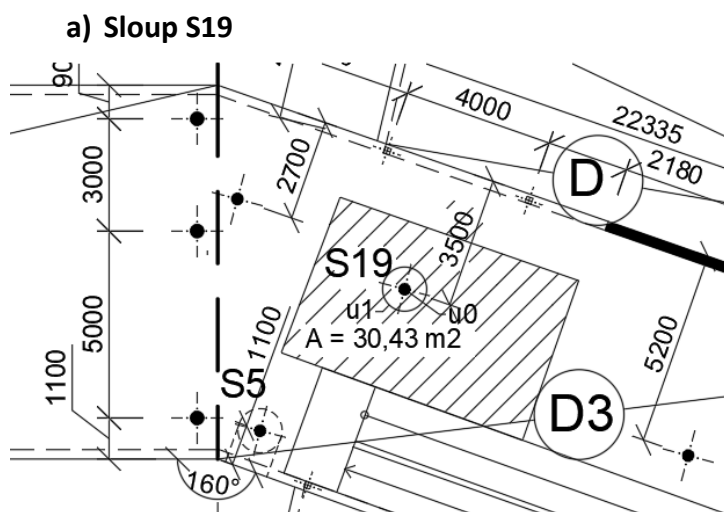
$$v_{Rd,c} = 0,12 * 1,956 * \sqrt[3]{0,5 * 30} = 0,579 \text{ MPa}$$

$$u_{out} = \frac{\beta * V_{Ed}}{v_{Rdc} * d} = \frac{1,15 * 501,40}{0,579 * 0,329} = 3027 \text{ mm} = \text{průměr obvodu } r_{out} = 963 \text{ mm}$$

4.2. Ověření prostorového modelu

Prostorový model bude ověřen dvěma způsoby. Nejprve budou porovnány osově síly v patách sloupů S1 a S2 získané ručním výpočtem s hodnotami z prostorového modelu, dále pak bude provedena kontrola ohybových modelů na stropní desce sekce A pomocí zjednodušené metody náhradních rámců.

4.3.1. Porovnání osových sil ve sloupech S19 a S3



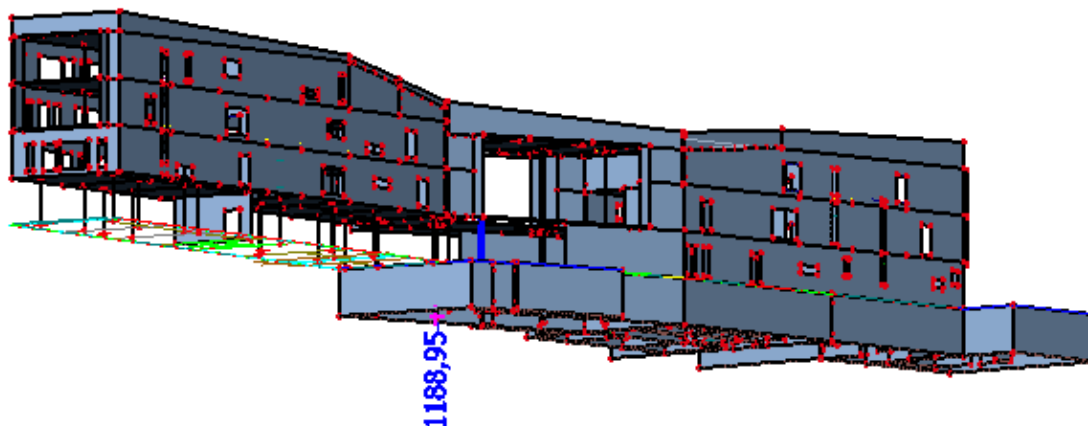
Obrázek 41 – Zatěžovací plocha sloupu S19

Výpočet zatížení sloupu

S19	zatížení	charakteristická hodnota		zatěžovací plocha, příp. výška sloupů		Gk, příp. Qk [kN]	γ_g	Gd, příp. Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 3NP	Z1	0,173	kN/m ²	17,19	m ²	2,97	1,35	4,01
	Z4	7,11	kN/m ²	17,19	m ²	122,22	1,35	165,00
	U2	1,4	kN/m ²	17,19	m ²	24,07	1,5	36,10
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1,762	kN/m ²	30,43	m ²	53,62	1,35	72,38
	Z4	7,11	kN/m ²	30,43	m ²	216,36	1,35	292,08
	U5	3	kN/m ²	30,43	m ²	91,29	1,5	136,94
ZATÍŽENÍ 1PP	Z2	1,762	kN/m ²	30,43	m ²	53,62	1,35	72,38
	Z4	7,11	kN/m ²	30,43	m ²	216,36	1,35	292,08
	U5	3	kN/m ²	30,43	m ²	91,29	1,5	136,94
vlastní tíha	sloup v 1.PP - d = 300 mm	1,75	0.07*25 kN/m	2*3.14+6.64	m	22,61	1,35	30,52
						894,40	kN	1238,44 kN

Normálová síla v patě sloupu ze softwaru Scia engineer

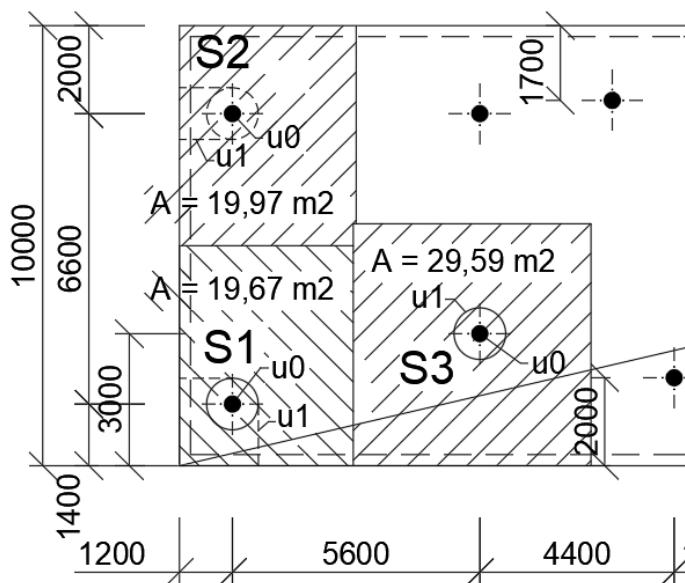
$$N_{ed} = 1188,95 \text{ kN}$$



Obrázek 42 – 3D model ze softwaru Scia engineer se znázorněnou normálovou silou v patě sloupu S19

Vzhledem k tomu, že zatěžovací plocha pro ruční výpočet sloupu S19 byla stanovena zjednodušeně z polovin rozpětí a jedná se o velmi nepravidelnou konstrukci se dá zhodnotit, že síly jsou dostatečně shodné.

b) Sloup S3



Obrázek 43 – Zatěžovací plochy sloupů S1, S2 a S3

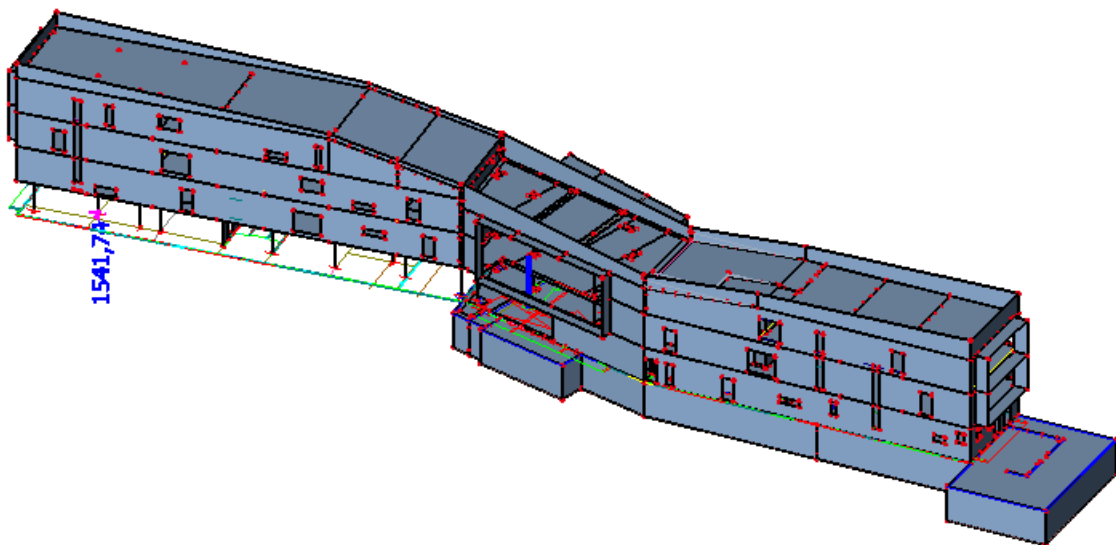
Výpočet zatížení sloupu

S3	zatížení	hodnota		zatěžovací plocha/výška sloupů/výška stěn		Gk/Qk [kN]	γ_g	Gd/Qd [kN]
ZATÍŽENÍ 4NP	Z1	0,173	kN/m ²	23,27	m ²	4,03	1,35	5,43
	Z3	6,25	kN/m ²	23,27	m ²	145,44	1,35	196,34
	U1	1,4	kN/m ²	23,27	m ²	32,58	1,5	48,87
ZATÍŽENÍ 3NP	Z2	1,762	kN/m ²	23,27	m ²	41,00	1,35	55,35
	Z4	6,25	kN/m ²	23,27	m ²	145,44	1,35	196,34
	U3+U6	2,3	kN/m ²	23,27	m ²	53,52	1,5	80,28
ZATÍŽENÍ 2NP	Z2	1,762	kN/m ²	21,21	m ²	37,37	1,35	50,45
	Z4	6,25	kN/m ²	21,21	m ²	132,56	1,35	178,96
	U3+U6	2,3	kN/m ²	21,21	m ²	48,78	1,5	73,17
ZATÍŽENÍ 1NP	Z2	1,762	kN/m ²	29,59	m ²	52,14	1,35	70,39
	Z3	6,25	kN/m ²	29,59	m ²	184,94	1,35	249,67
	U3+U6	2,3	kN/m ²	29,59	m ²	68,06	1,5	102,09
vlastní tíha stěn	tl. stěny = 250 mm délka stěny = 5,4 m pl.otvorů = 12,0m ²	33,75	kN/m	3*3,5	m	279,38	1,35	377,16
vlastní tíha	sloup v 1.PP - d = 300 mm	1,75	0,07*25 kN/m	4*3.14	m	21,98	1,35	29,67
						1247,21	kN	1714,17 kN

$$G_d + Q_d = \mathbf{1714,17 \text{ kN} = N_{ed}}$$

Normálová síla v patě sloupu ze softwaru Scia Engineer

$$N_{ed} = \mathbf{1541 \text{ kN}}$$

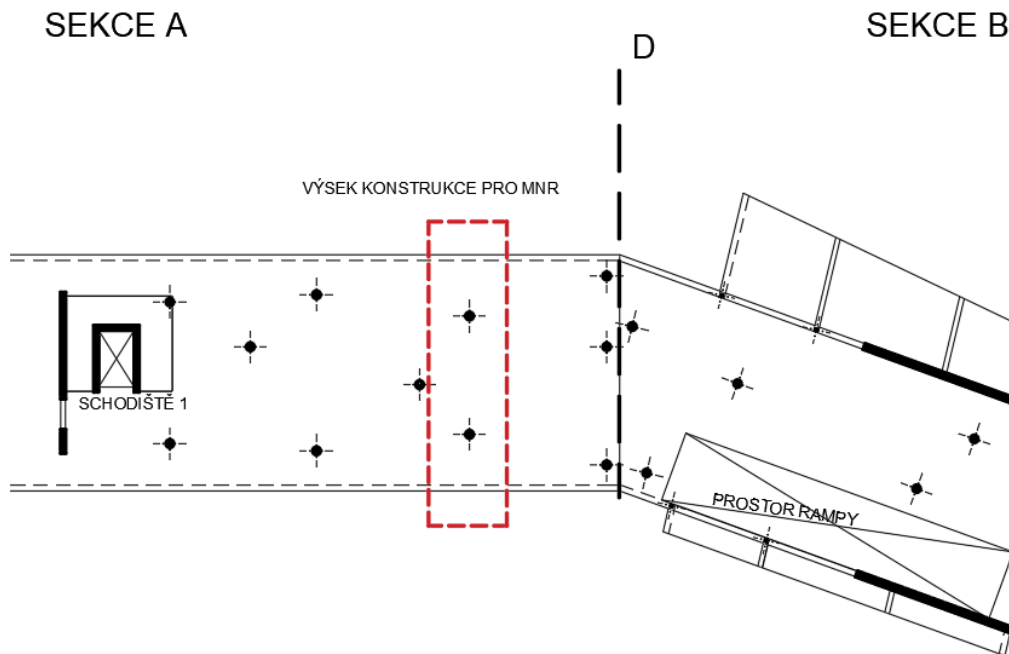


Obrázek 44 - 3D model ze softwaru Scia engineer se znázorněnou normálovou silou v patě sloupu S3

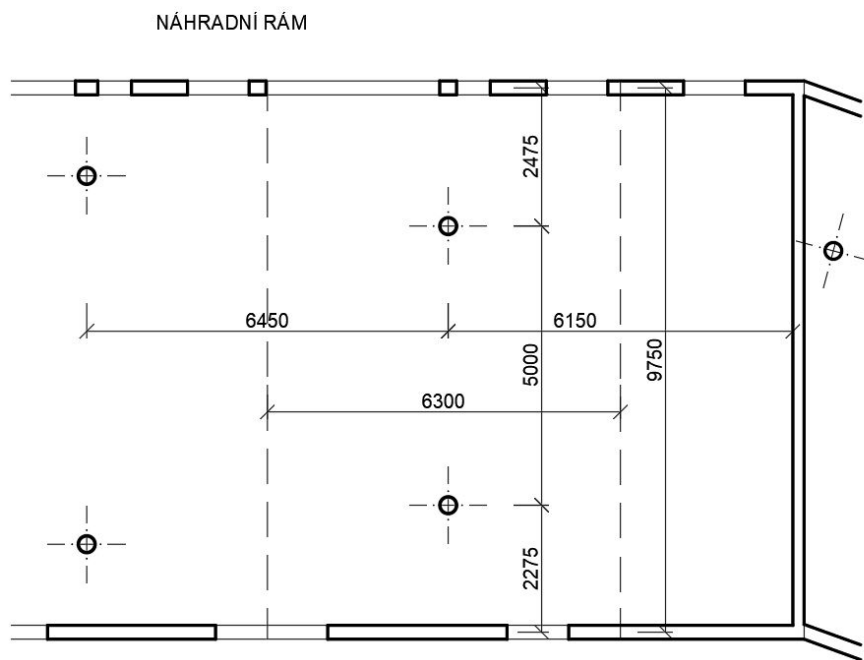
Vzhledem k tomu, že zatěžovací plochy sloupů jsou určeny zjednodušeně z polovin rozpětí, je možné předpokládat odchylku oproti skutečnému toku zatížení do sloupů. Vzhledem k těmto nepřesnostem lze říci, že model počítá správně a osová síla v patě sloupu je dostatečně shodná s ručním výpočtem.

4.3.2. Metoda náhradních rámu

Pro ověření modelu byl vybrán výsek v sekci A

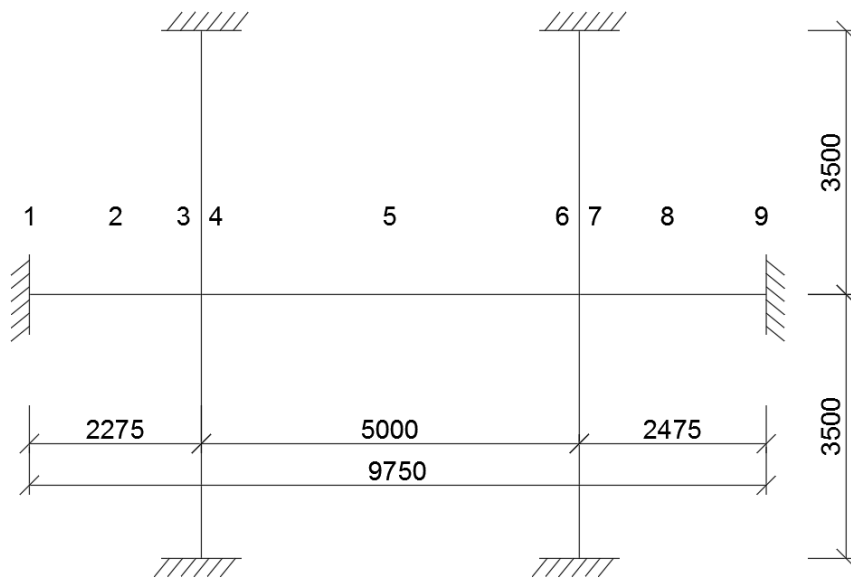


Obrázek 45 – Schéma umístění výseku konstrukce užitý pro metodu náhradních rámu



Obrázek 46 – Schéma náhradního rámu

NÁHRADNÍ RÁM - schéma řez

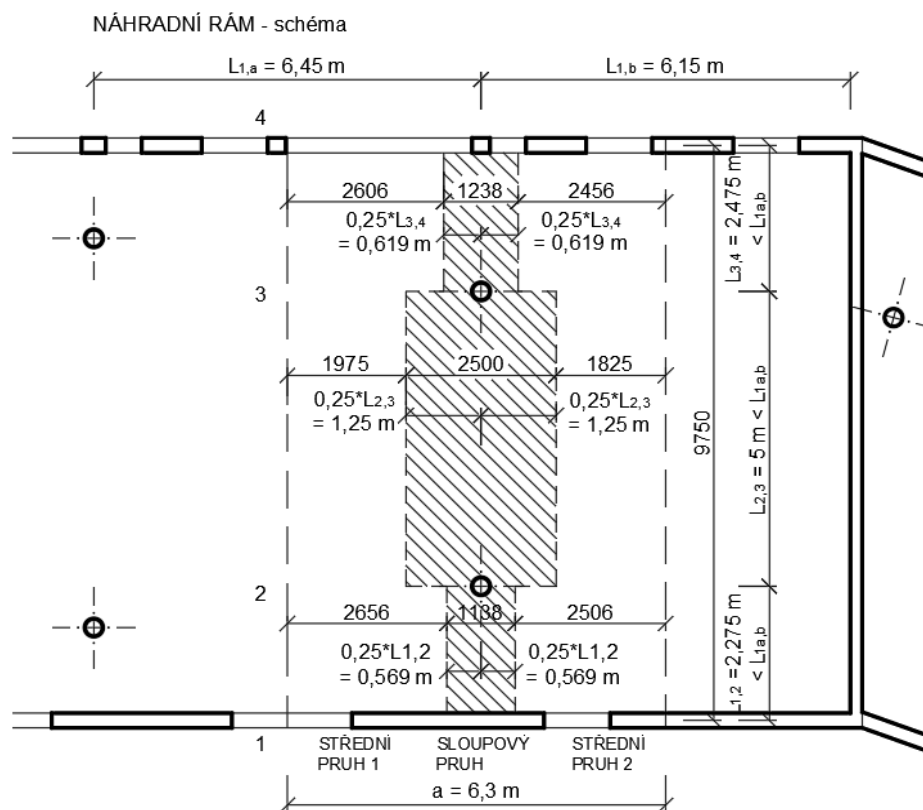


Obrázek 47 - Schematický řez náhradního rámu

Charakteristické hodnoty zatížení působící na rám

- Z3 - vl. tíha desky = 6,25 kN/m²
- Z2 - ostatní stálé (podlaha) = 1,762 kN/m²
- U5 - užitné – hotelové pokoje = 1,5 kN/m²
- U6 - příčky (náhr. plošné) = 0,8 kN/m²

Zatěžovací šířka rámu
a = 6,3 m

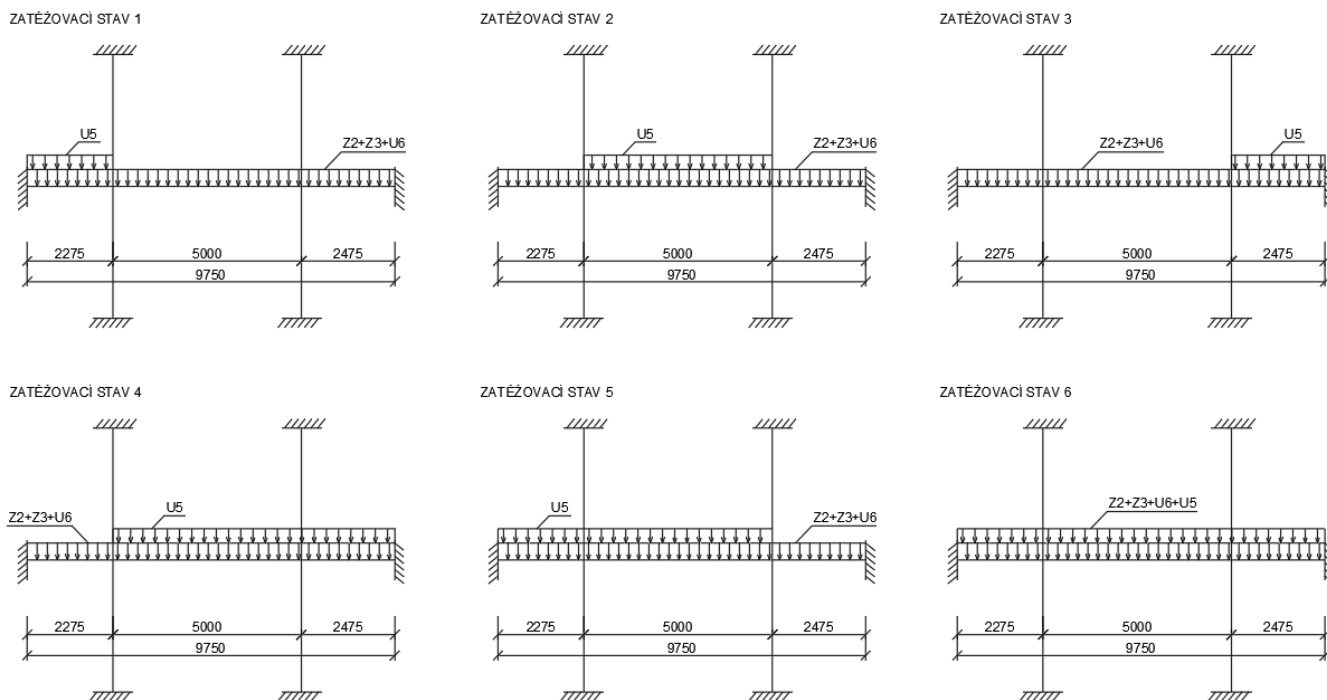


Obrázek 48 – Schéma náhradního rámu

Charakteristické liniové zatížení působící na rám:

- $Z3 * a = 6,25 * 6,3 = 39,375 \text{ kN/m}$
- $Z2 * a = 1,762 * 6,3 = 11,1 \text{ kN/m}$
- $U5 * a = 1,5 * 6,3 = 9,45 \text{ kN/m}$
- $U6 * a = 0,8 * 6,3 = 5,04 \text{ kN/m}$

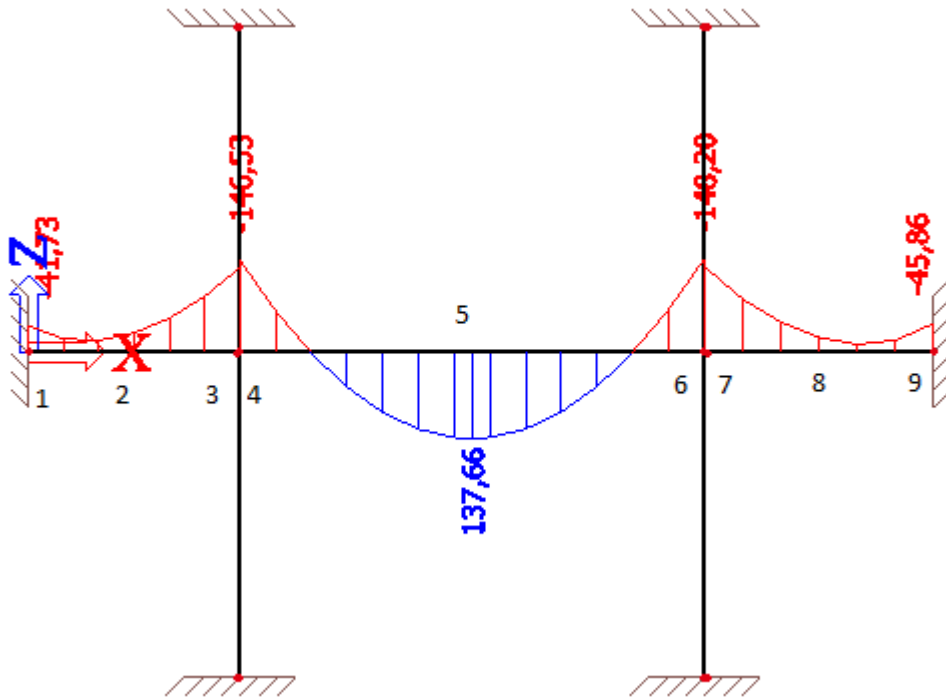
Rám byl zatížen šesti zatěžovacími stavy s měnící se polohou proměnného užitečného zatížení. Jednotlivé zatěžovací stavy jsou znázorněny na následujících schématech.



Obrázek 49 – Schémata zatěžovacích stavů

Pro výpočet ohybových momentů na rámu byl použit software Scia Engineer, ve kterém byl vytvořen 2D prutový model.

Obálka ohybových momentů



Obrázek 50 – Obálka ohybových momentů

Ohybové momenty je nutno rozdělit do sloupového a středních pruhů dle schématu. K tomuto převodu slouží součinitel ω , který byl určen z normové tabulky pro střední a krajní podporu a pro pole. Do výpočtu nebyl zahrnut součinitel α .

Rozdělení ohybových momentů do jednotlivých pruhů je provedeno v následující tabulce.

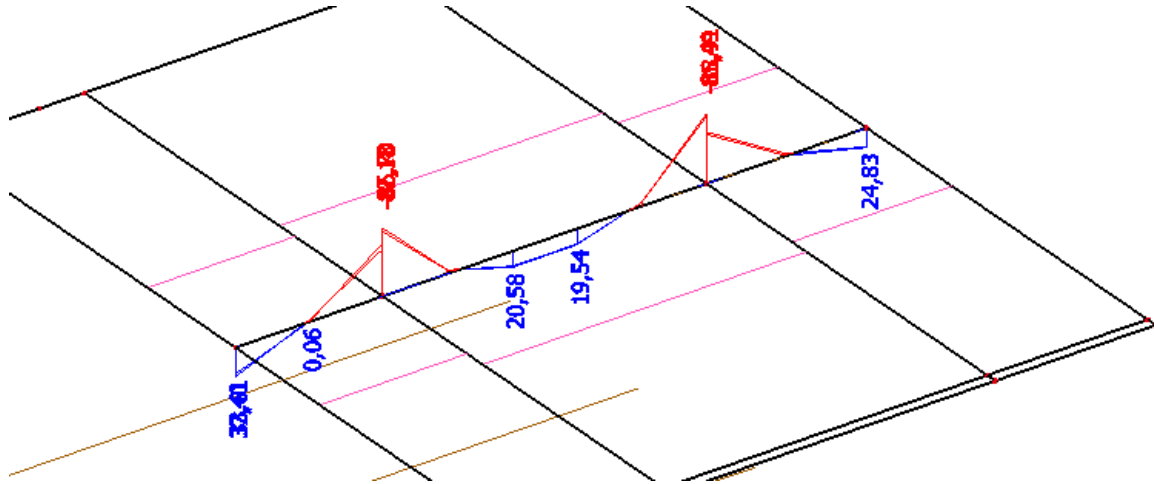
Rozdělení momentů získaných na rámu do jednotlivých pruhů

pole	průřez	Mh,d [kNm/6,3 m]	pozn.	ω	$(1-\omega)/2$	moment ve sloupovém pruhu [kNm]	moment ve středním pruhu [kNm]	šířka sloupového pruhu [m]	šířka středního pruhu 1 [m]	šířka středního pruhu 2 [m]	moment ve sloupovém pruhu [kNm/m]	moment ve středním pruhu 1 [kNm/m]	moment ve středním pruhu 2 [kNm/m]
1	1 - podpora	-41,73	lin. podpora			-41,73		6,3			-6,62		
	2 - pole	-30,91	pole	0,6	0,2	-18,55	-6,18	1,138	2,656	2,506	-16,30	-2,33	-2,47
	3 - podpora	-134,86	sloup	0,75	0,125	-101,15	-16,86	1,138	2,656	2,506	-88,88	-6,35	-6,73
2	4 - podpora	-146,53	sloup	0,75	0,125	-109,90	-18,32	2,5	1,975	1,825	-43,96	-9,27	-10,04
	5 - pole	137,66	pole	0,6	0,2	82,60	27,53	2,5	1,975	1,825	33,04	13,94	15,09
	6 - podpora	-140,29	sloup	0,75	0,125	-105,22	-17,54	2,5	1,975	1,825	-42,09	-8,88	-9,61
3	7 - podpora	-136,75	sloup	0,75	0,125	-102,56	-17,09	1,238	2,606	2,456	-82,85	-6,56	-6,96
	8 - pole	-23,47	pole	0,6	0,2	-14,08	-4,69	1,238	2,606	2,456	-11,37	-1,80	-1,91
	9 - podpora	-45,86	lin. podpora			-45,86		6,3			-7,28		

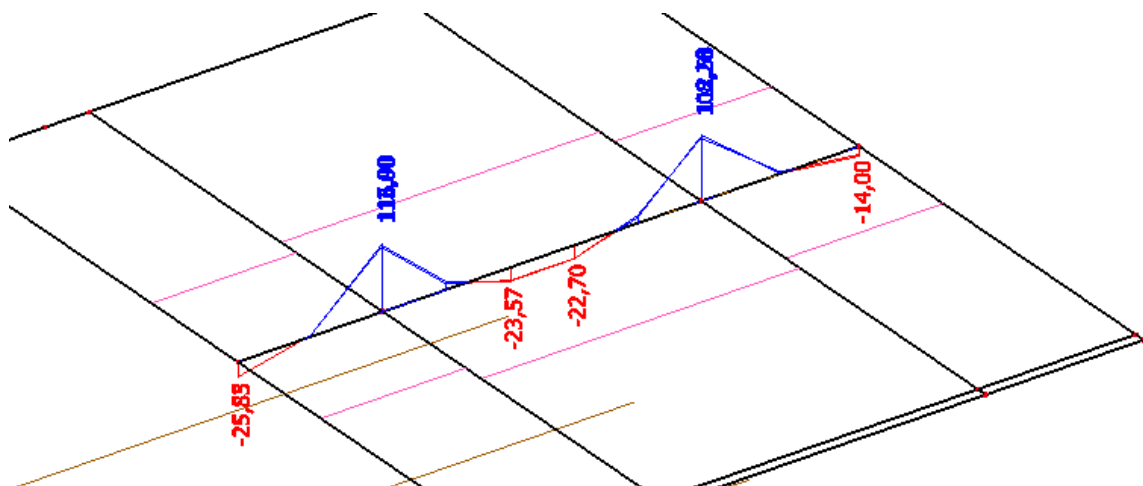
Momenty na desce byly zjišťovány na 3D modelu ze softwaru Scia Engineer. Tyto momenty byly porovnány s momenty vypočtenými metodou náhradních rámtů.

Výsledné momenty na desce (řez na ploše v kNm/m):

Sloupový pruh

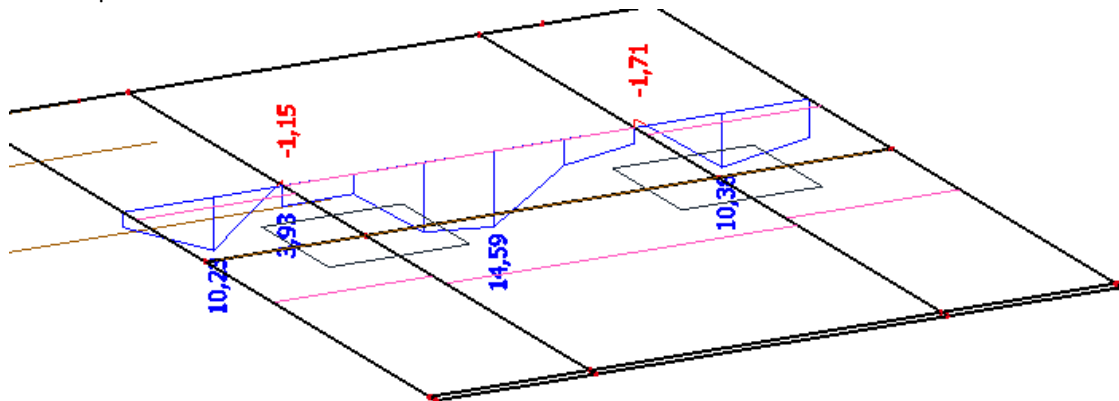


Obrázek 51 – Výsledné momenty na desce [kNm/m] myD-

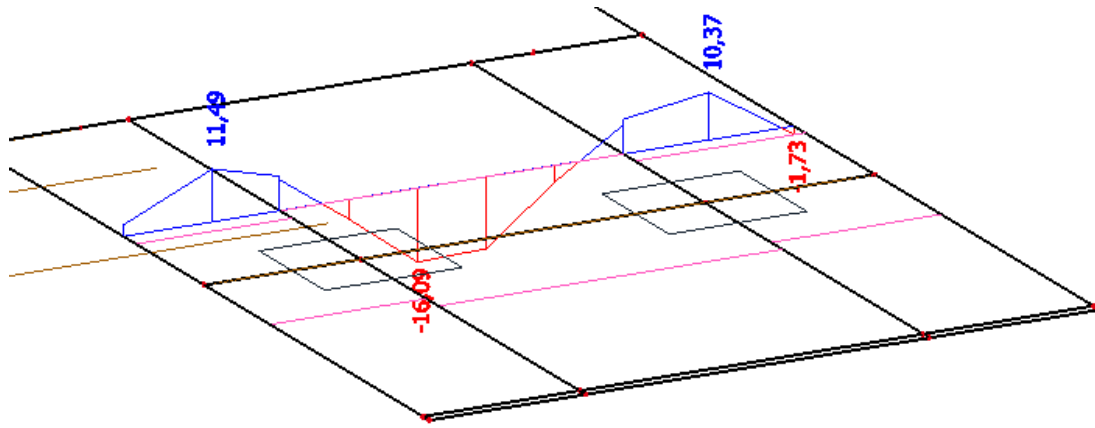


Obrázek 52 Výsledné momenty na desce [kNm/m] myD+

Střední pruh 1

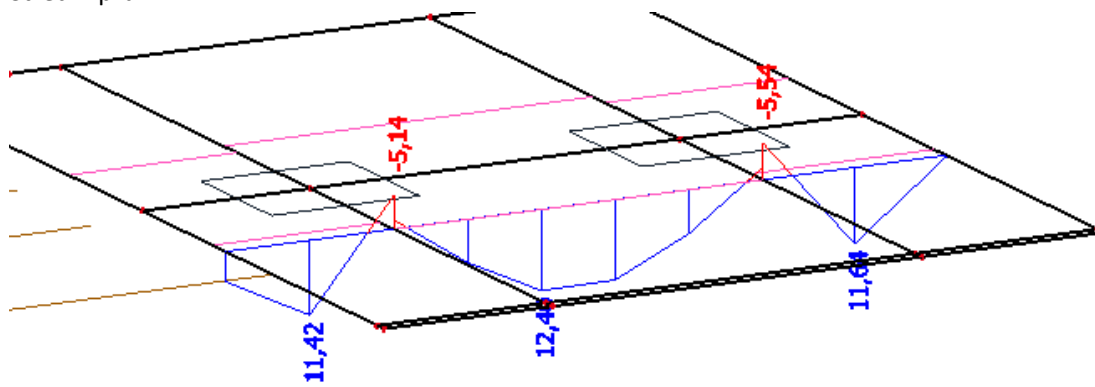


Obrázek 53 - Výsledné momenty na desce [kNm/m] myD-

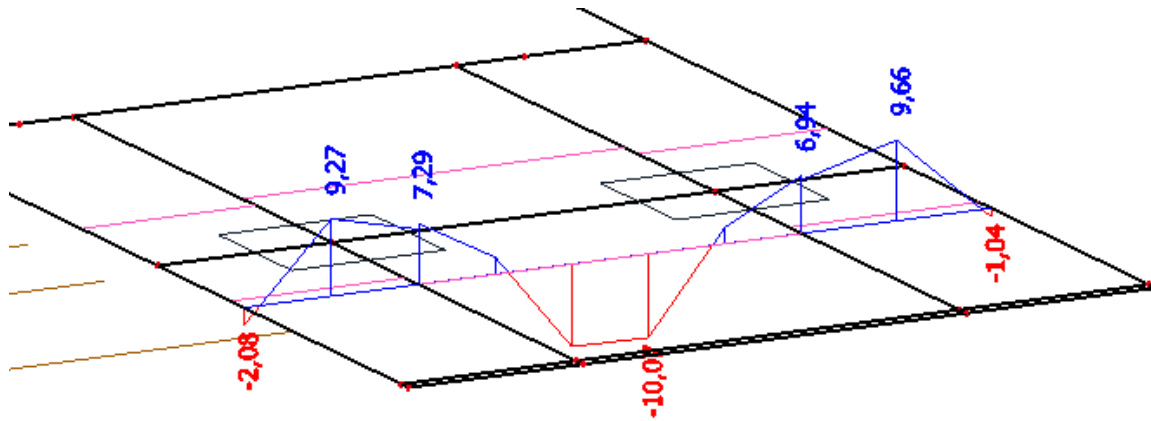


Obrázek 54 - Výsledné momenty na desce [kN/m] myD+

Střední pruh 2



Obrázek 55 - Výsledné momenty na desce [kN/m] myD-



Obrázek 56 - Výsledné momenty na desce [kN/m] myD+

Porovnání momentů z náhradního rámu a ze softwaru

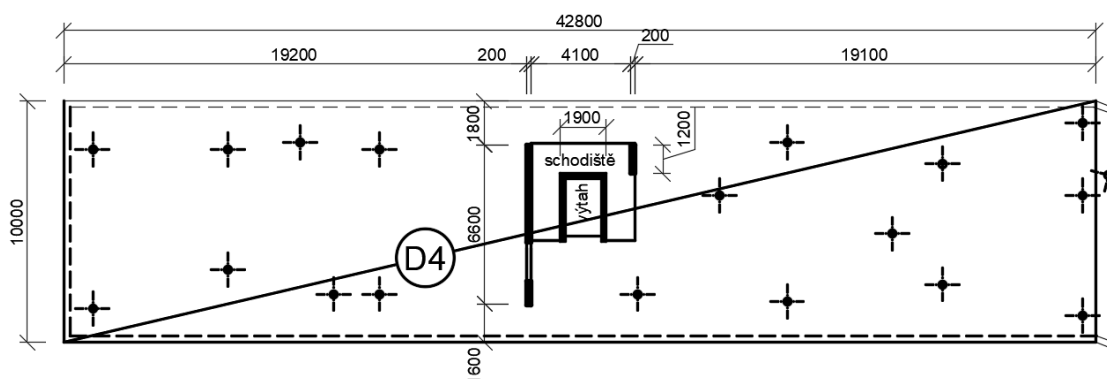
pole	průřez	MNR	SCIA - řez na ploše	MNR	SCIA - řez na ploše	MNR	SCIA - řez na ploše
		sloupový pruh [kNm/m]		střední pruh 1 [kNm/m]		střední pruh 2 [kNm/m]	
1	1 - podpora	-6,62	37,4	-6,62	-2,51	-6,62	4,61
	2 - pole	-16,30	-2,23	-2,33	-11,49	-2,47	-9,27
	3 - podpora	-88,88	-116,9	-6,35	-7,02	-6,73	-7,29
2	4 - podpora	-43,96	-111,69	-9,27	-6,61	-10,04	-6,63
	5 - pole	33,04	20,58	13,94	14,59	15,09	12,4
	6 - podpora	-42,09	-110,86	-8,88	-6,4	-9,61	-6,41
3	7 - podpora	-82,85	-112,58	-6,56	-7,26	-6,96	-6,94
	8 - pole	-11,37	-3,39	-1,80	-10,37	-1,91	-9,66
	9 - podpora	-7,28	20,83	-7,28	-1,42	-7,28	0,27

Ve středním poli jsou momenty dostatečně odpovídající momentům z 2D modelu, v krajních polích je tomu naopak. Z hlediska skutečného působení modelu, které 2D model náhradního rámu zcela nevystihuje, a vzhledem k tomu, že mezi rozpětími jednotlivých polí jsou velké rozdíly, a stejně tak jsou velké rozdíly mezi šířkami sloupového a středních pruhů, je možné říci, že model počítá správně.

5. Podrobný návrh konstrukčních prvků

5.1. Kontrola počtu ztužujících stěn v sekci A

Pro tuto kontrolu bude využit nejnejpříznivější směr větru – příčný (směr y). Sekce A bude zatížena líniovým zatížením v úrovni stropních desek. Následně budou vytvořeny dvě kombinace zatížení a bude zkontrolováno zda v patách ztužujících stěn nevznikají nepřiměřené tahy. V případě, že by ve ztužujících stěnách vznikaly tahy, bylo by nutné přidat další prvky, které by byly schopny přenášet vodorovná zatížení do základové konstrukce.

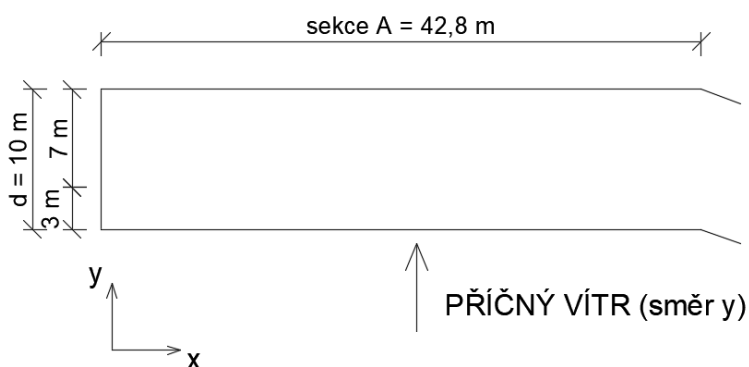


Obrázek 57 – Ztužující stěny v půdoryse sekce A

Zatížení větrem

Půdorys

Pohled na sekci A



Obrázek 58 – Schéma zatížení větrem

$$q_p(z) = 1,023 \text{ kN/m}^2$$

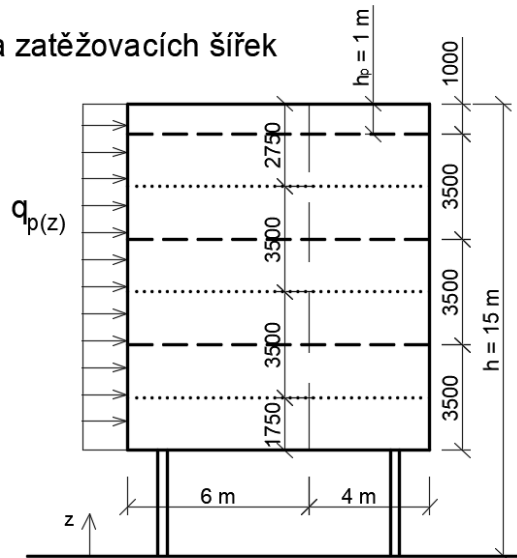
Výsledný tlak větru na konstrukci byl získán přenásobením součinitelem vnějšího tlaku $C_{pe,10}$. Pro kontrolu počtu ztužujících stěn bude využito zatížení na oblast A.

oblast	max. dynamický tlak $q_{p(z)}$ [kN/m ²]	součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,10}$	tlak větru na konstrukci $w_{e, char}$ [kN/m ²]
A _y	1,023	-1,2	-1,23

Plošné zatížení větrem bylo převedeno na liniové zatížení přenásobením zatěžovací šířkou:

- deska nad 1NP = $1,23 * 1,75 \text{ m} (= 2,15 \text{ kN/m})$
- deska nad 2NP a 3NP = $1,23 * 3,5 \text{ m} = 4,305 \text{ kN/m}$
- deska nad 4NP = $1,23 * (3,5/2 + 1) \text{ m} = 3,383 \text{ kN/m}$

schéma zatěžovacích šířek

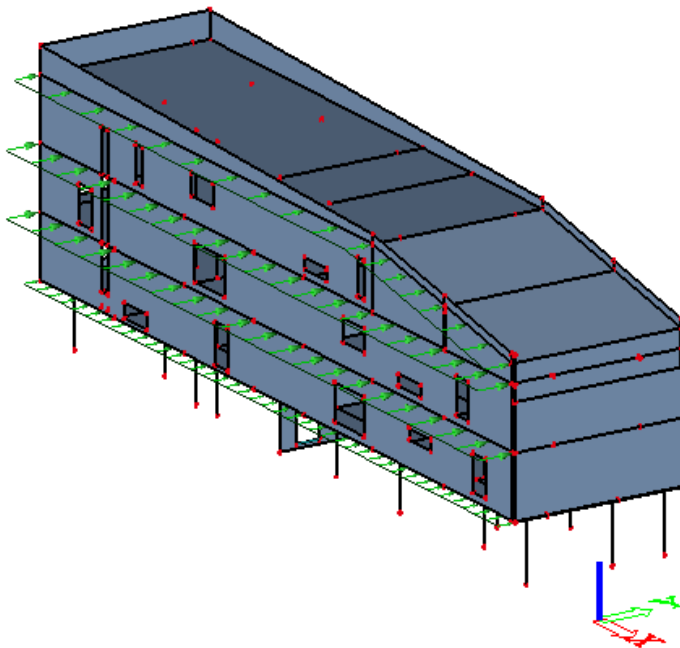


Obrázek 59 – Schéma zatěžovacích šířek

Kombinace zatížení:

- charakteristická
 $1,0 * \text{příčný vítr} + 1,0 * \text{vlastní tíha objektu}$
- extrémní
 $1,5 * \text{příčný vítr} + 0,9 * \text{vlastní tíha objektu}$

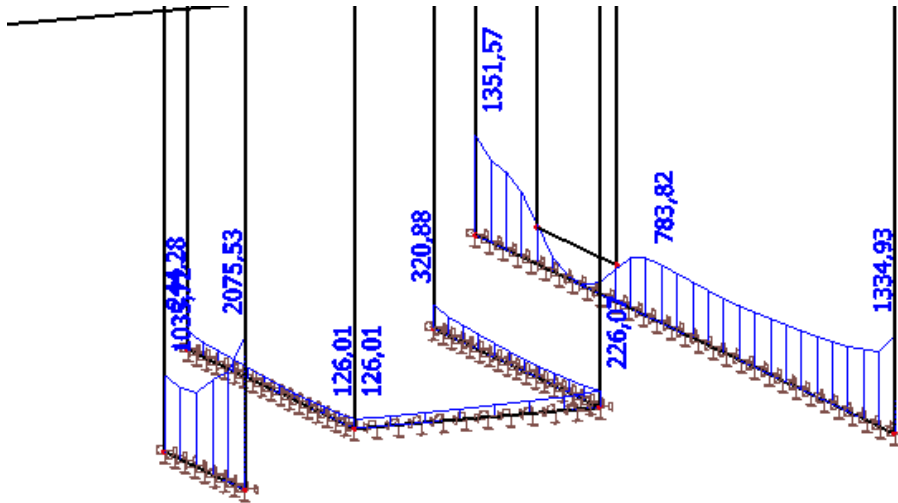
Větre byly liniově zatíženy stropní desky.



Obrázek 60 – 3D model zatížení větrem ze softwaru Scia engineer

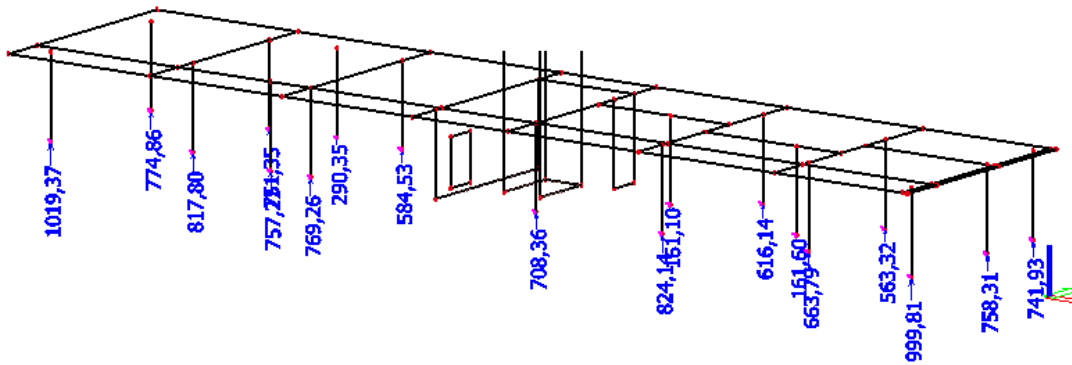
Výsledné reakce v podporách stěn a sloupů od kombinací zatížení [kN]

- charakteristická kombinace
STĚNY



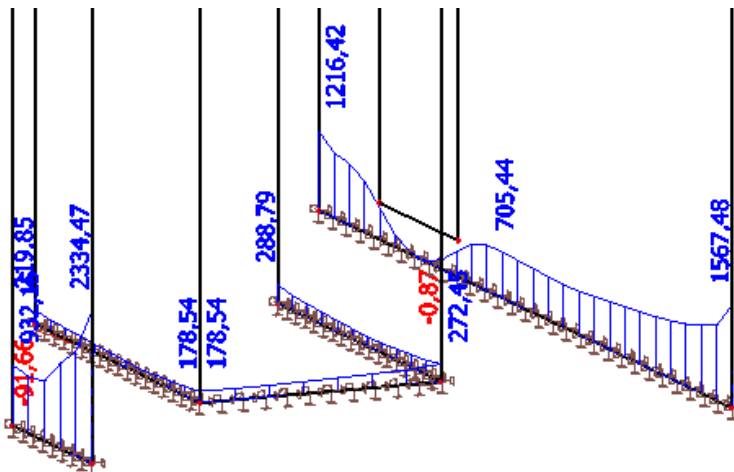
Obrázek 61 – Výsledné reakce v podporách stěn od charakteristické kombinace zatížení [kN]

SLOUPY



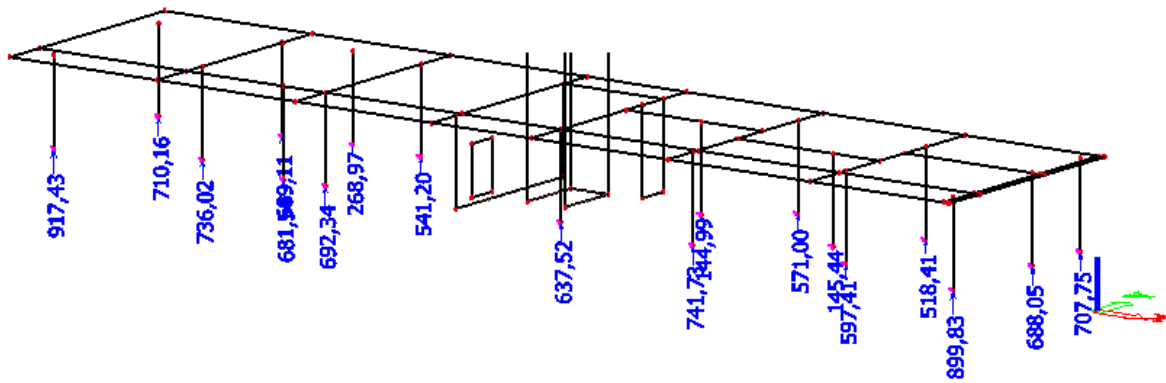
Obrázek 62 - Výsledné reakce v podporách sloupů od charakteristické kombinace zatížení [kN]

- extrémní kombinace
STĚNY



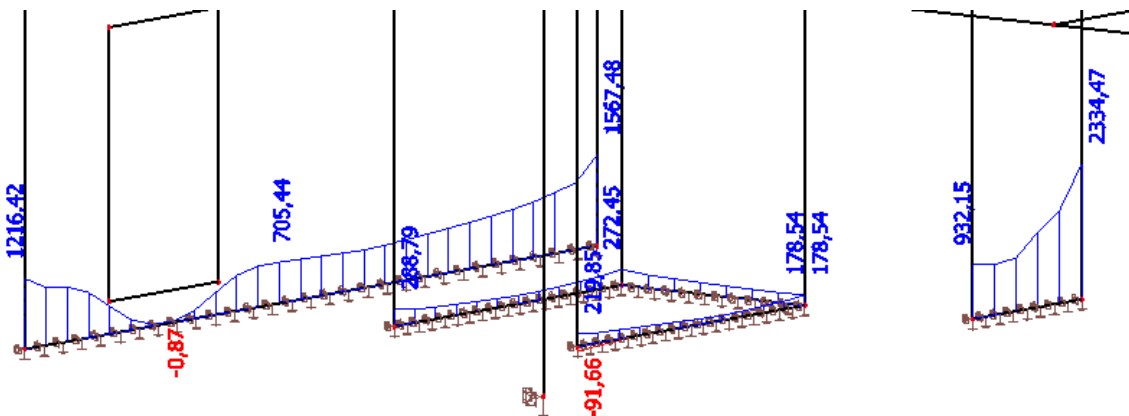
Obrázek 63 - Výsledné reakce v podporách stěn od extrémní kombinace zatížení [kN]

SLOUPY



Obrázek 64 - Výsledné reakce v podporách sloupů od extrémní kombinace zatížení [kN]

Při charakteristické kombinaci zatížení nevznikají v patách stěn ani sloupů tahová napětí. Při extrémní kombinaci vznikají napětí v podporách stěn, konkrétně u stěny schodišťového jádra – max. hodnota tahové reakce je 91,66 kN.



Obrázek 65 – Znárodnění vzniku tahové reakce při extrémní kombinaci zatížení [kN]

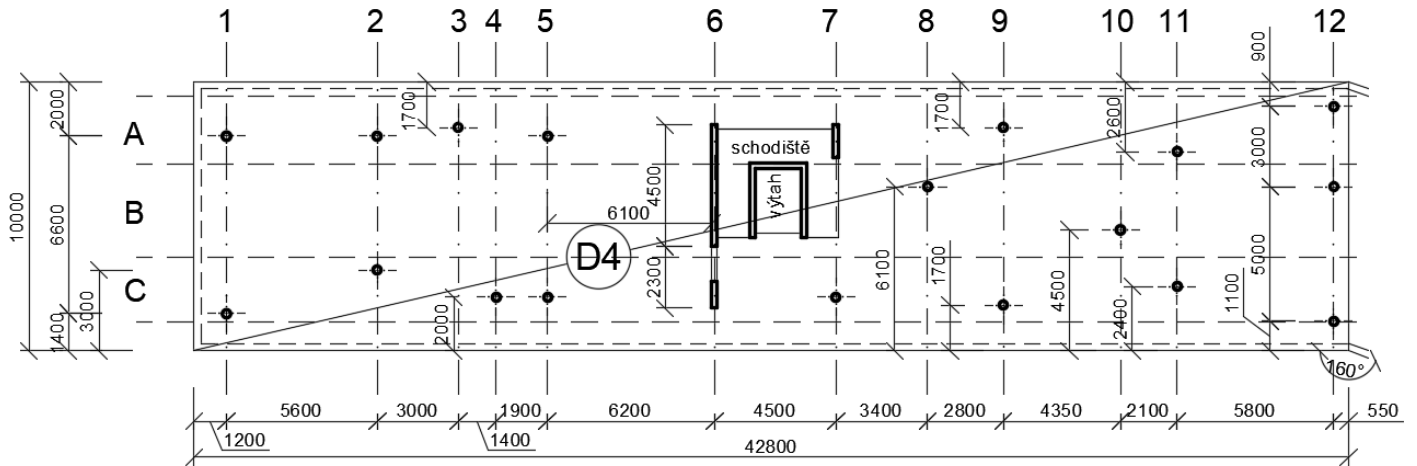
Tato tahová napětí nejsou kritická a budou zachycena tahovou výztuží dostatečně zakotvenou do základů. Navíc se jedná o extrémní kombinaci zatížení, dá se tedy předpokládat, že konstrukce je dostatečně ztužená a není nutné přidávat další ztužující stěny.

Z celkové deformace objektu při zatížení větrem bylo určeno, že při návrhu a posouzení sloupů bude konstrukce brána jako neztužená a sloupy budou uvažovány s posuvnými styčníky.

5.2. Návrh výztuže desky D4 (deska 1.NP)

Návrh výztuže bude proveden pro kombinaci MSU. Ověření navržené výztuže bude provedeno s ohledem na MSP ve dvou kombinacích – charakteristické a kvazistálé. Dle MSP bude návrh výztuže upraven tak, aby nevznikaly nadměrně široké trhliny a velké průhyby konstrukce.

DESKA D4 - SEKCE A



Obrázek 66 – Schéma desky D4

Zatížení působící na stropní desku:

- Vlastní tíha Z1
- Stálé zatížení – podlaha Z2
- Příčky – náhradní plošné zatížení U6
- Užité zatížení – hotelové pokoje U3

Pro výpočet byly vytvořeny 3 kombinace zatížení a to jedna pro MSÚ a dvě pro MSP:

Kombinace MSU (6.10):

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

$$\gamma G * \Sigma Z + \gamma Q * \Sigma Q$$

$$1,35 * Z1 + 1,35 * Z2 + 1,5 * U6 + 1,5 * U3$$

Kombinace MSP – charakteristická

$$1,0 * \Sigma Z + 1,0 * \Sigma U$$

$$1,0 * Z1 + 1,0 * Z2 + 1,0 * U6 + 1,0 * U3$$

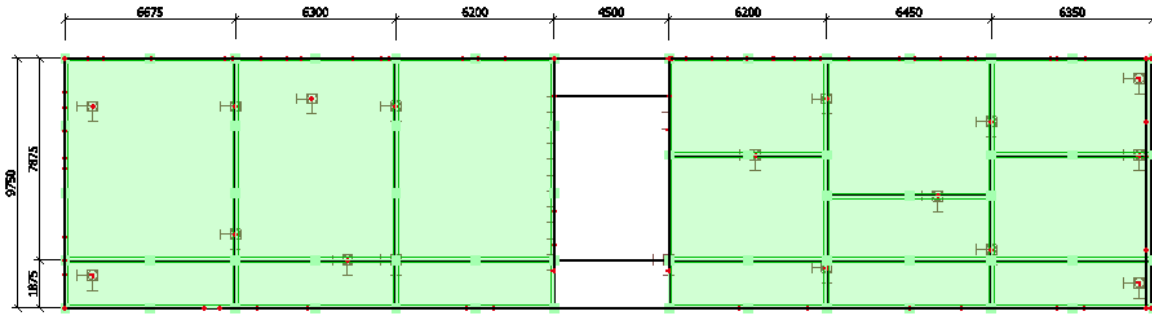
Kombinace MSP – kvazistálá

$$1,0 * \Sigma Z + 1,0 * U6 + 1,0 * \psi_2 * U3$$

$$1,0 * Z1 + 1,0 * Z2 + 1,0 * U6 + 0,3 * U3$$

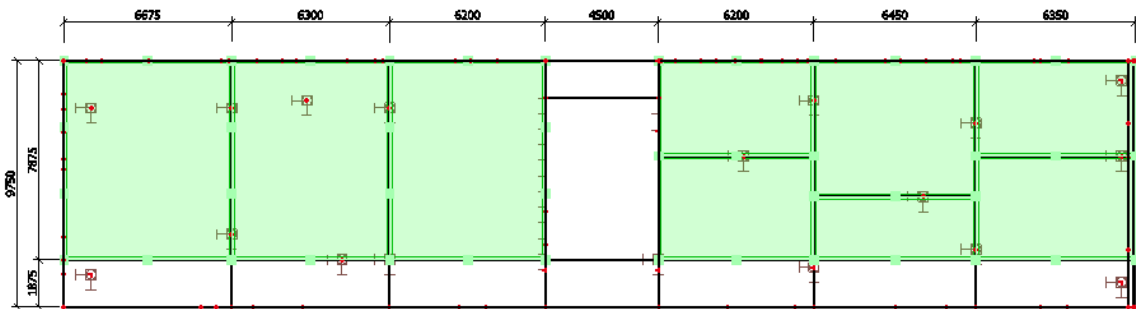
Bylo provedeno celkem 6 zatěžovacích stavů – s různou polohou užitečného zatížení U3:

Zatížení U6 – příčky



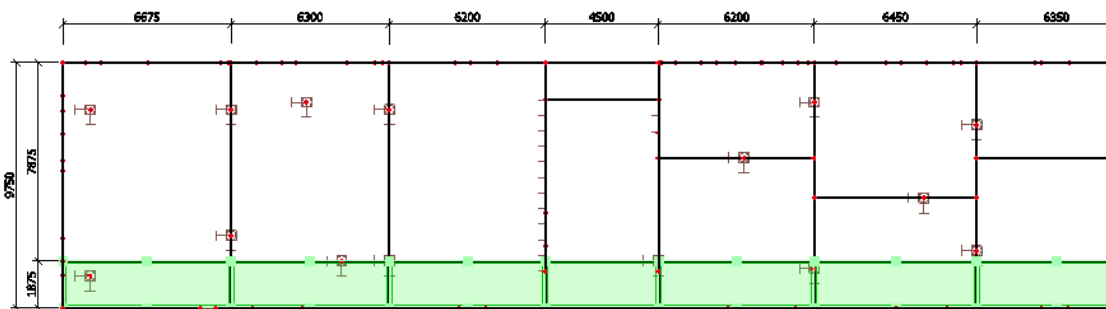
Obrázek 67 – Schéma zatížení U6

U3 - zatěžovací stav 1



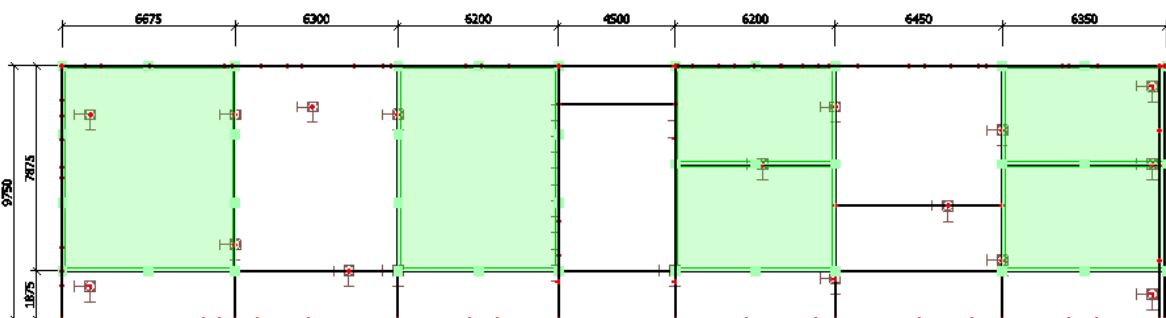
Obrázek 68 – Schéma zatížení U3 – ZS1

U3 - zatěžovací stav 2



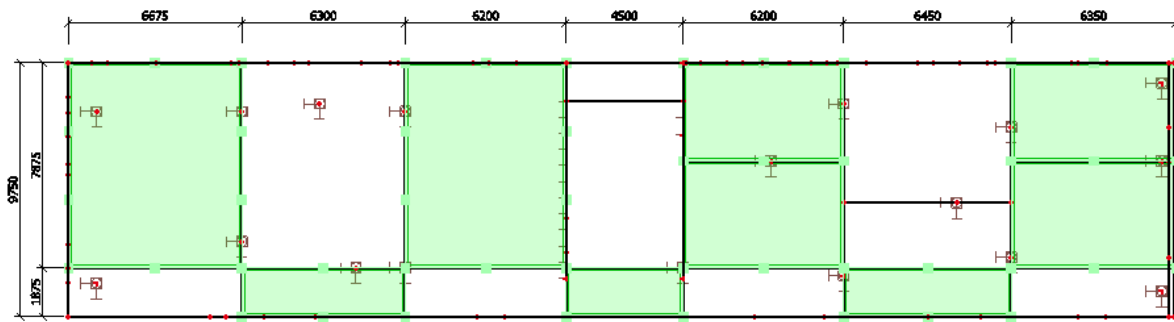
Obrázek 69 – Schéma zatížení U3 – ZS2

U3 - zatěžovací stav 3



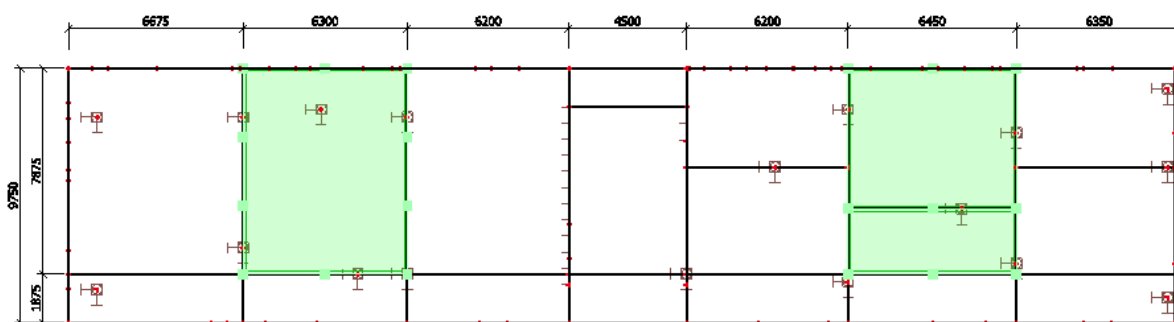
Obrázek 70 – Schéma zatížení U3 – ZS3

U3 - zatěžovací stav 4



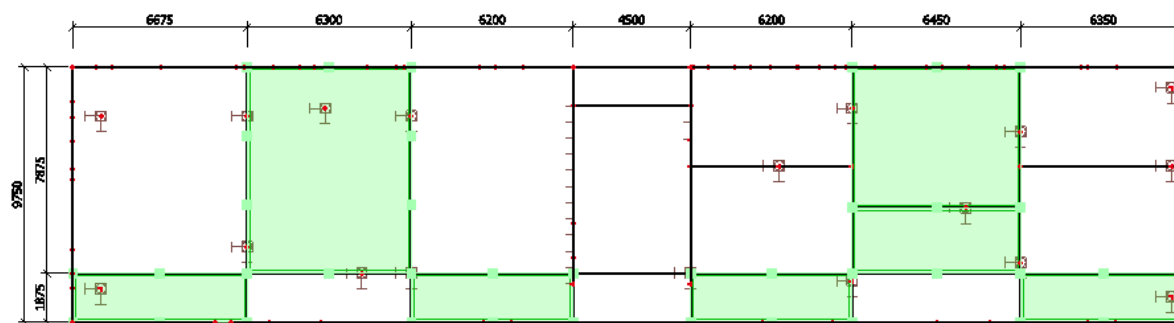
Obrázek 71 – Schéma zatížení U3 – ZS4

U3 - zatěžovací stav 5



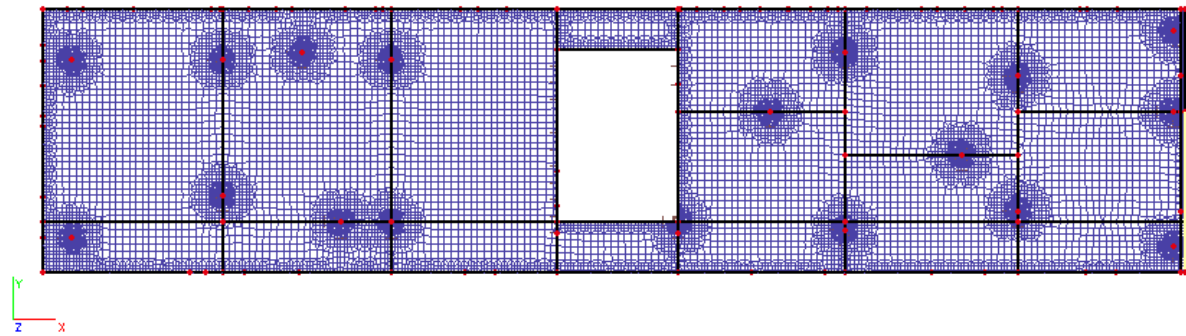
Obrázek 72 – Schéma zatížení U3 – ZS5

U3 - zatěžovací stav 6



Obrázek 73 – Schéma zatížení U3 – ZS6

Síť MKP byla zhuštěna v okolí sloupů a u stěn – velikost prvku sítě je 0,25 m. Nad sloupy pak byly vloženy průměrovací pásy pro zprůměrování špiček momentů – rozměry průměrovacích pásů jsou 1,5 x 1,5 m.

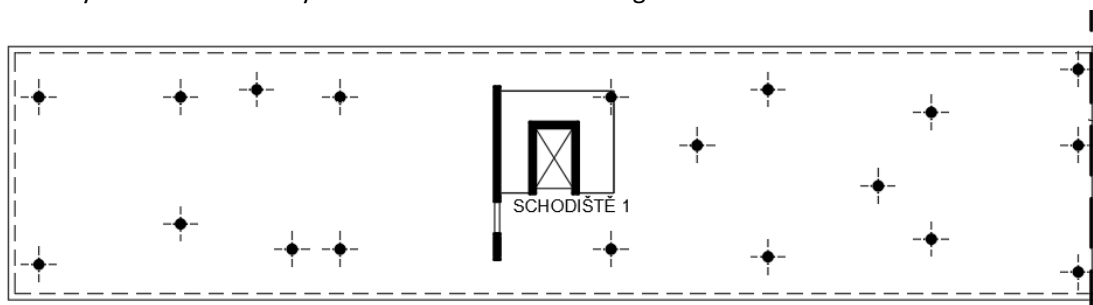


Obrázek 74 – Síť MKP

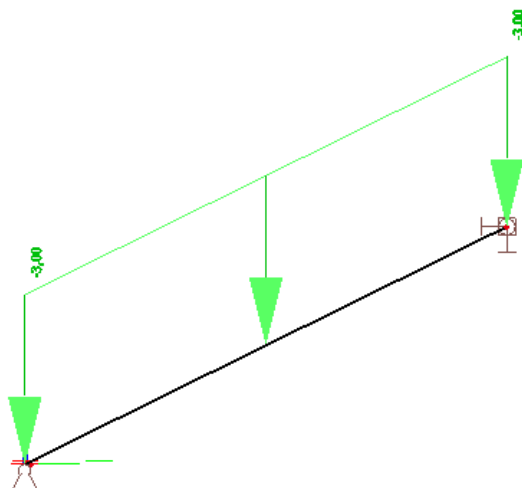
Krycí vrstva stropní desky byla spočítána v úvodu práce a je 25 mm.

5.2.1. Uložení schodiště 1 na stropní desku

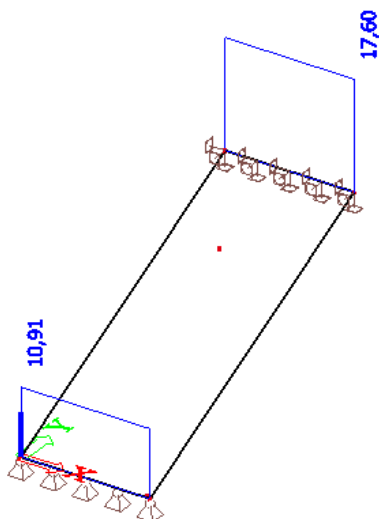
Na desce je kloubově přes akustický prvek uloženo schodiště 1. Působení schodiště na okraj desky bylo nahrazeno vloženým liniovým zatížením, které odpovídá reakci od schodišťového ramene. Schodiště je zatíženo vlastní tíhou a užitným zatížením $3,0 \text{ kN/m}^2$. Pro získání potřebných reakcí, byl vytvořen samostatný model schodišťových ramen v softwaru Scia Engineer 15.3.



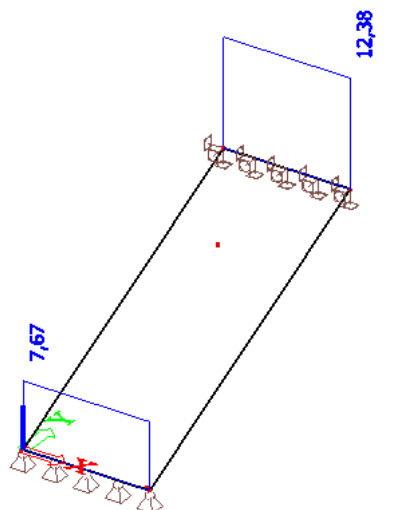
Obrázek 75 – Schéma umístění schodiště



Obrázek 76 – Schéma ramene schodiště se zatížením



Obrázek 77 – Schéma výsledných reakcí pro MSÚ



Obrázek 78 - Schéma výsledných reakcí pro MSP

Reakce pro MSU = 10,91 kN/m

Reakce pro MSP = 7,67 kN/m

5.2.2. Konstrukční zásady:

Tloušťka desky = 250 mm (D4)

$dx = h_d - c - \phi/2 = 250 - 25 - 12/2 = 219 \text{ mm}$ účinná výška výztuže umístěné nejbližší k povrchu

ϕ - profil výztuže uvažován 12 mm

$dy = h_d - c - \phi - \phi/2 = 250 - 25 - 12 - 6 = 207 \text{ mm}$ účinná výška výztuže uložené ve druhém směru

$$a_{s,min,1} = 0,0013 * b * d_{max} = 0,0013 * 1000 * 219 = 284,7 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min,2} = 0,26 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) * d * b = 0,26 * \left(\frac{2,9}{500} \right) * 219 * 1000 = 330,252 \text{ mm}^2$$

$a_{s,min,3}$ je minimální plocha výztuže s ohledem na šířku trhliny v betonu 0,4 mm a byla stanovena pomocí excelu, který poskytla vedoucí práce.

TAH		1	1	2	3	4
Prvek -výška	h=	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
šířka	b=	1	1	1	1	1
	h_cr	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
krytí	c=	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
průměr výztuže		0,010	0,012	0,014	0,016	0,018
Beton	fct,eff=	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
alfa e		6,06	6,06	6,06	6,06	6,06
k	k=	1	1	1	1	1
k c	k_c	1	1	1	1	1
součinitel	k1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	k2	1	1	1	1	1
	k3	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400
	k4	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425
	k_t	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
A ct	A_ct=	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
účinná výška	d=	0,22	0,219	0,218	0,217	0,216
vzdálenosti		0,100	0,125	0,180	0,200	0,250
A_s	A_s=	0,000785	0,000905	0,000855	0,001005	0,001018
Poloha NO x(stav l)		0	0	0	0	0
h_c,ef	h_c,ef=	0,075	0,0775	0,08	0,0825	0,083333
A_c,eff	A_c,eff=	0,075	0,0775	0,08	0,0825	0,083333
stupeň vyztužení	ρ=	0,010472	0,0116746	0,0106901	0,0121856	0,0122145
Napětí ve výztuži		230,8	200,3	211,9	180,3	178,1
vzdálenost	s_r,max=	0,4096764	0,434478	0,5302704	0,53143	0,5860438
rozdíl přetvoření		0,0008594	0,0007356	0,0007708	0,0006459	0,0006353
omezení		0,0008594	0,0007356	0,0007708	0,0006459	0,0006353
šířka		0,000352	0,00032	0,000409	0,000343	0,000372

$$a_{s,min,3} = \varnothing 12 \text{ mm po } 125 \text{ mm } (8 \varnothing 12) = 905 \text{ mm}^2$$

Maximální vzdálenost nosné výztuže $s_{max,slabs}$

$$s_{max,slabs} = \min(2h; 300 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 250; 300 \text{ mm}) = 300 \text{ mm}$$

5.2.3. Návrh výztuže dle MSÚ

Vzorce použité pro výpočet – průřez je počítán jako jednostranně vyztužený

- Účinná výška průřezu
 - Směr $x = d_x = h_d - c - \varnothing/2$ [mm]
 - Směr $y = d_y = h_d - c - \varnothing - \varnothing/2$ [mm]

- Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} \quad [\text{mm}]$$

- Poměr výšky tlačené oblasti ku účinné výšce

$$\xi = \frac{x}{d} \leq \xi_{lim} \quad (\xi_{lim} = 0,45)$$

- Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,8 \cdot (x/2) \quad [\text{mm}]$$
- Moment únosnosti

$$m_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \quad [\text{kNm/m}]$$

5.2.4. Ověření návrhu výztuže s ohledem na mezní stav použitelnosti

Ověření bylo provedeno pro 2 kombinace zatížení – charakteristickou a kvazistálou.

Výpočet charakteristik ideálního průřezu a omezení napětí

Vzorce použité pro výpočet

- Účinná výška průřezu
 - Směr $x = d_x = h_d - c - \phi/2$ [mm]
 - Směr $y = d_y = h_d - c - \phi - \phi/2$ [mm]
- Součinitel dotvarování
 $\varphi = 2,2 \dots$ beton C 30/37, $t = 28$ dní, cement třídy R, $h_0 = 250$ mm
- Modul pružnosti při dlouhodobém zatížení

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty; t_0)} = \frac{32}{1 + 2,2} = 10 \text{ GPa} \quad [\text{GPa}]$$
- Poměr modulů pružnosti při krátkodobém zatížení

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad [-]$$
- Poměr modulů pružnosti při dlouhodobém zatížení

$$\alpha_{e,lt} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} \quad [-]$$
- Plocha ideálního průřezu

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_s \quad [\text{mm}^2]$$
- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje

$$x_i = \frac{\frac{1}{2} b \cdot h^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot d}{A_i} \quad [\text{mm}]$$
- Vzdálenost ideálního a betonového průřezu

$$a_i = x_i - \frac{h}{2}$$
- Moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot a_i^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_i)^2 \quad [\text{mm}^4]$$
- Moment na mezi vzniku trhlin

$$m_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{I_i}{h - x_i} \quad [\text{kNm/m}]$$

Průřez porušený trhlinou

- Plocha ideálního průřezu

$$A_i = x_{ir} * b + \alpha_e A_s$$

- Vzdálenost těžiště ideálního průřezu s trhlinou od horního okraje

$$x_{ir} = \frac{\alpha_e * A_s}{b} * \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * b * d}{\alpha_e * A_s}} \right) \quad [\text{mm}]$$

- Moment setrvačnosti průřezu s trhlinou

$$I_{ir} = \frac{1}{3} * b * x_{ir}^3 + \alpha_e * A_s * (d - x_{ir})^2 \quad [\text{mm}^4]$$

- Napětí ve výztuži

$$\sigma_s = \alpha_e * \frac{M_{Ek}}{I_{ir}} * (d - x_{ir}) \quad [\text{MPa}]$$

- Omezení napětí v tažené výztuži

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk}$$

- Napětí v krajních tlačných vláknech betonu

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek}}{I_{ir}} * x_{ir} \quad [\text{MPa}]$$

- Omezení napětí v betonu – pro charakteristickou kombinaci

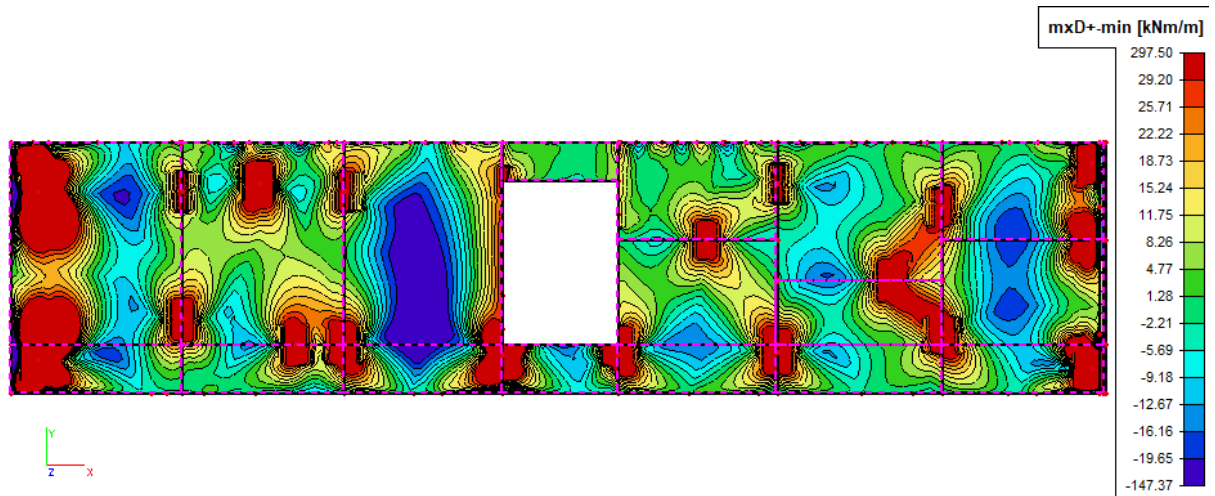
$$\sigma_c < 0,6 f_{ck}$$

- Omezení napětí v betonu – pro kvazistálou kombinaci

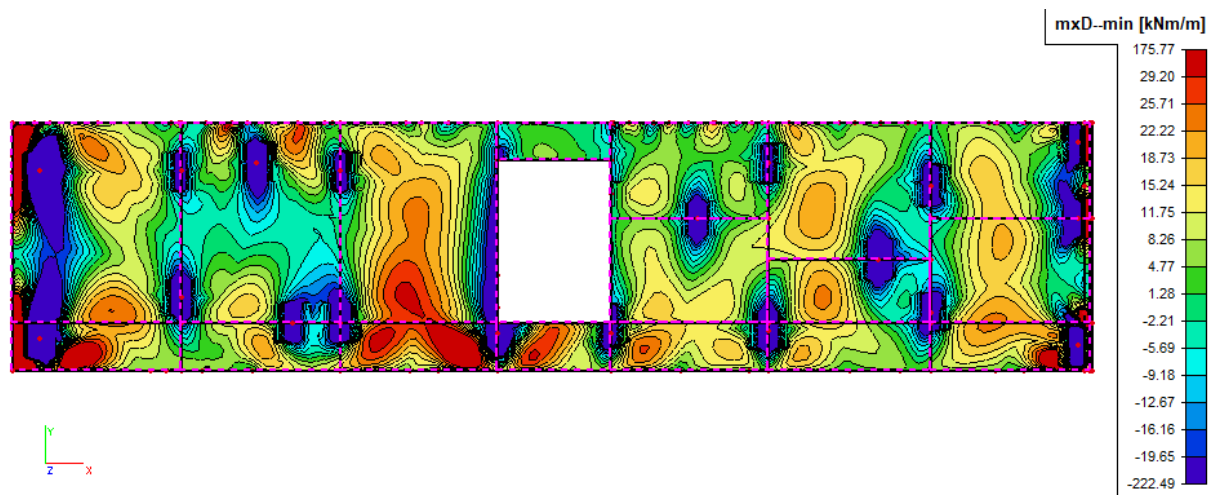
$$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$$

5.2.5. Výsledky:

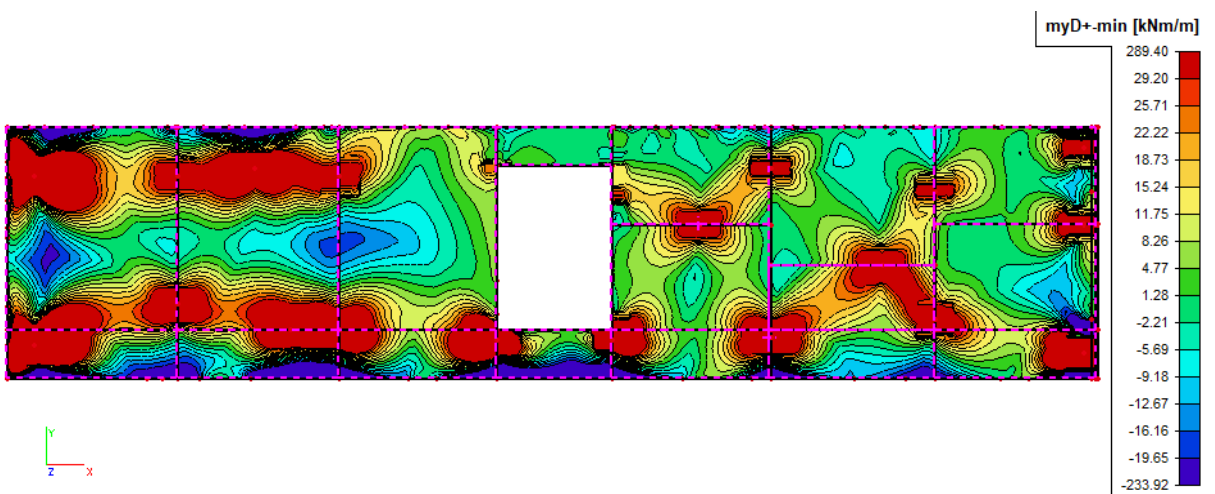
a) MSÚ



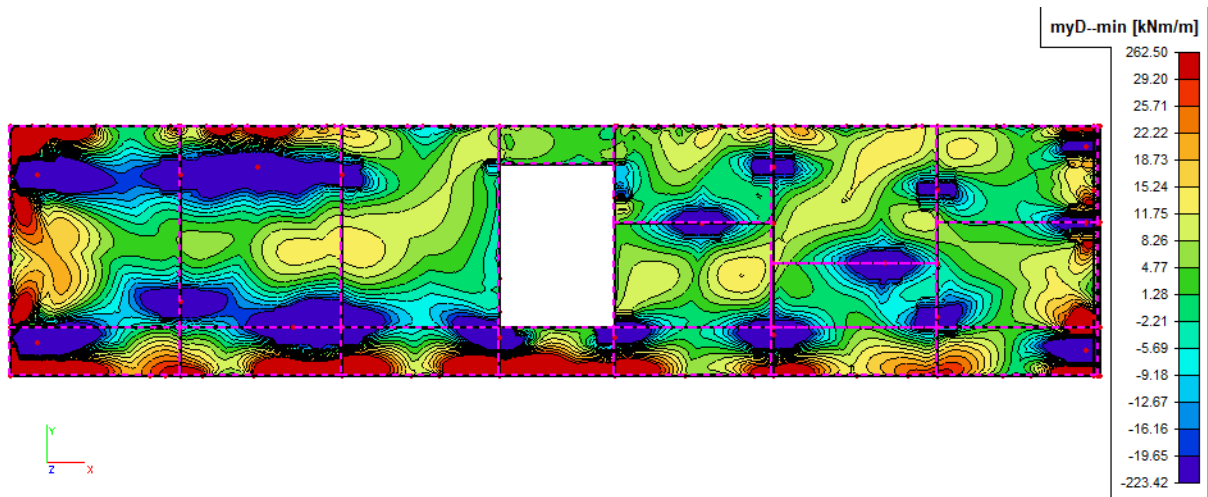
Obrázek 79 – MxD+ horní povrch



Obrázek 80 – MxD- dolní povrch

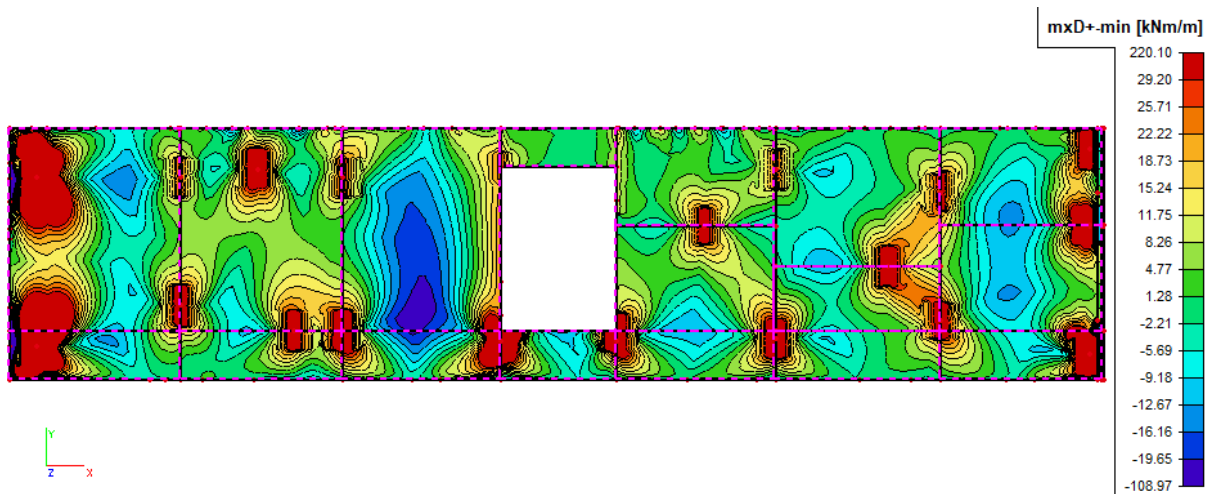


Obrázek 81 – MyD+ horní povrch

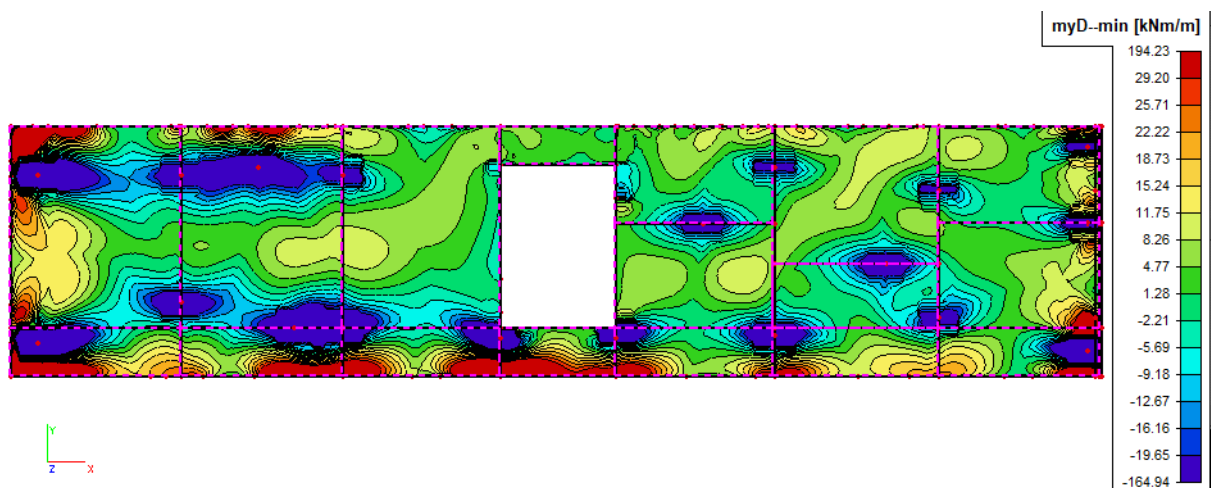


Obrázek 82 – MyD- dolní povrch

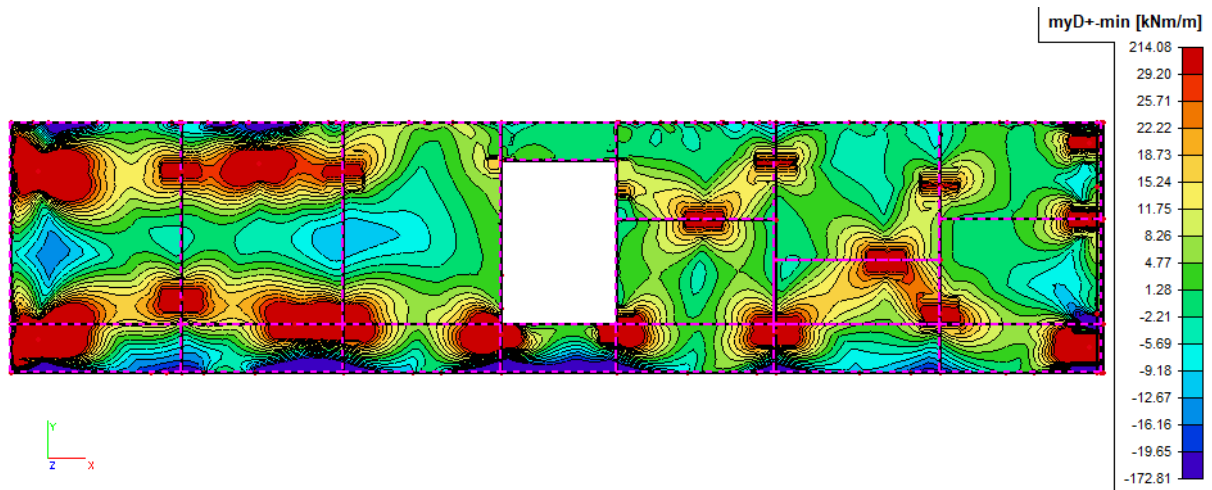
b) MSP – charakteristická



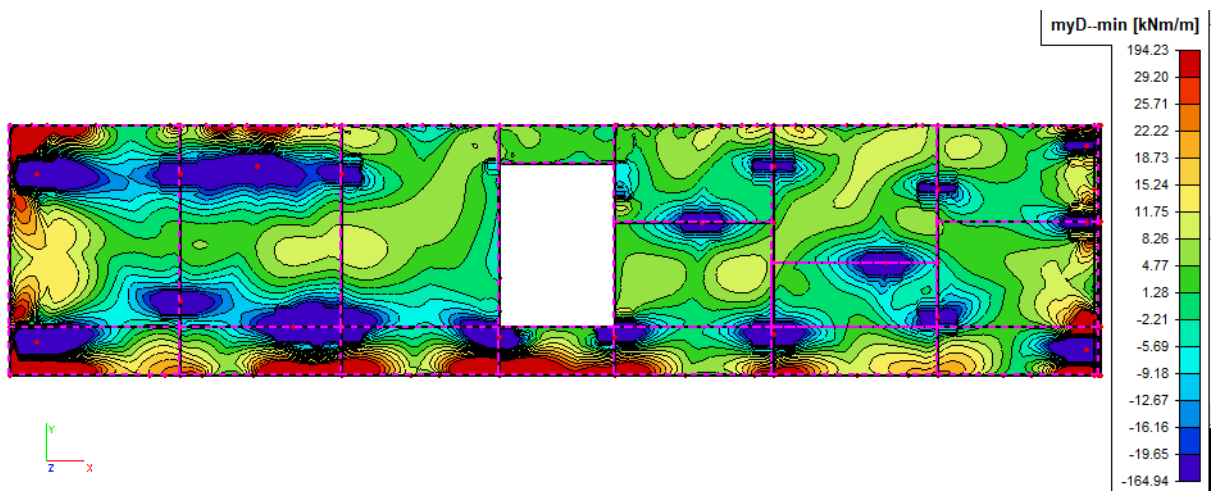
Obrázek 83 – MxD+ horní povrch



Obrázek 84 MxD- dolní povrch

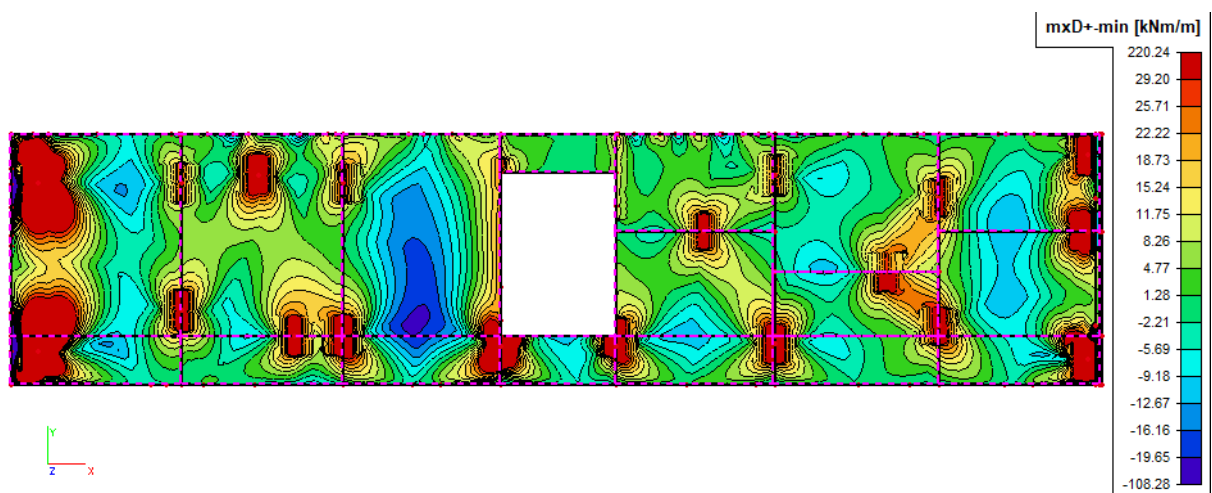


Obrázek 85 – MyD+ horní povrch

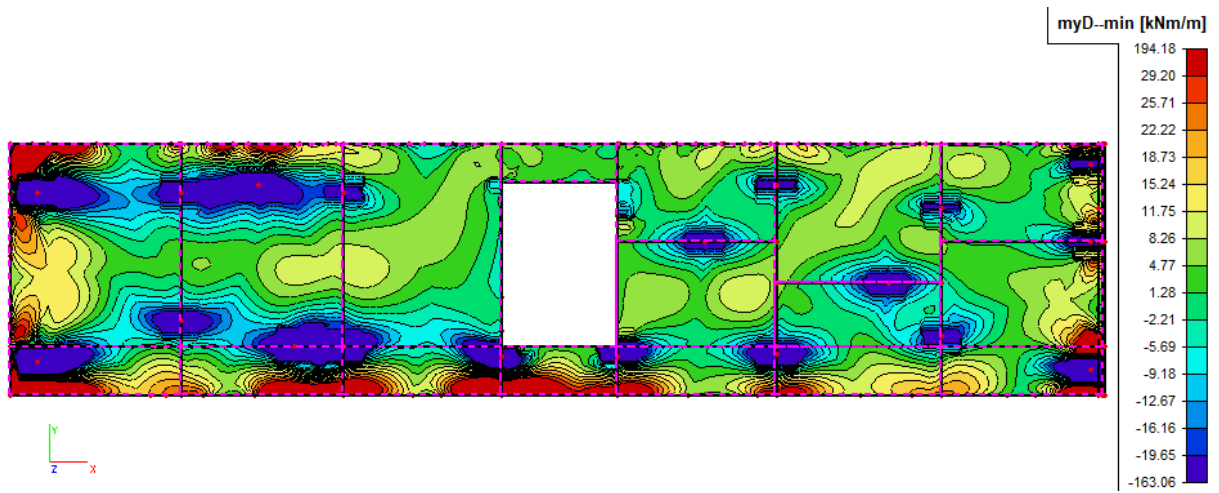


Obrázek 86 - MyD- dolní povrch

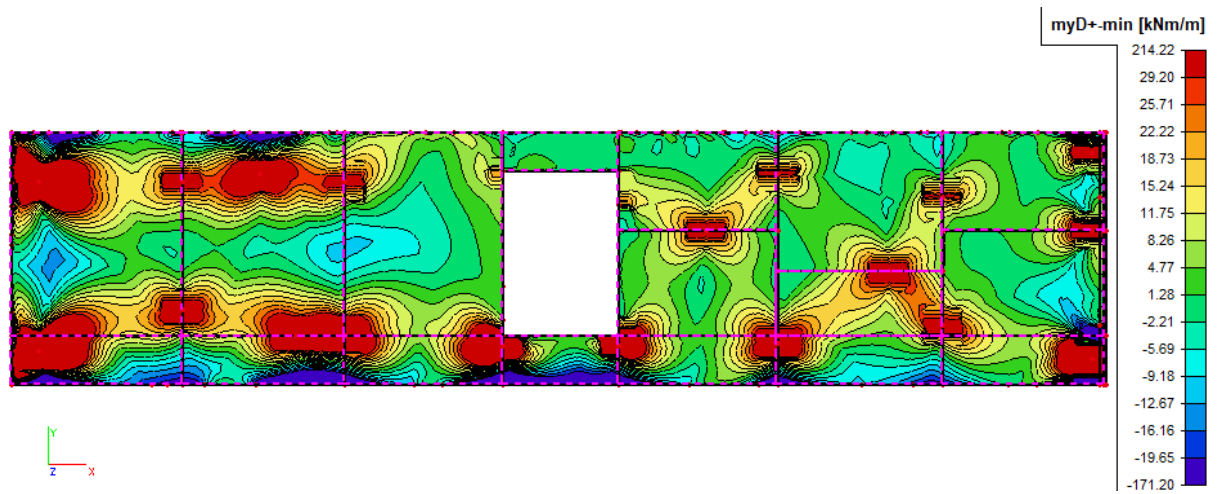
c) MSP – kvazistálá



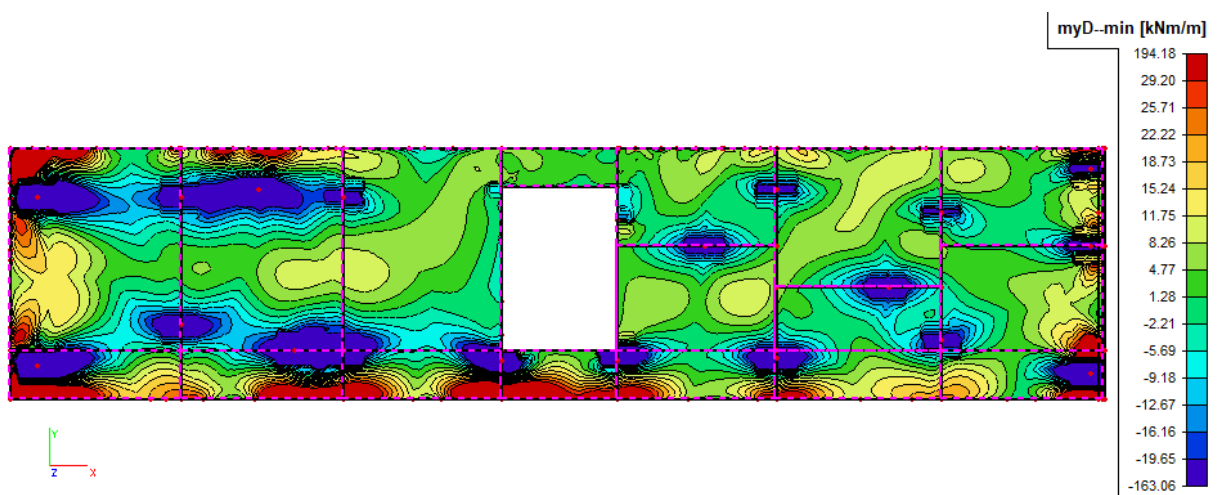
Obrázek 87 – MxD+ horní povrch



Obrázek 88 - MxD- dolní povrch



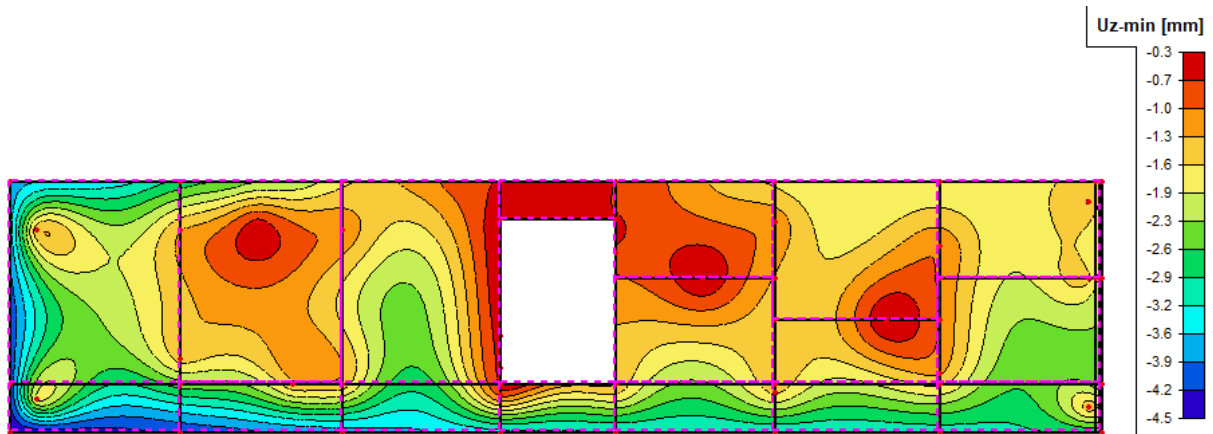
Obrázek 89 – MyD+ horní povrch



Obrázek 90 - MyD- dolní povrch

d) Průhyb

MSP kvazistálá kombinace

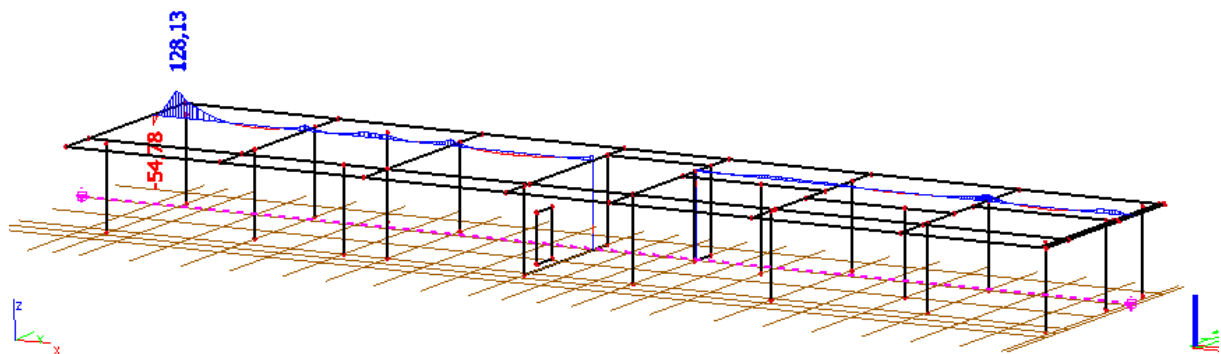


Obrázek 91 – Průhyb při kvazistálé kombinaci

Z výsledků byl vybrán maximální podporový moment, při kterém byla zkontrolována šířka trhliny a průhyb konstrukce.

5.2.6. Omezení šířky trhliny a výpočet průhybu

Omezení šířky trhliny (pro maximální moment při kvazistálé kombinaci ($m_{e,qp} = 128,13$ kNm/m - řez 25))



Obrázek 92 – Maximální moment při kvazistálé kombinaci – řez 25

Charakteristická šířka trhlin

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Maximální vzdálenost trhlin

- vzdálenost výztuže je $80 \text{ mm} < 5 * (c + \frac{\phi}{2}) = 170 \text{ mm}$
- pro výpočet šířky trhliny se tedy uvažuje maximální vzdálenost trhlin $s_{r,max}$

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$$

$k_1 = 0,8$ pro pruty s velkou soudržností

$k_2 = 0,5$ pro ohyb

$k_3 = 3,4$ dle normy ČSN EN 1992-1-1

$k_4 = 0,425$ dle normy ČSN EN 1992-1-1

$$s_{r,max} = 3,4 * 25 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * \frac{22}{0,11} = 119 \text{ mm}$$

Plocha betonu obklopující taženou výztuž

$$A_{c,eff} = b * h_{c,eff} = 1000 * 34,7 = 34700 \text{ mm}^2$$

$$h_{c,eff} = \min \left[2,5 * (h-d); \frac{(h-x)}{3}; \frac{h}{2} \right] = \min \left[2,5 * (250-216); \frac{(250-145,8)}{3}; \frac{250}{2} \right] = \min [85; \mathbf{34,7}; 125]$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3801,3}{34700} = 0,11$$

Rozdíl přetvoření

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 * \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Součinitel závisící na době trvání zatížení k_t

$k_t = 0,6$ pro krátkodobé zatížení

$k_t = 0,4$ pro dlouhodobé zatížení

Rozdíl přetvoření

$$f_{ct,eff} = 0,5 * f_{ctm} = 1,45 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{193,7 - 0,4 * \frac{1,45}{0,11} * (1 + 6,25 * 0,11)}{200000} \geq 0,6 * \frac{193,7}{200000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 9,24 * 10^{-4} \geq 8,3631 * 10^{-4}$$

VYHOVUJE

Šířka trhliny

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 119 * 9,24 * 10^{-4} = 0,11 \text{ mm}$$

Podmínka omezení šířky trhlin

$$w_k \leq w_{max} = 0,4 \text{ mm} \quad \text{prostředí XC1}$$

$$\mathbf{0,11 \text{ mm} \leq 0,4 \text{ mm}} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Průhyb konstrukce

Průhyb je spočítán přibližnou metodou. Elastický průhyb byl odečten z prostorového modelu.

Průhyb je názorně vypočítán s charakteristikami průřezu porušeného trhlinou při dlouhodobé kombinaci zatížení, které byly spočteny pro podporový moment z řezu 25.

Pokud pro kvazistálou kombinaci zatížení nevznikají trhliny v průřezu, bude provedena kontrola pro hodnoty charakteristické kombinace. Pokud při této kombinaci budou vznikat trhliny bude proveden výpočet součinitele ξ (vliv působení betonu mezi trhlinami), pokud však trhliny nebudou vznikat ani při charakteristické kombinaci zatížení, bude součinitel ξ uvažován 0,5, protože vznik trhlín se nedá zcela vyloučit.

beton C 30/37

- $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
- $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{32}{1 + 2,2} = 10 \text{ GPa}$

$\varphi = 2,2$ beton C 30/37, t = 28 dní, cement třídy R, $h_0 = 250 \text{ mm}$

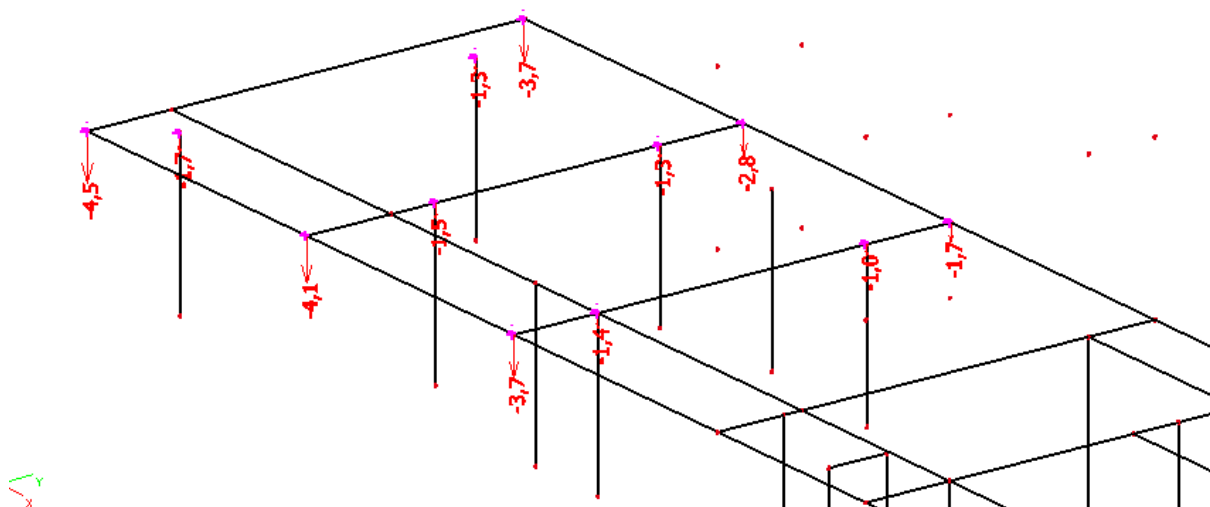
Vliv působení betonu mezi trhlinami – pro podporový průřez

$$\xi = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr}}{M_{ek,lt}} \right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{42,29}{128,13} \right)^2 = 0,95 \quad \beta = 0,5 \text{ pro dlouhodobě působící zatížení}$$

$$I_{vysl} = (1 - \xi) * I_i + \xi * I_{ir} = (1 - 0,95) * 15,2 * 10^{-4} + 0,95 * 12,5 * 10^{-4} = 1,026 * 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$y_{lim, pole} = \frac{l_{max}}{250} = \frac{6300}{250} = 25,2 \text{ mm}$$

$$y_{lim, konzola} = \frac{l_{max}}{125} = \frac{1200}{125} = 9,6 \text{ mm}$$



Obrázek 93 – Průhyb konstrukce ze softwaru Scia engineer

$$y_{\text{skutečný}} = w_{\text{el,st}} * \frac{I}{I_{\text{výsl}}} * \frac{E_{cm}}{E_{\text{eff}}} = (4,5-1,7) * \frac{\left(\frac{1}{12}\right) * 1,0 * 0,25^3}{1,026 * 10^{-3}} * \frac{32}{10} = 2,8 * 1,27 * 3,2 = 11,38 \text{ mm} +10\% \text{ (od smršťení) =}$$

$$= 12,5 \text{ mm}$$

Posouzení průhybu

$$y_{\text{skutečný}} > y_{\text{lim}}$$

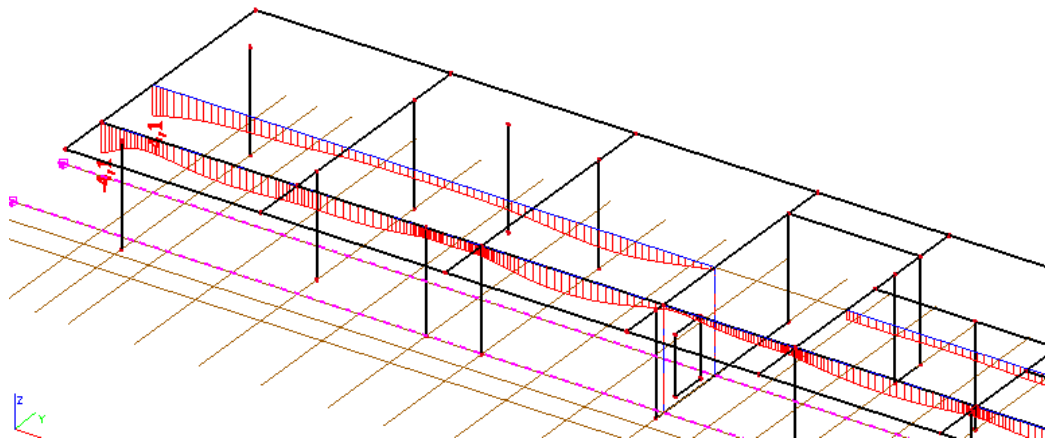
$$12,5 \text{ mm} > 9,6 \text{ mm}$$

PRŮHYB NEVYHOVUJE

5.3. Kritický průřez desky D4

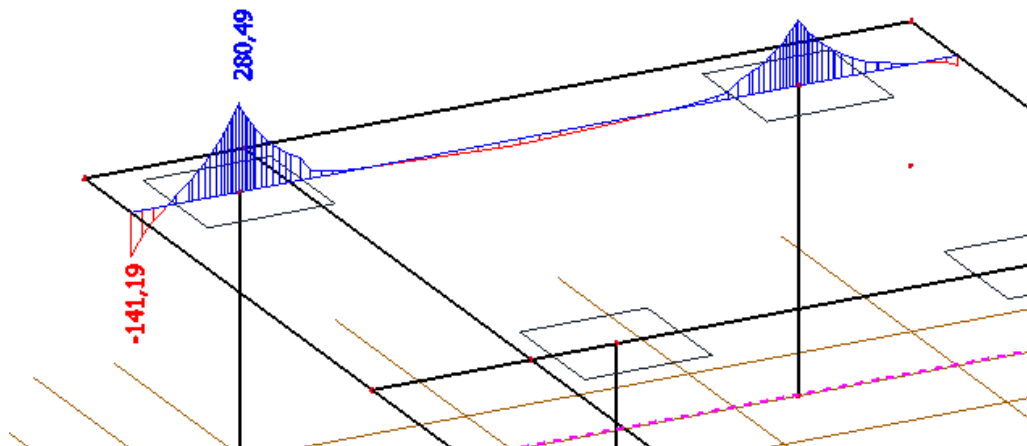
Stropní konstrukce nevyhovuje při posouzení mezního stavu únosnosti, a to v krajní vykonzolované části (viz tab. Posouzení kritického průřezu konstrukce). Výška tlačené oblasti v betonu je příliš velká, dále zde v betonu vznikají příliš velká napětí při charakteristické kombinaci zatížení ($> 0,6 f_{ck}$) a v této části konstrukce nevyhovuje ani průhyb desky.

Vnitřní síly a průhyby v kritickém průřezu konstrukce:



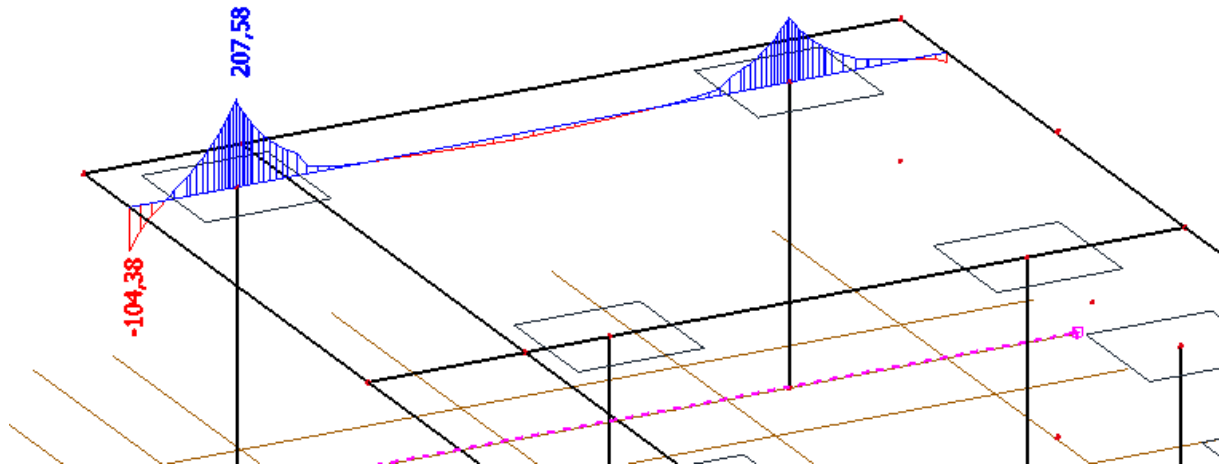
Obrázek 94 – Průhyb v kritickém průřezu konstrukce

MSÚ

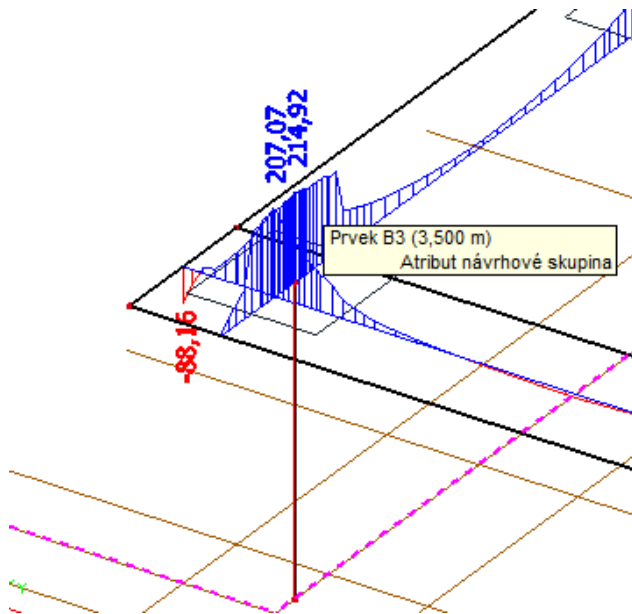


Obrázek 95 – Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce - MSÚ

MSP



Obrázek 96 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristická kombinace



Obrázek 97 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálá kombinace

Posouzení kritického průřezu konstrukce

Posouzení MSU

Směr y			Návrh													Posouzení				Kontrola		
Řez	Povrch	$m_{dim,y}$	ϕ	d_y	$A_{s,min}$	$a_{s,min3}$	$a_{s,max}$	s_{max}	s_{min}	s	$A_{s,rqd}$	počet	$A_{s,prov}$	kontrola A_s	kontrola s	x	m_{rd}	$m_{rd} > m_{ed}$	využití	$\xi = x/d$	ξ_{bal}	kontrola ξ
-	-	[kNm/m]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]			[mm]	[kNm/m]	[kNm/m]	[%]	-	-	
kritický průřez	horní	280,49	25	187,5	282,75	904	10000	300	50	83,333333	3822,974815	12	5890,486225	OK	OK	160,0675605	316,2243	VYHOVUJE	88,6997	0,853693656	0,45	NEVYHOVUJE

Posouzení MSP – charakteristická kombinace zatížení

MSP - krátkodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

MSP - krátkodobé - ideální průřez s trhlinami

oblast/řez	$m_{Ek,st}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dx [mm]	$\alpha_{e,st}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{Ek,st}$ < m_{cr}	x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži $0,8 f_{yk}$ [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	$0,6 f_{ck}$ [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,6 f_{ck}$
kritický průřez	207,58	25	12	5887,5	187,5	6,0606	285681,8182	132,8063	7,80628	0,001424	35,23878341	VZNIK TRHLIN	85,37136834	0,000579574	221,6871	400	VYHOVUJE	30,5765891	18	NEVYHOVUJE

Posouzení MSP – kvazistálá kombinace zatížení

MSP - dlouhodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

MSP - dlouhodobé - ideální průřez s trhlinami

oblast/řez	$m_{E,qp}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dy [mm]	$\alpha_{e,it}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{E,qp}$ < m_{cr}	x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži $0,8 f_{yk}$ [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	$0,45 f_{ck}$ [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,45 f_{ck}$
kritický průřez	214,92	25	12	5887,5	187,5	19,394	364181,8182	144,5956	19,5956	0,001608	44,24832248	VZNIK TRHLIN	122,1562224	0,001095145	248,6997	400	VYHOVUJE	23,9729028	13,5	NEVYHOVUJE

Šířka trhliny a průhyb konstrukce

průřez	n	ϕ	A_s	d	x	σ_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	$s_{r,max}$	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	kontrola $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	wk	wk < wmax	M_{cr}	$M_{ek,lt}$	ξ	I_i	I_{ir}	I pružné	I výsl	I/I výsl.	E_{cm}/E_{ceff}	$w_{el,st}$	y_{skut}	$y < y_{lim}$
kritický průřez	12	25	5890,5	191	144,6	248,7	35,135	35134,8	0,1677	110,3498	0,0012081	0,00075 OK	0,133311	ok	44,24832	214,92	0,978806	0,0016	0,00110	0,00130	0,00111	1,17712	3,2	2,8	11,60172	ne

Vzhledem k tomu, že průřez nelze na tato napětí vyztužit, byly navrženy úpravy této části konstrukce. Úpravy byly postupně navrženy v šesti variantách:

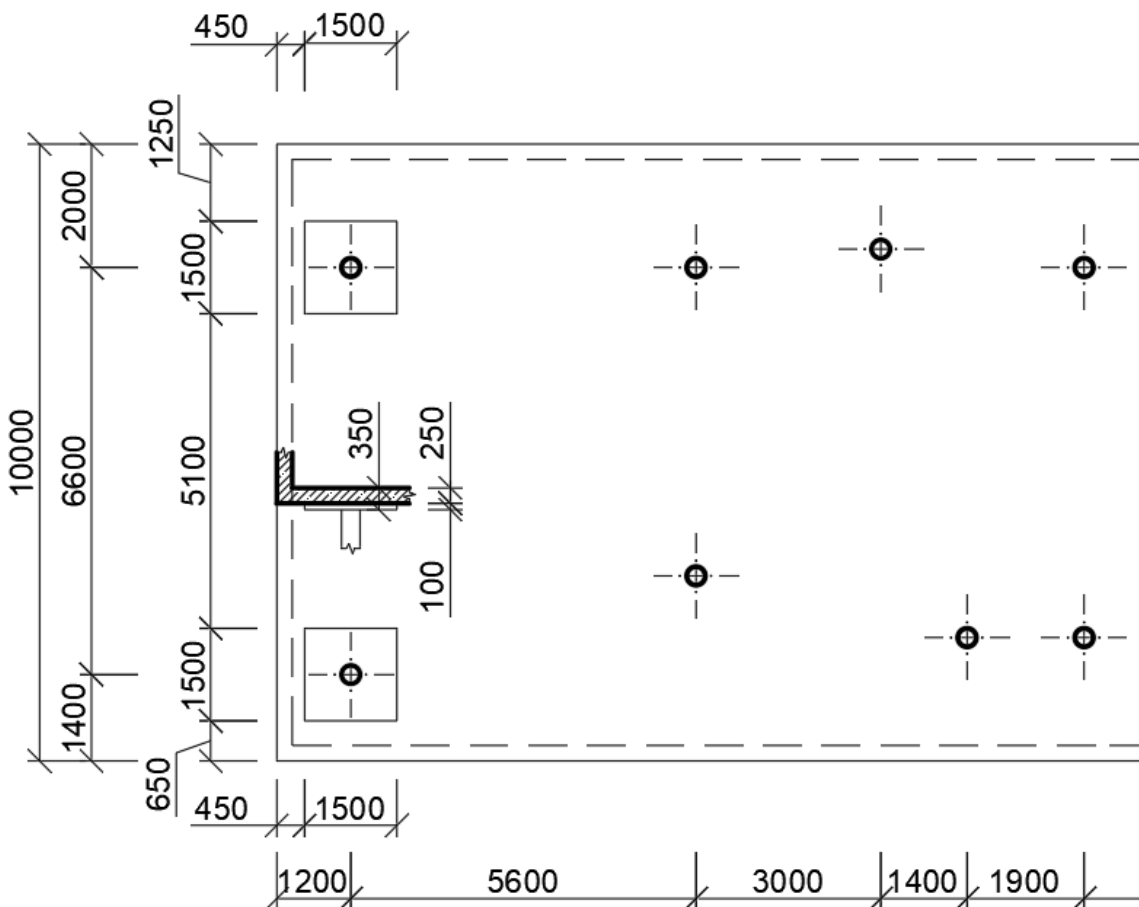
- zesílení desky nad sloupy – o 100, 150 a 200 mm
- zesílení celé krajní části desky – o 100 a 150 mm
- podpory – sloupy pokračující v dalších podlažích

Pro každou z těchto úprav byly zjištěny nové vnitřní síly, na ně navržena výztuž desky a bylo provedeno posouzení pro MSP a průhyb.

5.4. Úprava konstrukce desky D4

5.4.1. VARIANTA 1 – zesílení desky nad sloupy

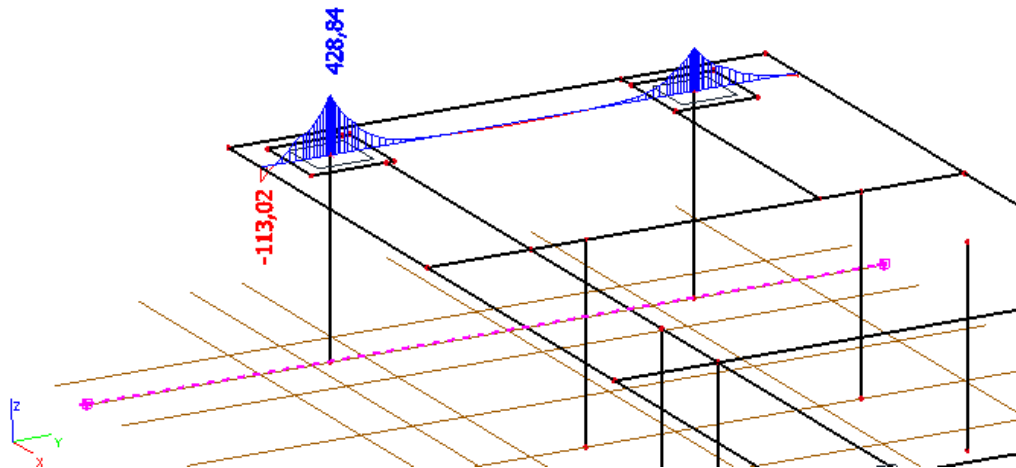
- zesílení stropní desky nad sloupy bylo provedeno u krajních sloupů. Tloušťka desky byla zvětšena o 100 mm na celkovou tloušťku 350 mm. Zesílení je čtvercové s hranou o délce 1,5 m.



Obrázek 98 – Schéma varianty 1

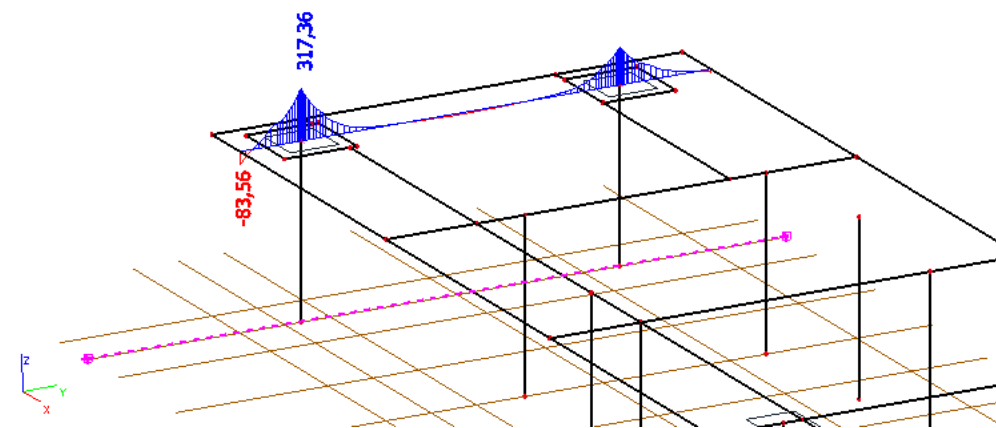
Výsledné momenty v kritickém průřezu:

MSU



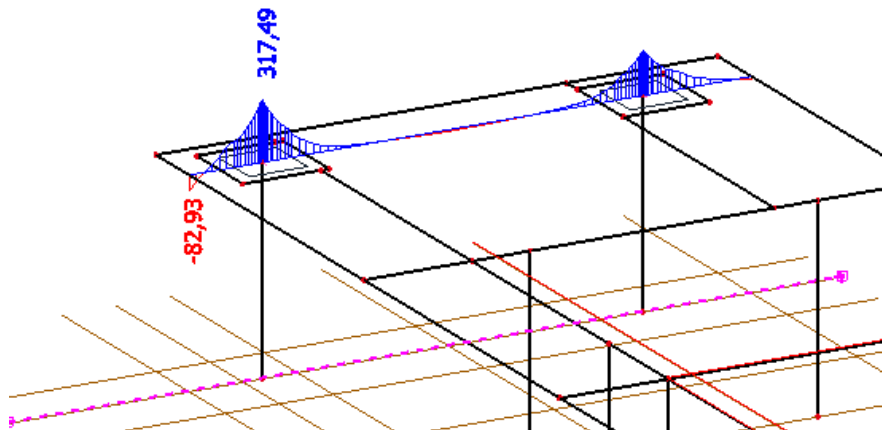
Obrázek 99 – Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce - MSÚ

MSP



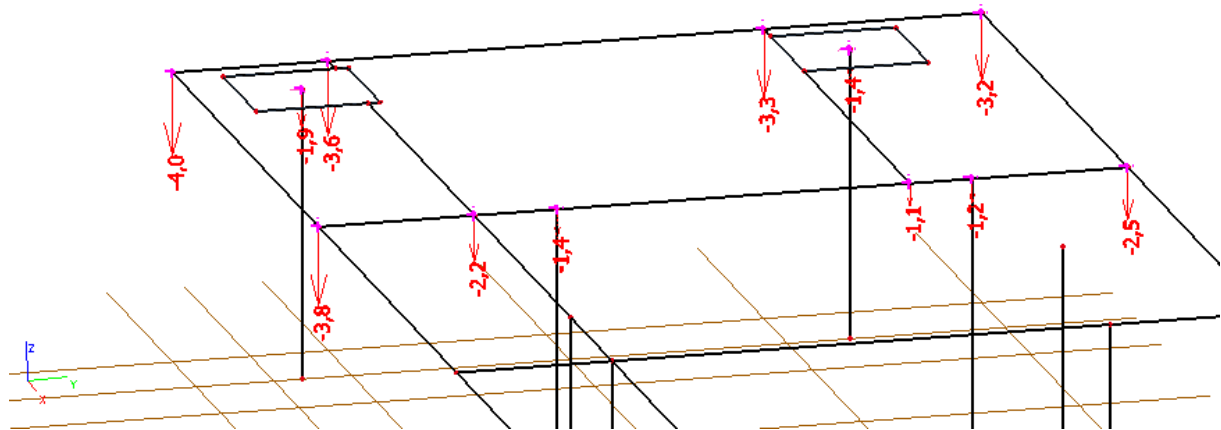
Obrázek 100 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické

MSP



Obrázek 101 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé

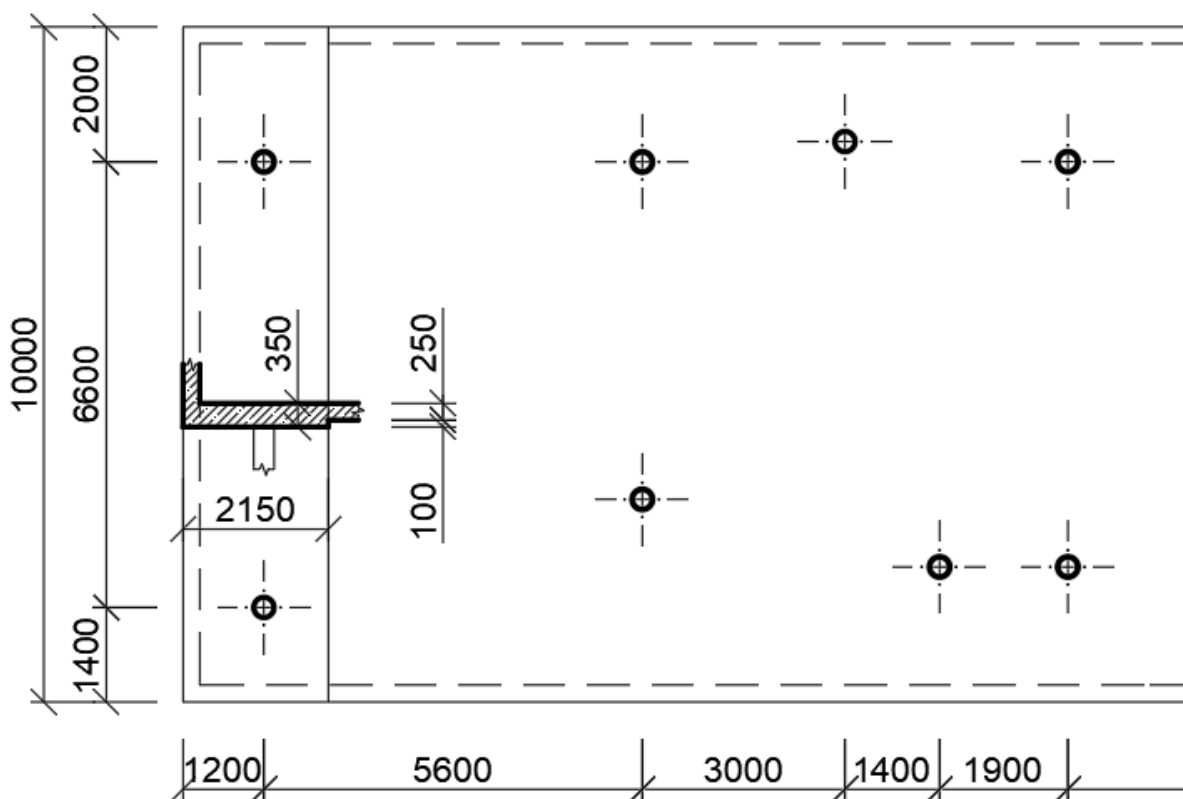
Průhyb



Obrázek 102 – Průhyb v kritickém průřezu konstrukce

5.4.2. VARIANTA 2 – zesílení kraje desky

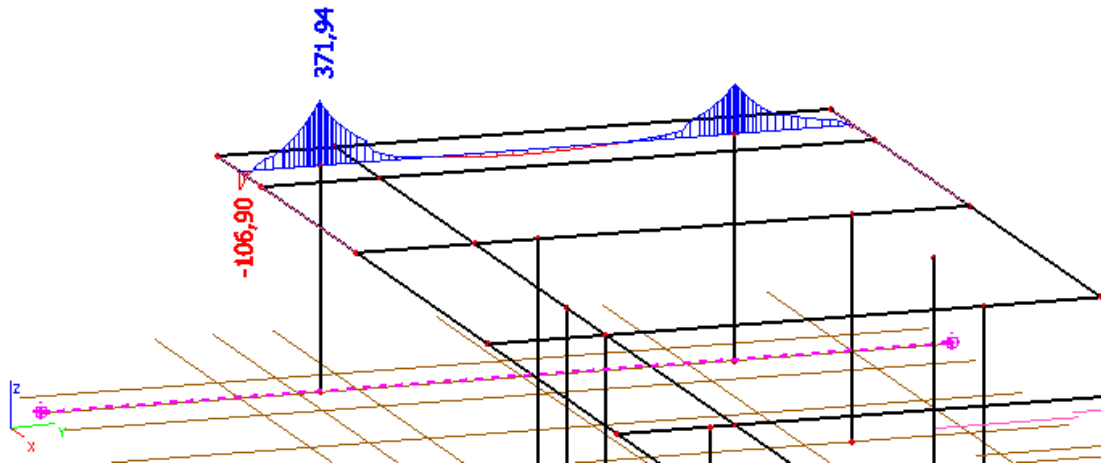
- Kraj desky široký 2150 mm byl zesílen o 100 mm na celkovou tloušťku desky na 350 mm.



Obrázek 103 – Schéma varianty 2

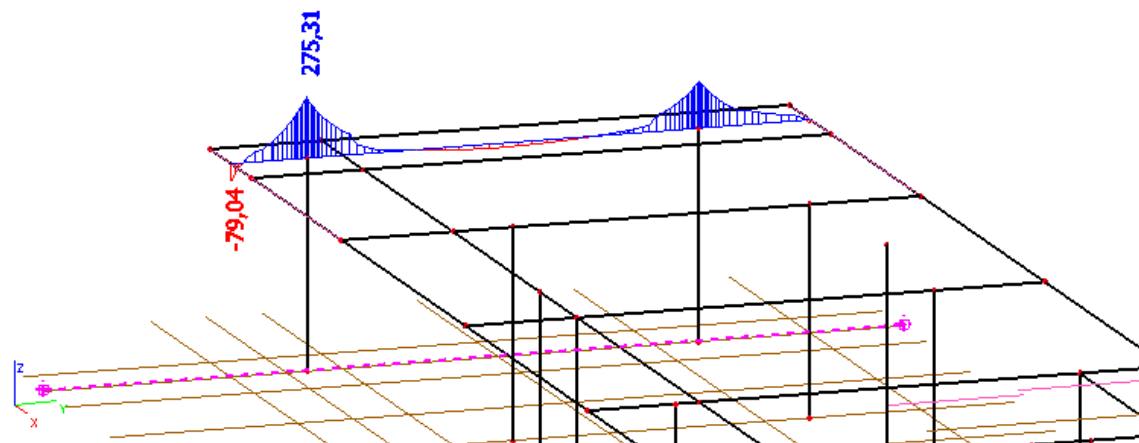
Výsledné momenty v kritickém průřezu:

MSU

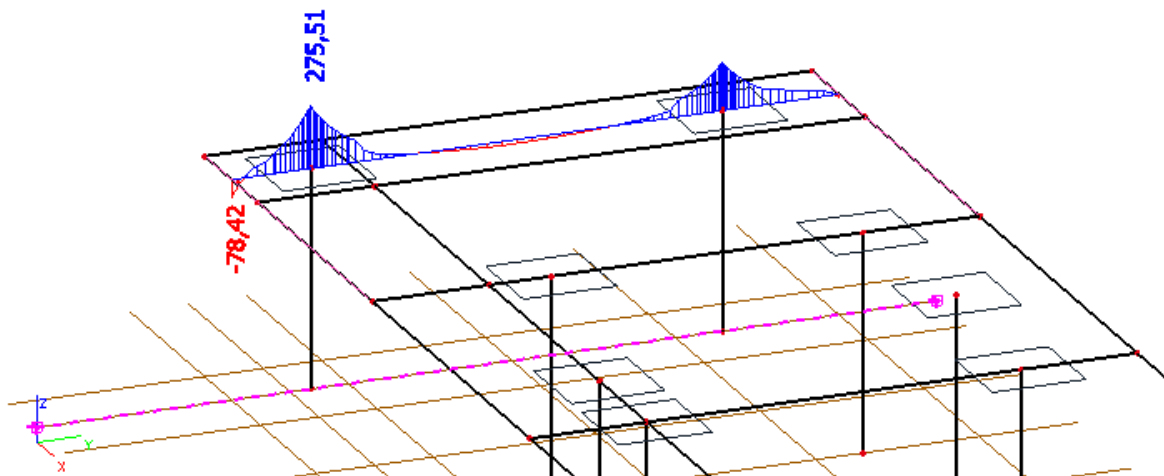


Obrázek 104 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSU

MSP

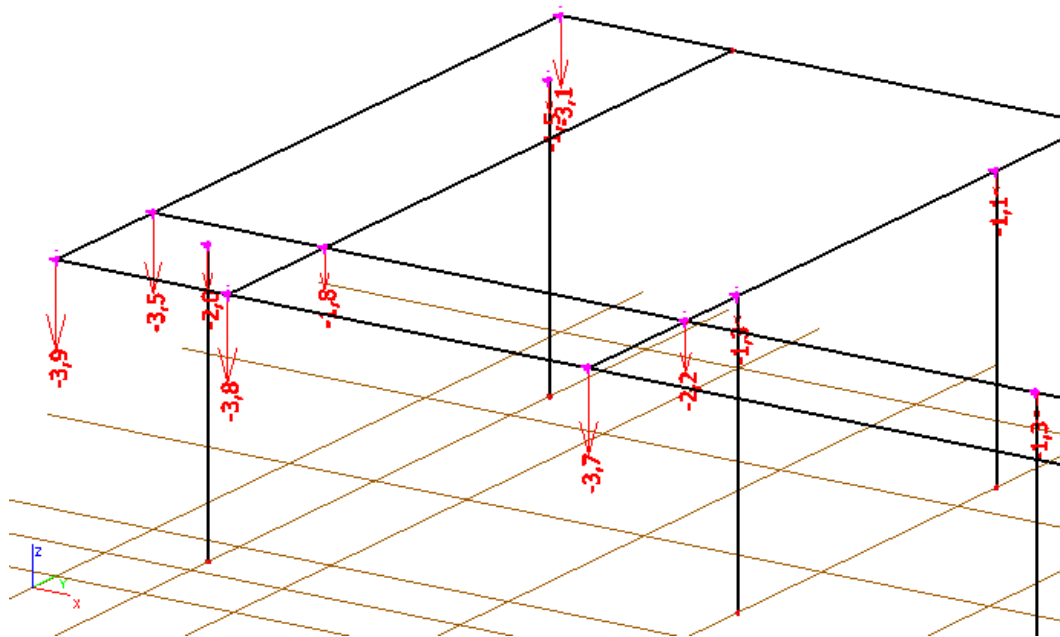


Obrázek 105 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické



Obrázek 106 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé

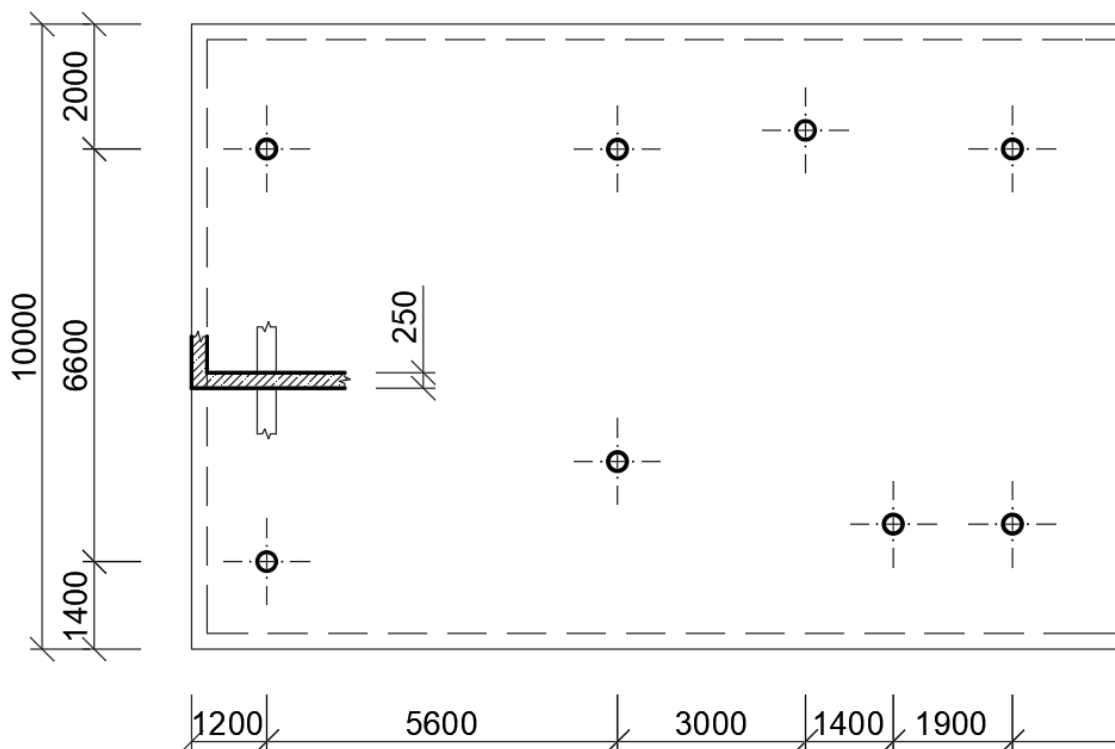
Průhyb



Obrázek 107 – Průhyb v kritickém průřezu konstrukce

5.4.3. VARIANTA 3 – Pokračování krajních sloupů v dalších podlažích

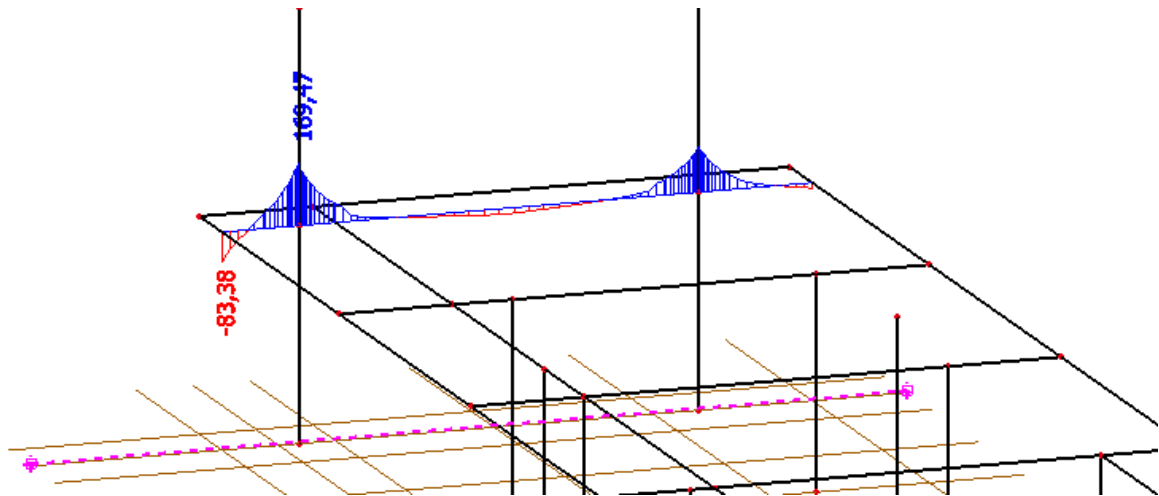
- Krajní sloupy podpírající stropní desku budou pokračovat ve všech vyšších podlažích.



Obrázek 108 – Schéma varianty 3

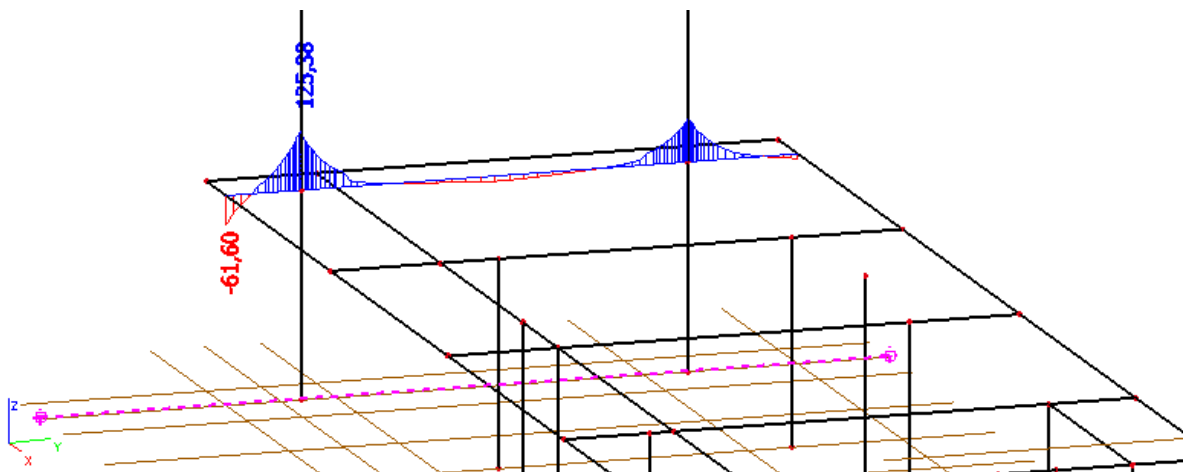
Výsledné momenty v kritickém průřezu:

MSU

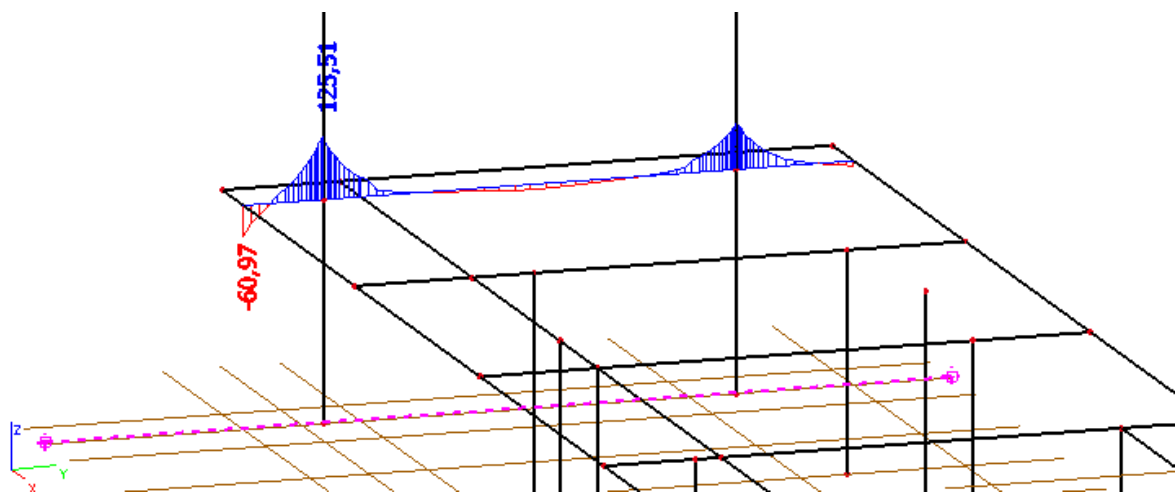


Obrázek 109 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSU

MSP

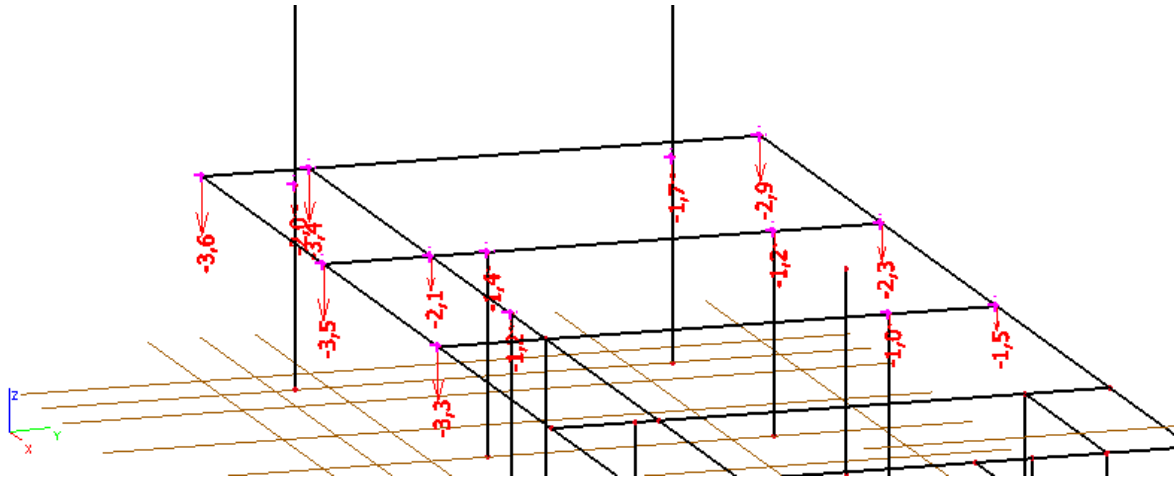


Obrázek 110 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické



Obrázek 111 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé

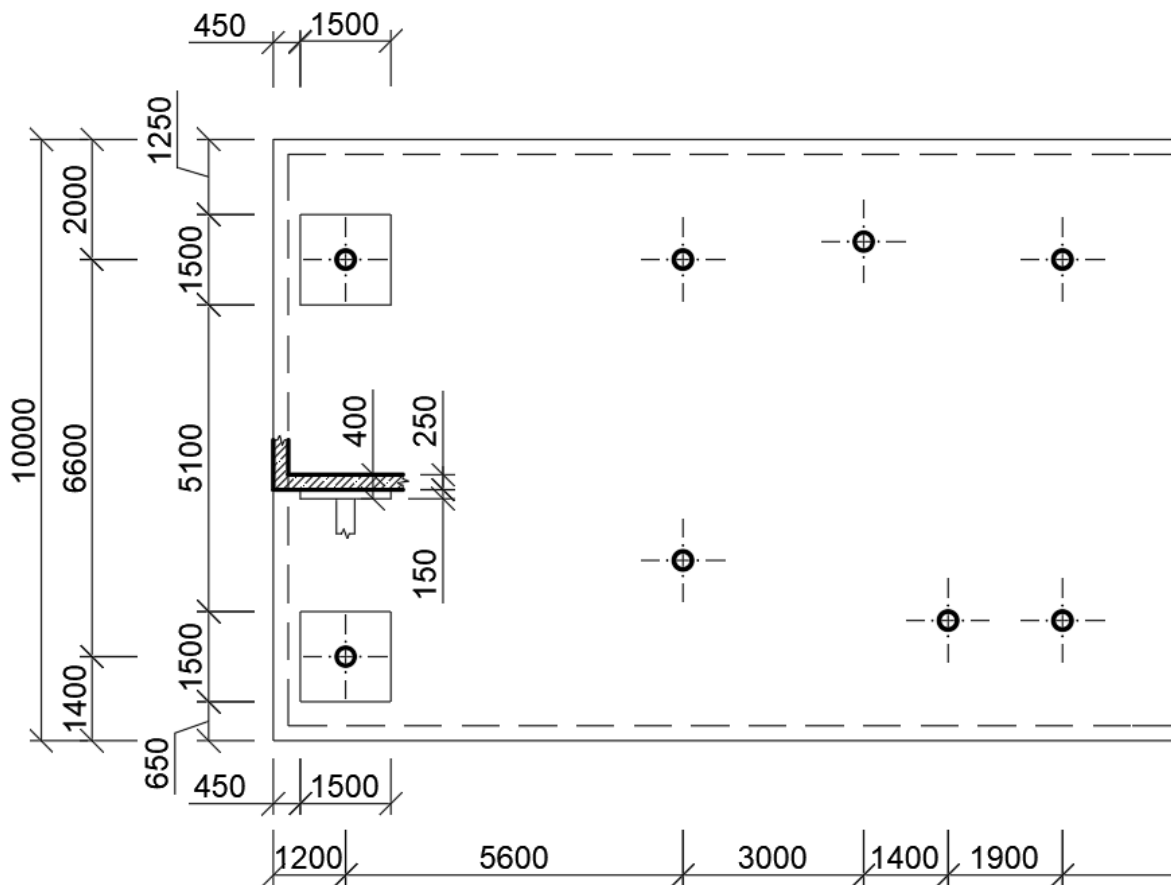
Průhyb



Obrázek 112 – Průhyb v kritickém průřezu konstrukce

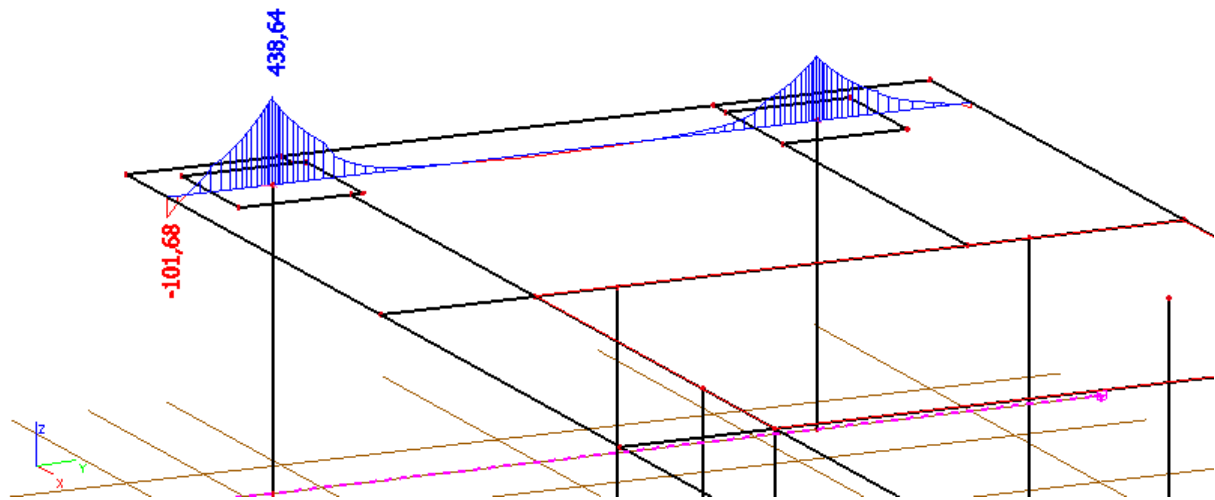
5.4.4. VARIANTA 4 – Zesílení desky nad sloupy

- Zesílení stropní desky nad sloupy bylo provedeno u krajních sloupů. Tloušťka desky byla zvětšena o 150 mm na celkovou tloušťku 400 mm. Zesílení je čtvercové s hranou o délce 1,5 m.



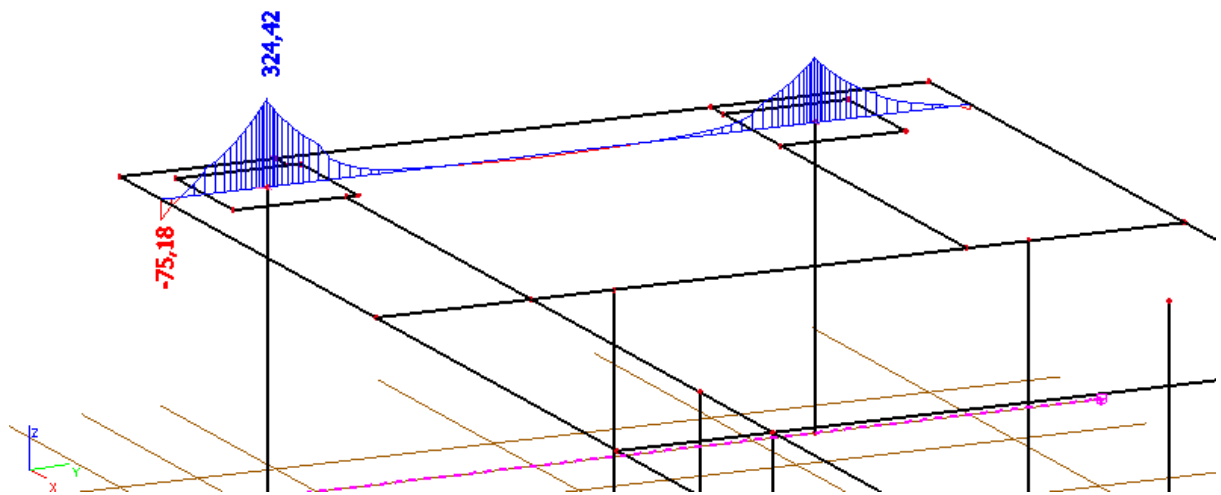
Obrázek 113 – Schéma varianty 4

MSU

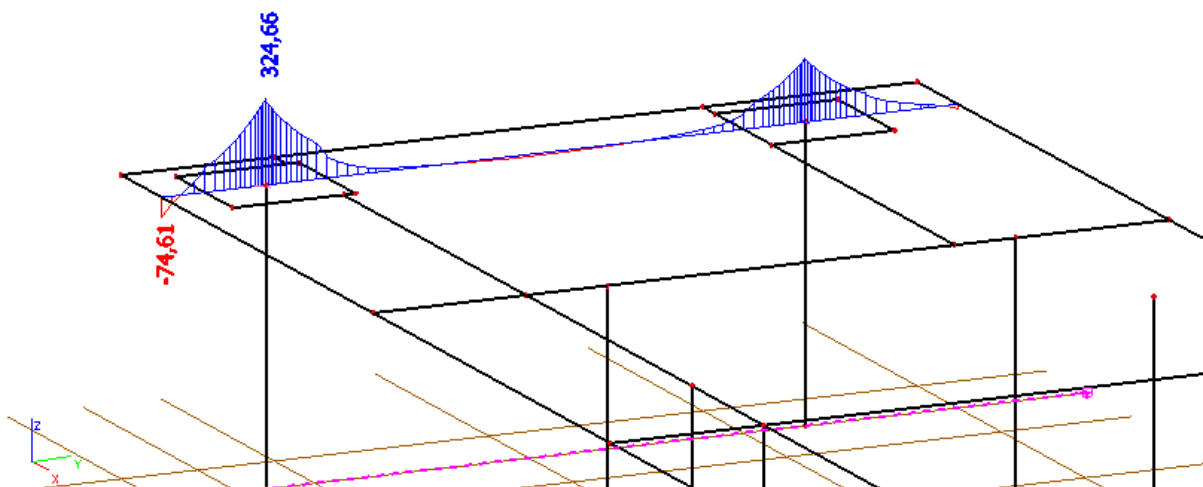


Obrázek 114 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSU

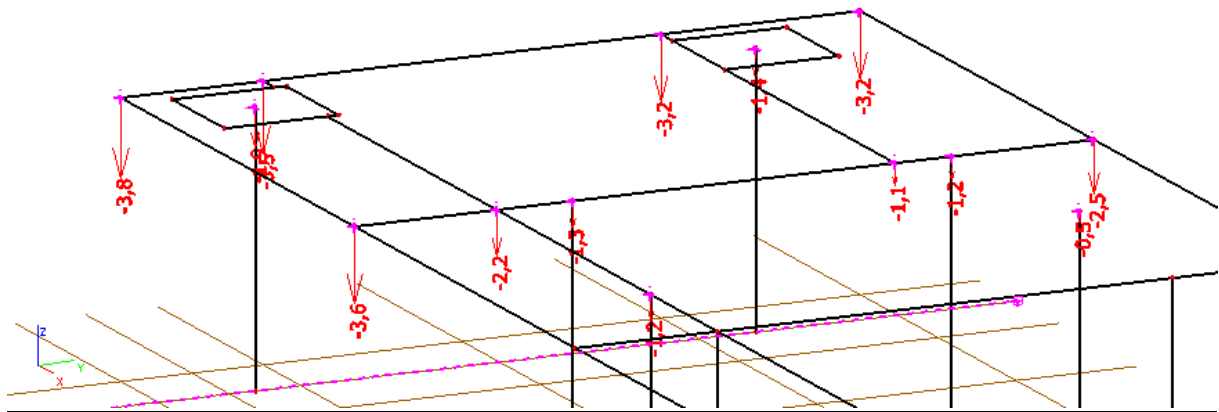
MSP



Obrázek 115 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické



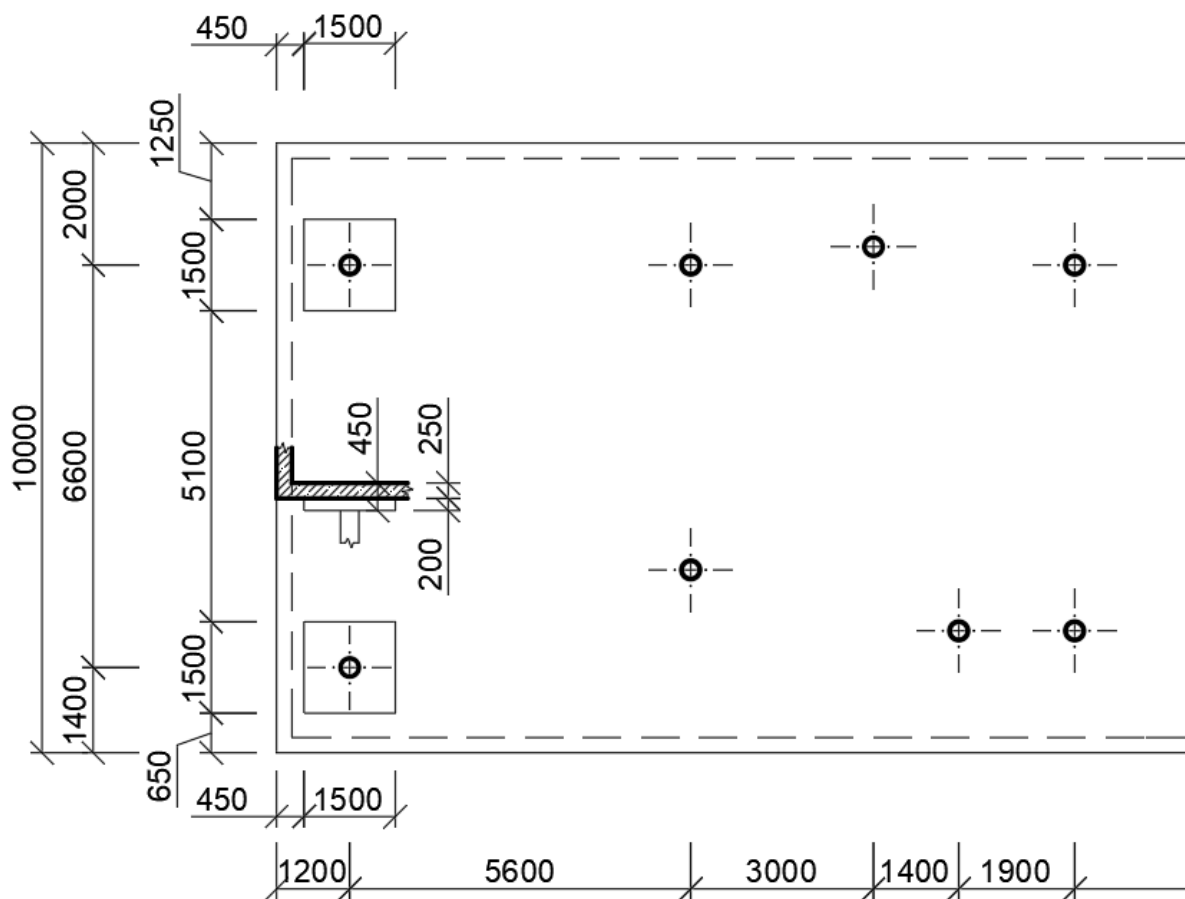
Obrázek 116 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé



Obrázek 117 – Posuny uzlů

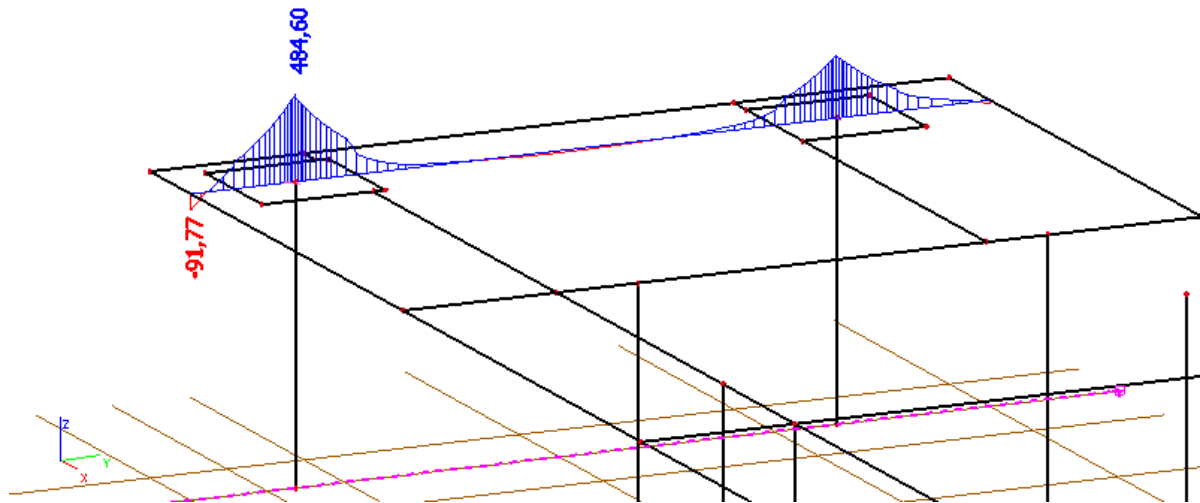
5.4.5. VARIANTA 5 – Zesílení desky nad sloupy

- Zesílení stropní desky nad sloupy bylo provedeno u krajních sloupů. Tloušťka desky byla zvětšena o 200 mm na celkovou tloušťku 450 mm. Zesílení je čtvercové s hranou o délce 1,5 m.



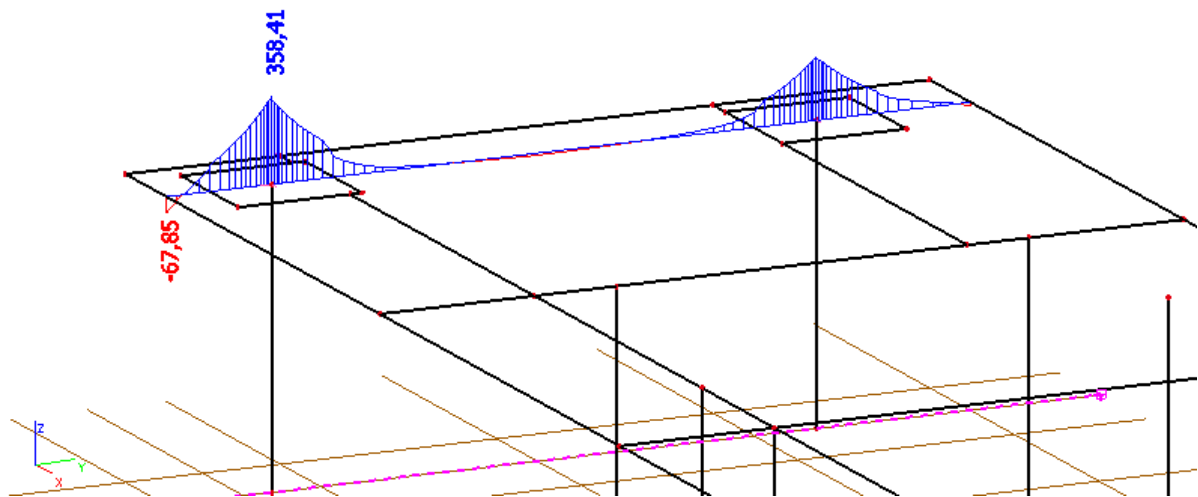
Obrázek 118 – Schéma varianty 5

MSU

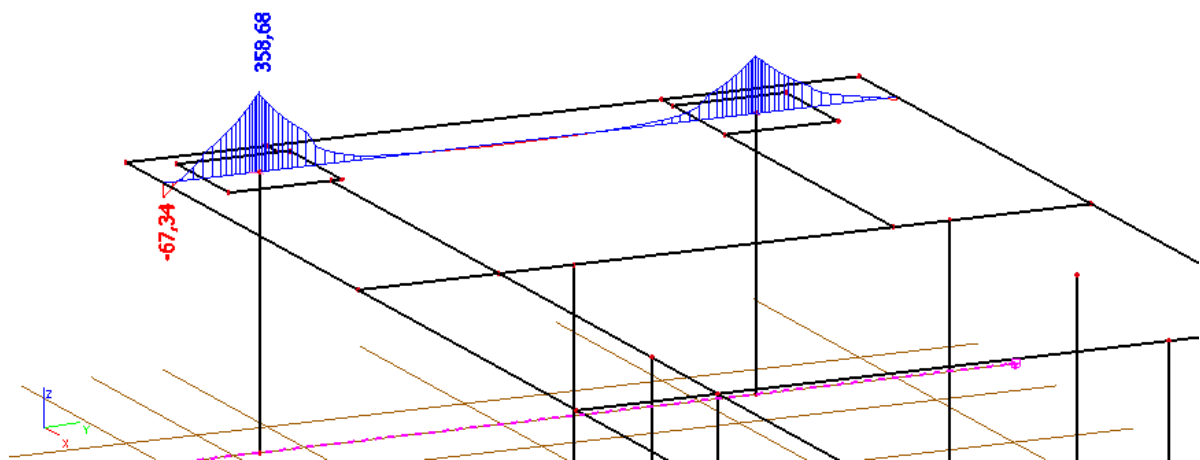


Obrázek 119 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSU

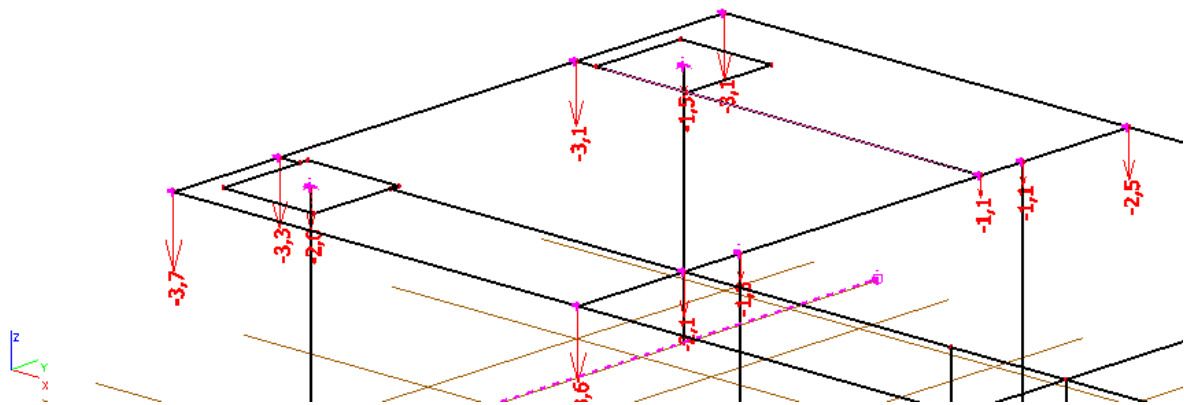
MSP



Obrázek 120 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické



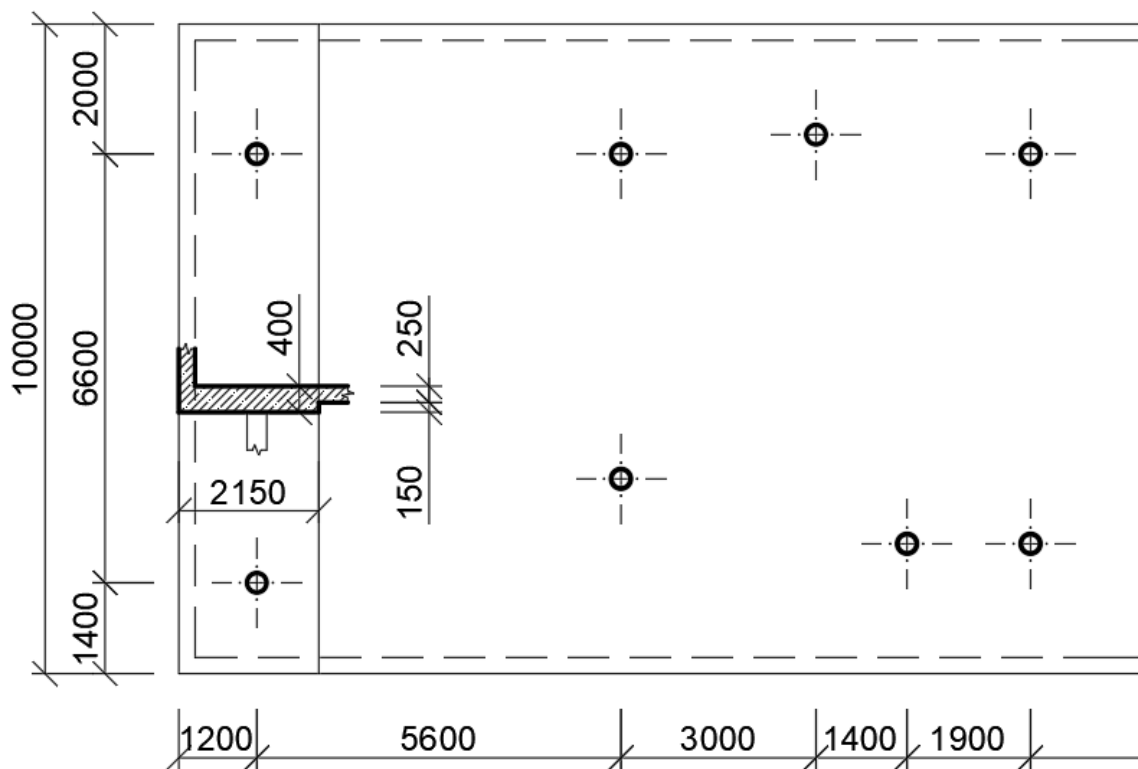
Obrázek 121 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé



Obrázek 122 – Posuny uzlů

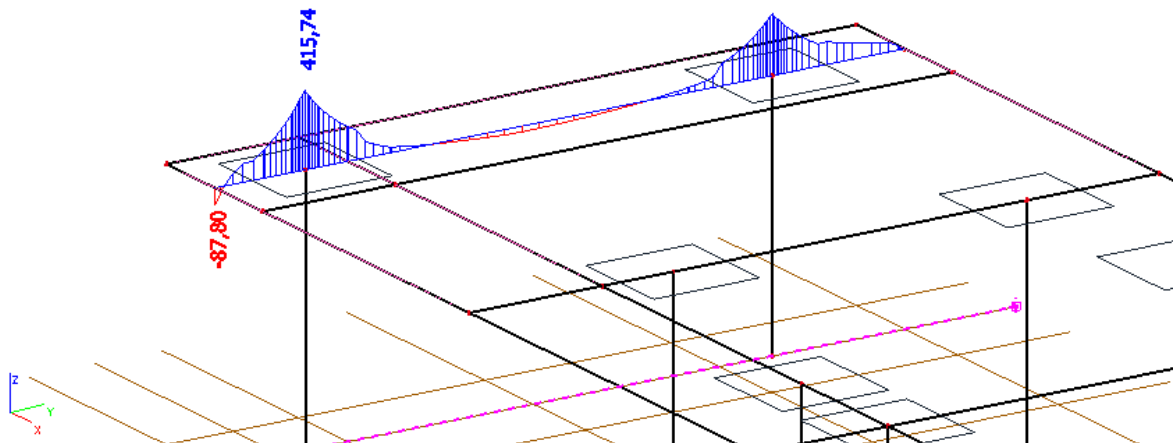
5.4.6. VARIANTA 6 – zesílení kraje desky

- Kraj desky široký 2150 mm byl zesílen o 150 mm na celkovou tloušťku desky na 400 mm.



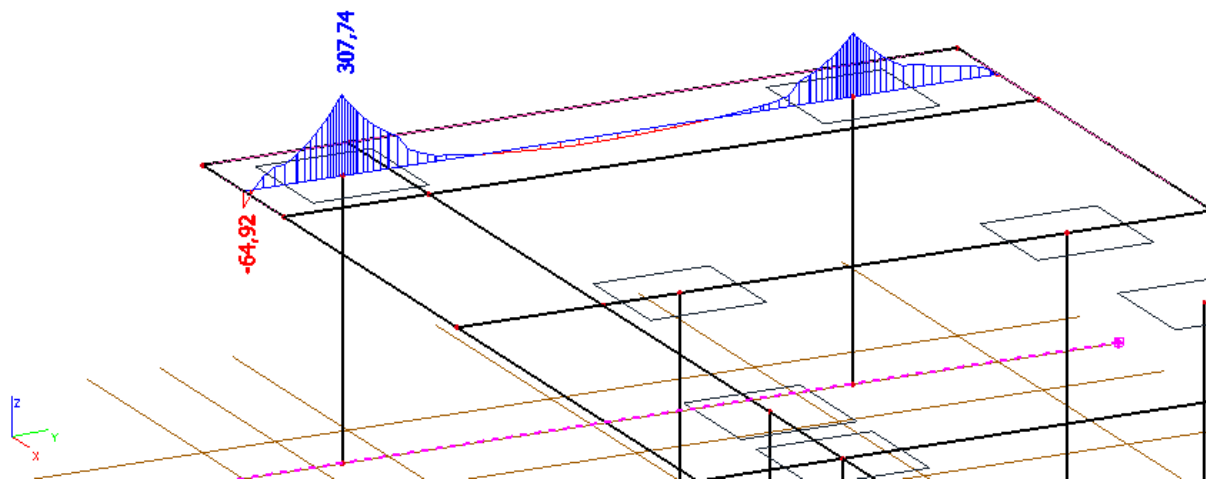
Obrázek 123 – Schéma varianty 6

MSU

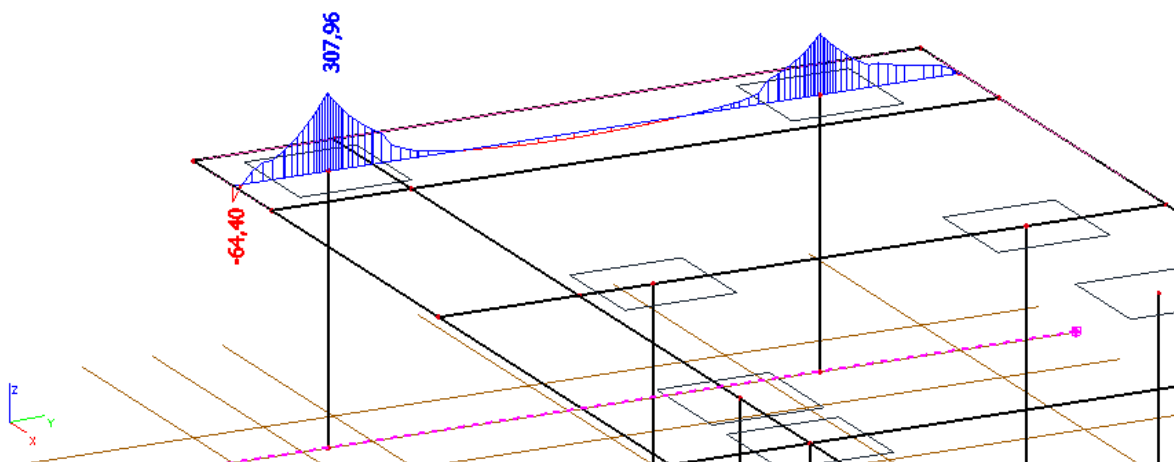


Obrázek 124 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSU

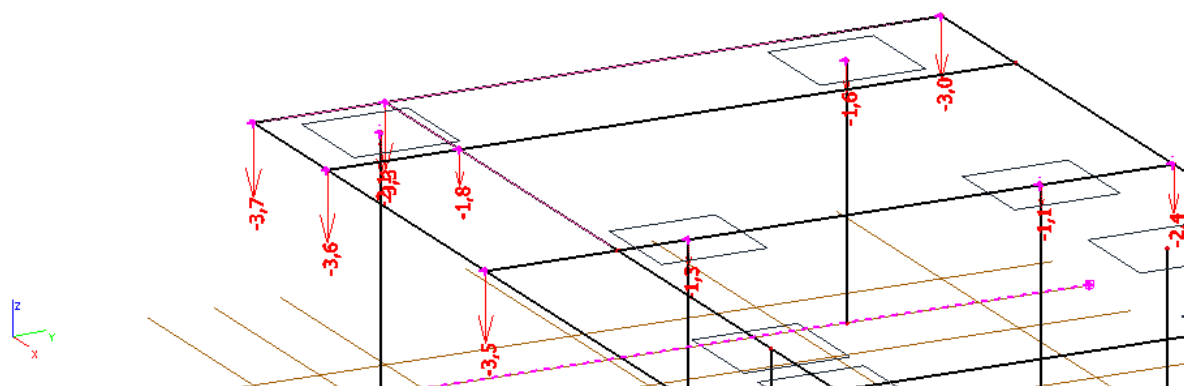
MSP



Obrázek 125 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP charakteristické



Obrázek 126 - Výsledné momenty v kritickém průřezu konstrukce – MSP kvazistálé



Obrázek 127 – Posun uzlů

Posouzení kritických průřezů při MSÚ a MSP, výpočet šířky trhliny a průhybu

Posouzení MSU

Směr y			Návrh													Posouzení				Kontrola		
Řez	Povrch	$m_{dim,y}$	ϕ	d_y	$A_{s,min}$	$a_{s,min3}$	$a_{s,max}$	s_{max}	s_{min}	s	$A_{s,rd}$	počet	$A_{s,prov}$	kontrola	x	m_{rd}	$m_{rd}>m_{ed}$	využití	$\xi = x/d$	ξ_{bal}	kontrola ξ	
-	-	[kNm/m]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	A_s	[mm]	[kNm/m]	[kNm/m]	[%]	-	-	-	
kritický průřez var.1	horní	367,22	22	292	440,336	904	14000	300	50	83,333333	3213,873668	12	4561,592533	OK	123,9563188	480,7868	VYHOVUJE	76,379	0,424507941	0,45	VYHOVUJE	
kritický průřez var.2	horní	371,94	20	295	444,86	904	14000	300	50	83,333333	3222,079096	12	3769,911184	OK	102,4432387	416,3665	VYHOVUJE	89,3299	0,347265216	0,45	VYHOVUJE	
kritický průřez var.3	horní	169,47	25	187,5	282,75	904	10000	300	50	66,666667	2309,813333	15	7363,107782	OK	200,0844506	344,0371	VYHOVUJE	49,2592	1,06711707	0,45	NEVYHOVUJE	
kritický průřez var.4	horní	438,64	22	342	515,736	904	16000	300	50	100	3277,68681	10	3801,327111	OK	103,2969324	496,9512	VYHOVUJE	88,2662	0,302037814	0,45	VYHOVUJE	
kritický průřez var.5	horní	484,6	20	395	595,66	904	16000	300	50	83,333333	3135,246132	12	3769,911184	OK	102,4432387	580,2757	VYHOVUJE	83,512	0,259349971	0,45	VYHOVUJE	
kritický průřez var.6	horní	415,74	22	342	515,736	904	18000	300	50	83,333333	3106,569201	12	4561,592533	OK	123,9563188	579,9519	VYHOVUJE	71,6853	0,362445377	0,45	VYHOVUJE	

Posouzení MSP – charakteristická kombinace zatížení

MSP - krátkodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

oblast/řez	$m_{Ek,st}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	d_x [mm]	$\alpha_{e,st}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{Ek,st}$ < m_{cr}
kritický průřez var.1	271,77	22	12	4559,28	292	6,0606	377632	183,5611	8,5611	0,003923	68,36221047	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.2	275,31	20	12	3768	295	6,0606	372836,3636	182,35	7,35004	0,003882	67,14402998	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.3	125,38	25	15	7359,375	187,5	6,0606	294602,2727	134,4624	9,46239	0,00145	36,39339897	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.4	324,42	22	10	3799,4	342	6,0606	423026,6667	207,7295	7,7295	0,005772	87,06416806	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.5	358,41	20	12	3768	395	6,0606	472836,3636	233,2104	8,21041	0,008222	109,9838578	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.6	307,74	22	12	4559,28	342	6,0606	427632	209,1755	9,17552	0,005855	88,97211277	VZNIK TRHLIN

MSP - krátkodobé - idální průřez s trhlínami

x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,6 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,6 f_{ck}$
102,370367	0,001351233	231,1497	400	VYHOVUJE	20,5894814	18	NEVYHOVUJE
95,46390707	0,001199221	277,6261	400	VYHOVUJE	21,91603795	18	NEVYHOVUJE
92,20129084	0,000666341	108,6763	400	VYHOVUJE	17,34877153	18	VYHOVUJE
104,5682681	0,001679236	278,0038	400	VYHOVUJE	20,20206625	18	NEVYHOVUJE
113,4068996	0,002296982	266,2935	400	VYHOVUJE	17,69546513	18	VYHOVUJE
112,595727	0,001929992	221,6899	400	VYHOVUJE	17,95354652	18	VYHOVUJE

Posouzení MSP – kvazistálá kombinace zatížení

MSP - dlouhodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

oblast/řez	$m_{E,qp}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	d_y [mm]	$\alpha_{e,lt}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{E,qp}$ < m_{cr}
kritický průřez var.1	271,87	22	12	4559,28	292	19,394	438422,4	198,5969	23,5969	0,004539	86,94480813	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.2	275,51	20	12	3768	295	19,394	423076,3636	195,7271	20,7271	0,004443	83,52748685	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.3	125,51	22	15	5699,1	192	19,394	360528	145,5404	20,5404	0,001646	45,69985057	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.4	324,66	22	10	3799,4	342	19,394	473685,3333	222,0892	22,0892	0,006588	107,3863553	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.5	358,68	20	12	3768	395	19,394	523076,3636	248,7498	23,7498	0,007122	102,6274059	VZNIK TRHLIN
kritický průřez var.6	307,96	22	12	4559,28	342	19,394	488422,4	225,7072	25,7072	0,006794	113,0348556	VZNIK TRHLIN

MSP - dlouhodobé - idální průřez s trhlínami

x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,45 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,45 f_{ck}$
155,4160761	0,00290085	248,2571	400	VYHOVUJE	14,56572241	13,5	NEVYHOVUJE
147,0490767	0,002659505	297,2489	400	VYHOVUJE	15,23346976	13,5	NEVYHOVUJE
123,2650512	0,001146496	145,9316	400	VYHOVUJE	13,49415202	13,5	VYHOVUJE
162,5990215	0,003804496	296,9084	400	VYHOVUJE	13,87552967	13,5	NEVYHOVUJE
178,062009	0,005321009	283,6056	400	VYHOVUJE	12,00285102	13,5	VYHOVUJE
172,9192201	0,004251336	237,5358	400	VYHOVUJE	12,52599217	13,5	VYHOVUJE

Výpočet šířky trhliny a průhybu

průřez	n	ϕ	A_s	d	x	σ_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	$s_{r,max}$	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	kontrola ε_{sm} ε_{cm}	wk	wk < wmax
kritický průřez 1	12	22	4559,3	292	198,6	248,257	50,468	50467,69	0,0903	126,3989	0,0011911	0,00074 OK	0,150549	ok
kritický průřez 2	12	20	3768	295	195,73	297,249	51,424	51424,29	0,0733	131,402	0,0014285	0,00089 OK	0,187713	ok
kritický průřez 3	15	22	5699,1	192	145,54	145,932	34,820	34819,88	0,1637	107,8503	0,0006938	0,00044 OK	0,074828	ok
kritický průřez 4	10	22	3799,4	342	222,09	296,908	59,304	59303,61	0,0641	143,3765	0,0014212	0,00089 OK	0,20376	ok
kritický průřez 5	12	20	3768	395	248,75	283,606	67,083	67083,39	0,0562	145,5317	0,0013483	0,00085 OK	0,196216	ok
kritický průřez 6	12	22	4559,3	342	225,71	237,536	58,098	58097,59	0,0785	132,6577	0,0011326	0,00071 OK	0,150248	ok

Mcr	Mek,lt	ξ	l_i	l_{ir}	l pružné	lvýsl	l/výsl	Ecm/ Eceff	$w_{el,st}$	y_{skut}	y < ylim
86,94481	271,87	0,948863	0,0045	0,00290	0,00357	0,00298	1,19711	3,2	2,1	8,849002	ok
83,52749	275,51	0,954043	0,0044	0,00266	0,00357	0,00274	1,30328	3,2	1,6	7,340046	ok
45,69985	125,51	0,933711	0,0016	0,00115	0,00130	0,00118	1,10382	3,2	1,6	6,216707	ok
107,3864	324,66	0,945297	0,0066	0,00380	0,00533	0,00396	1,34790	3,2	1,9	9,014779	ok
102,6274	358,68	0,959066	0,0071	0,00532	0,00759	0,00539	1,40762	3,2	1,7	8,42322	ok
113,0349	307,96	0,932639	0,0068	0,00425	0,00533	0,00442	1,20593	3,2	1,6	6,791815	ok

Ze všech úprav modelů vyhověly na MSU i MSP varianty 3, 5 a 6. Pro další výpočty bude použit model varianty 6 - se zesílením desky na kraji na celkovou tloušťku 400 mm.

Pro tento model také bude navrženo konečné vyztužení desky a spočítán průhyb konstrukce.

5.1.1. Průhyb konstrukce – konečný model var. 6

beton C 30/37

- $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$
- $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{33}{1 + 2,2} = 10,3 \text{ GPa}$

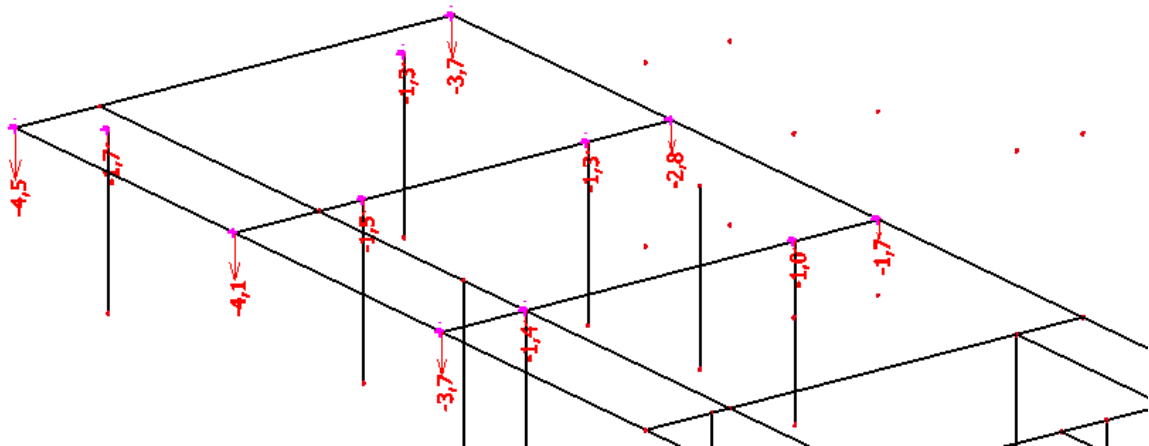
$\varphi = 2,2$ beton C 30/37, t = 28 dní, cement třídy R, $h_0 = 250 \text{ mm}$

Vliv působení betonu mezi trhlinami – pro podporový průřez

$$\xi = 1 - \beta * \left(\frac{M_{cr}}{M_{ek,lt}} \right)^2 = 1 - 0,5 * \left(\frac{113,03}{307,96} \right)^2 = 0,933 \quad \beta = 0,5 \text{ pro dlouhodobě působící zatížení}$$

$$I_{výsl} = (1 - \xi) * I_i + \xi * I_{ir} = (1 - 0,933) * 67,9 * 10^{-4} + 0,933 * 42,5 * 10^{-4} = 0,00442 \text{ m}^4$$

$$y_{lim, konzola} = \frac{l_{max}}{125} = \frac{1200}{125} = 9,6 \text{ mm}$$



Obrázek 128 – Průhyb konstrukce ze softwaru Scia engineer

$$y_{skutečný} = w_{el,st} * \frac{I}{I_{výsl}} * \frac{E_{cm}}{E_{ceff}} = (3,7 - 2,1) * \left(\frac{1}{12} \right) * 1,0 * 0,4^3 * \frac{33}{10,3} = 1,6 * 1,2 * 3,2 = 6,144 \text{ mm} + 10\% \text{ (od smršťení)} = \mathbf{6,76 \text{ mm}}$$

Posouzení průhybu

$y_{skutečný} > y_{lim}$

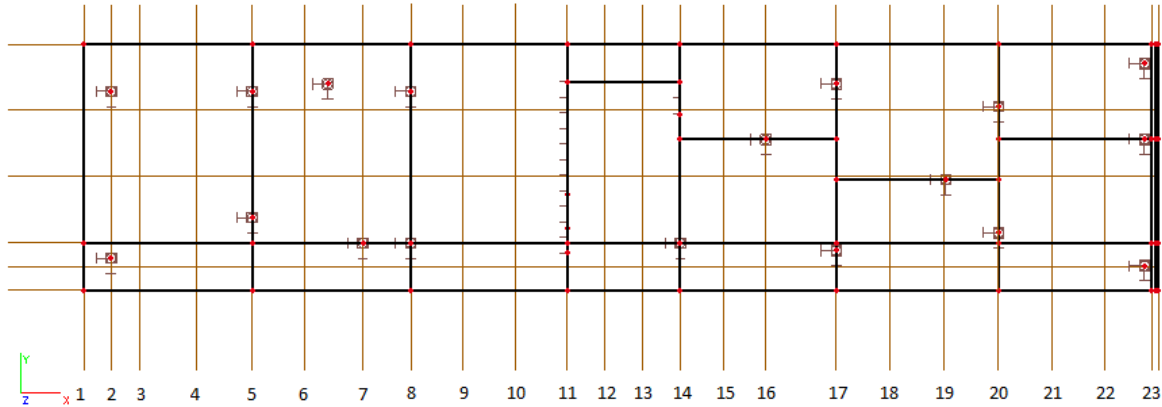
$6,76 \text{ mm} > 9,6 \text{ mm}$

PRŮHYB VYHOVUJE

5.5. Návrh výztuže desky – výsledky modelu var. 6

Na následující návrhové momenty byla navržena výztuž desky D4. V tabulce Posouzení momentů ve vybraných řezech se nacházejí jen vybrané momenty na desce, které byly převzaty z řežů na konstrukci. Doplňující výpočty byly prováděny při výkresu výztuže desky a nejsou uvedeny v tabulce. Řezy byly vedeny nejnamáhanějšími místy desky tak, aby bylo zjištěno co nejvíce extrémů.

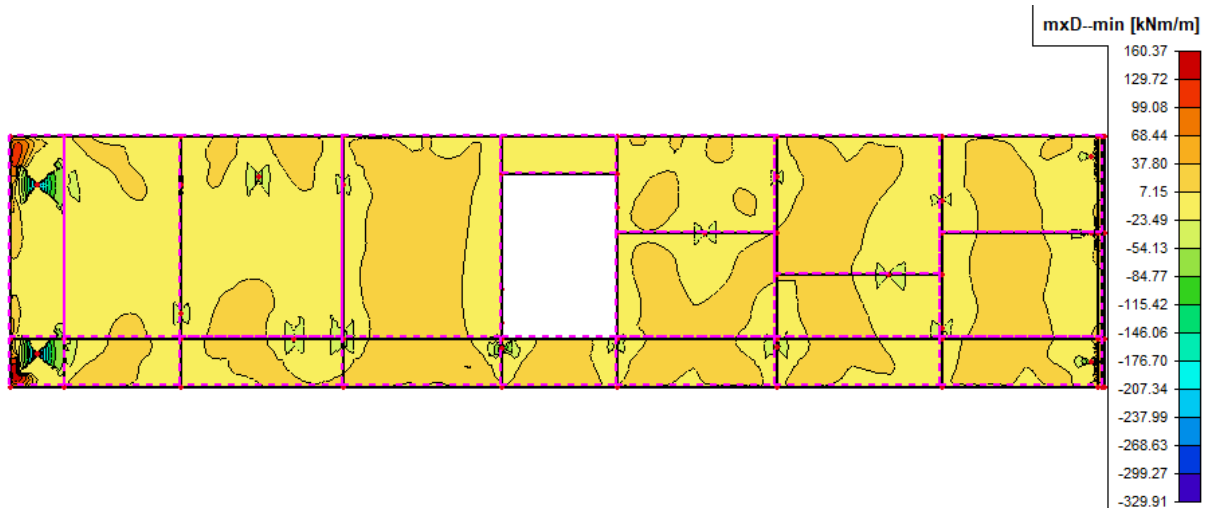
Schémata řezů na konstrukci



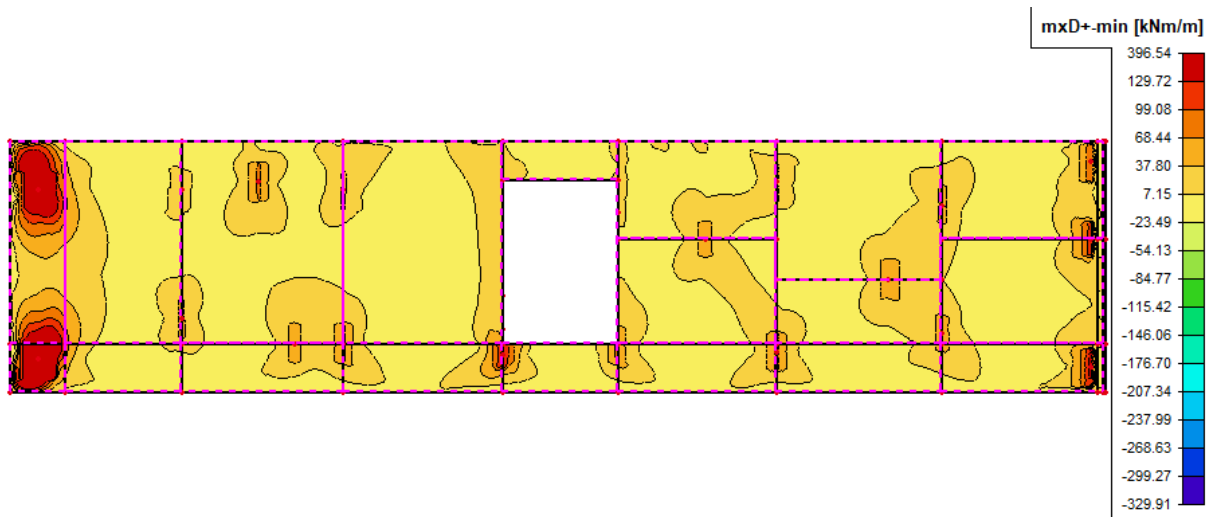
Obrázek 129 – Schémata řezů na konstrukci

Výsledné momenty na upravené desce D4:

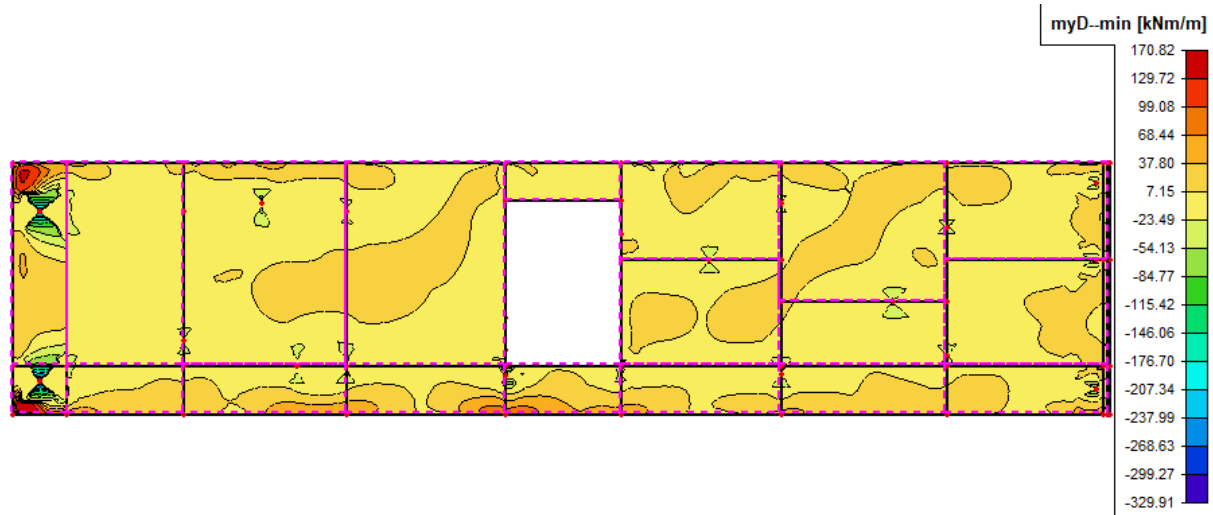
1. MSU



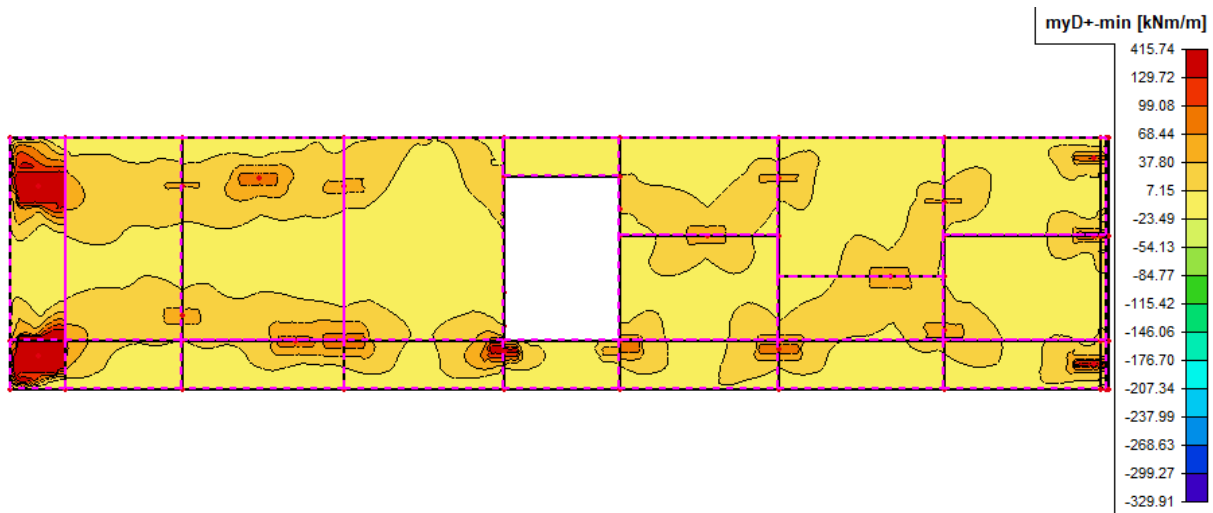
Obrázek 130 – MxD- dolní povrch



Obrázek 131 – MxD+ horní povrch

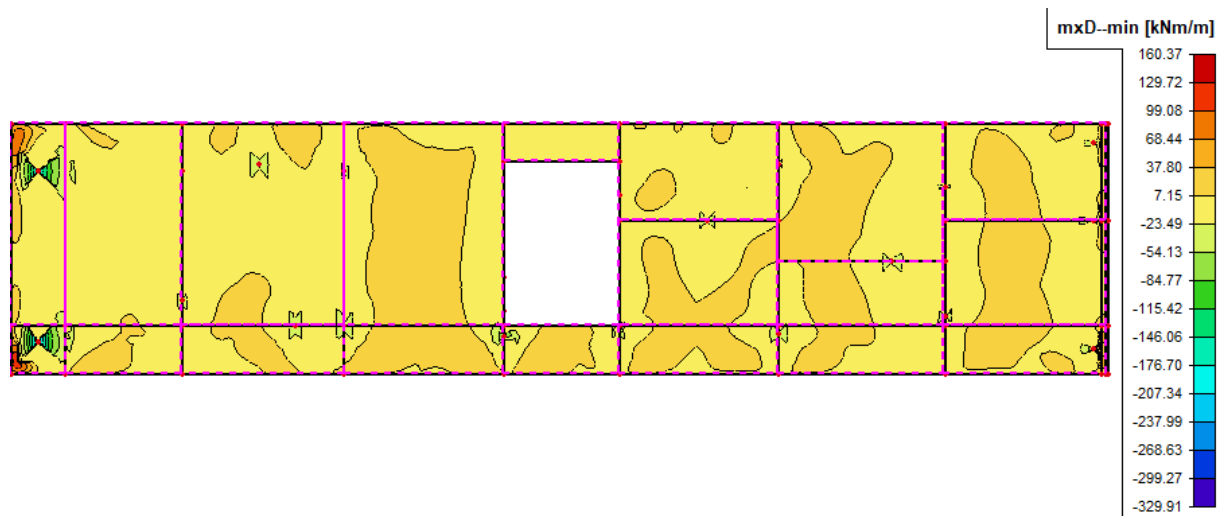


Obrázek 132 – MxD- dolní povrch

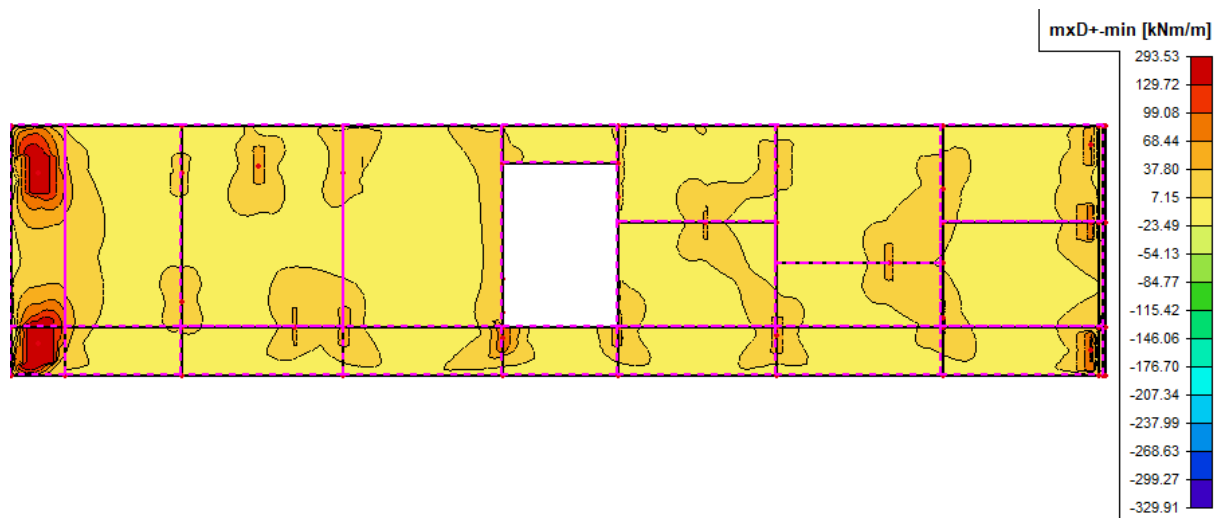


Obrázek 133 – MxD+ horní povrch

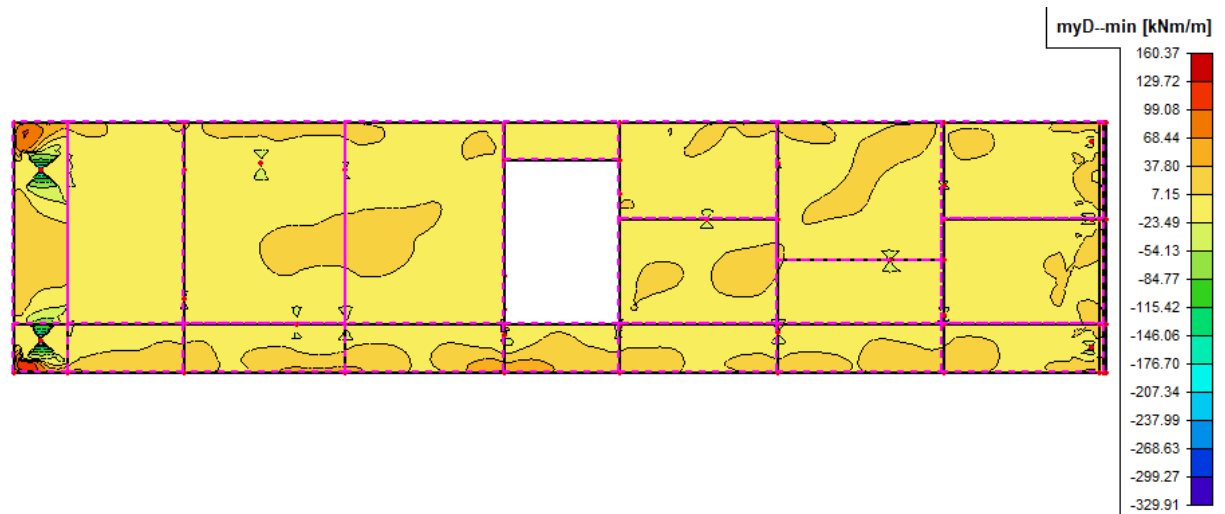
2. MSP – charakteristická kombinace zatížení



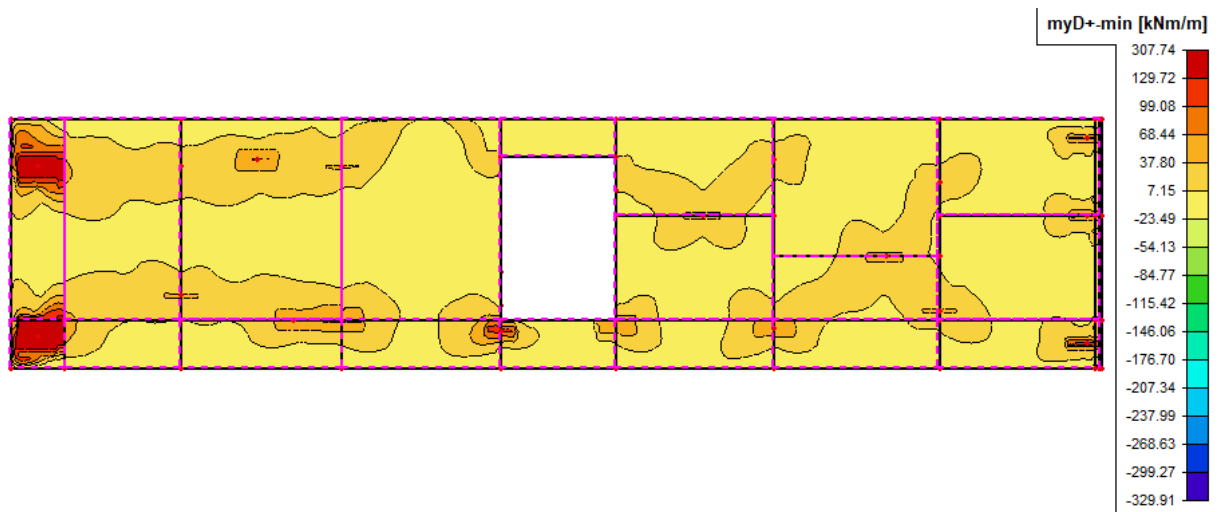
Obrázek 134 - MxD- dolní povrch



Obrázek 135 – MxD+ horní povrch

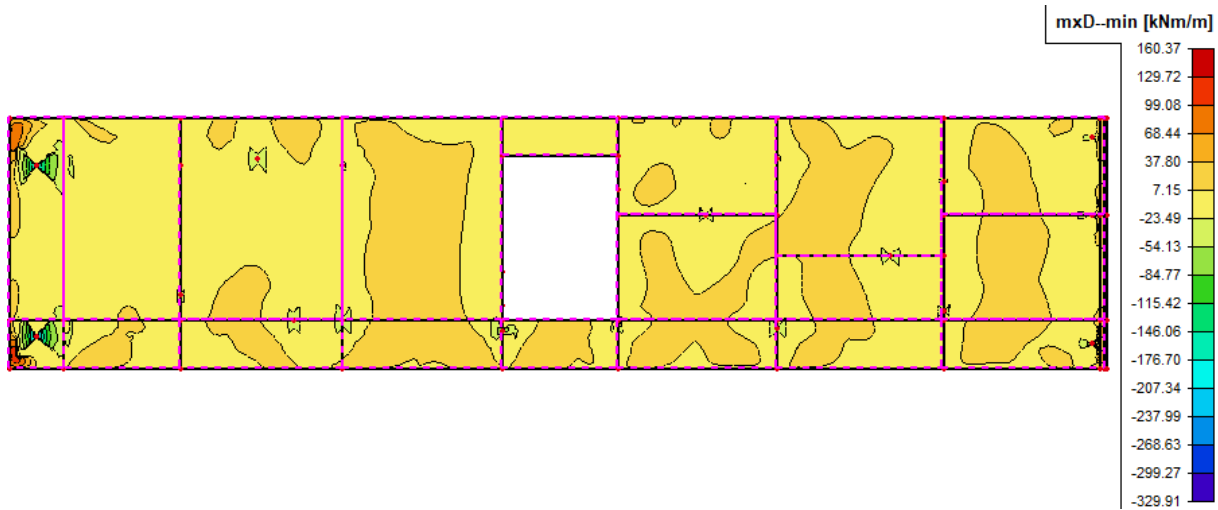


Obrázek 136 – MxD- dolní povrch

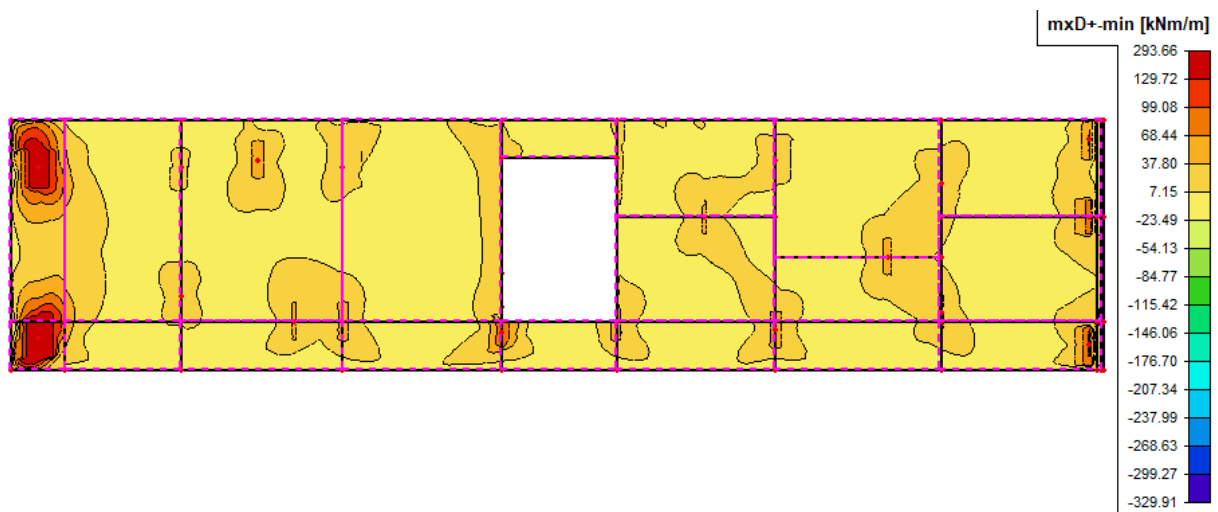


Obrázek 137 – MxD+ horní povrch

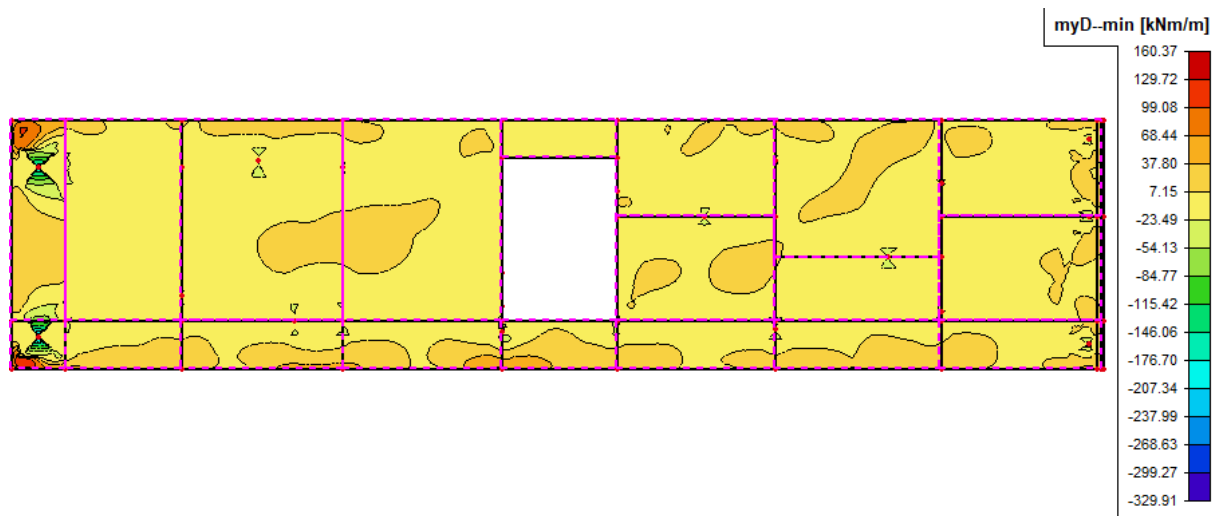
3. MSP – kvazistálá kombinace zatížení



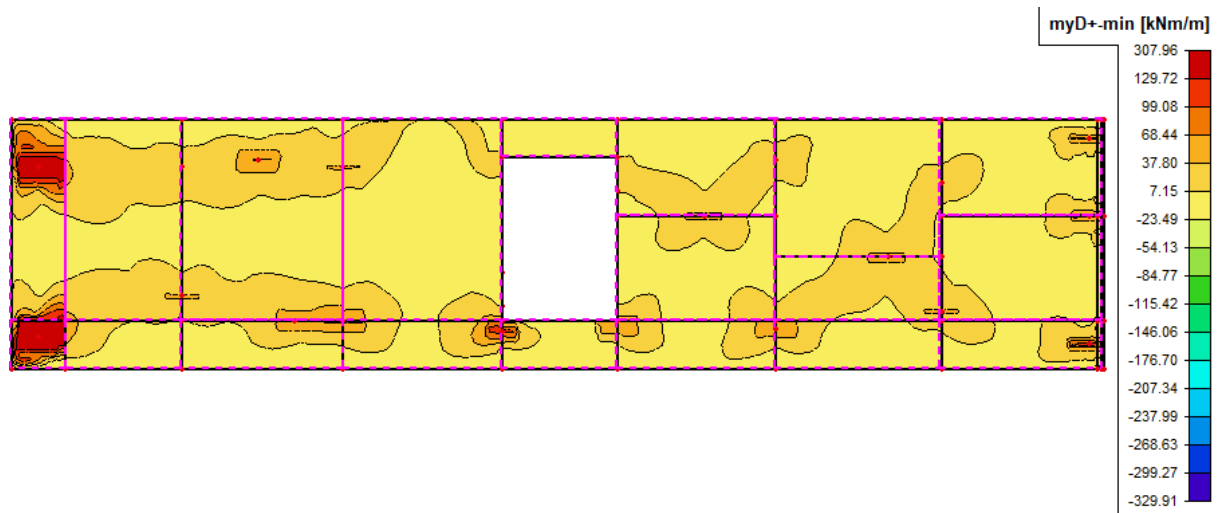
Obrázek 138 – MxD- dolní povrch



Obrázek 139 – MxD+ horní povrch

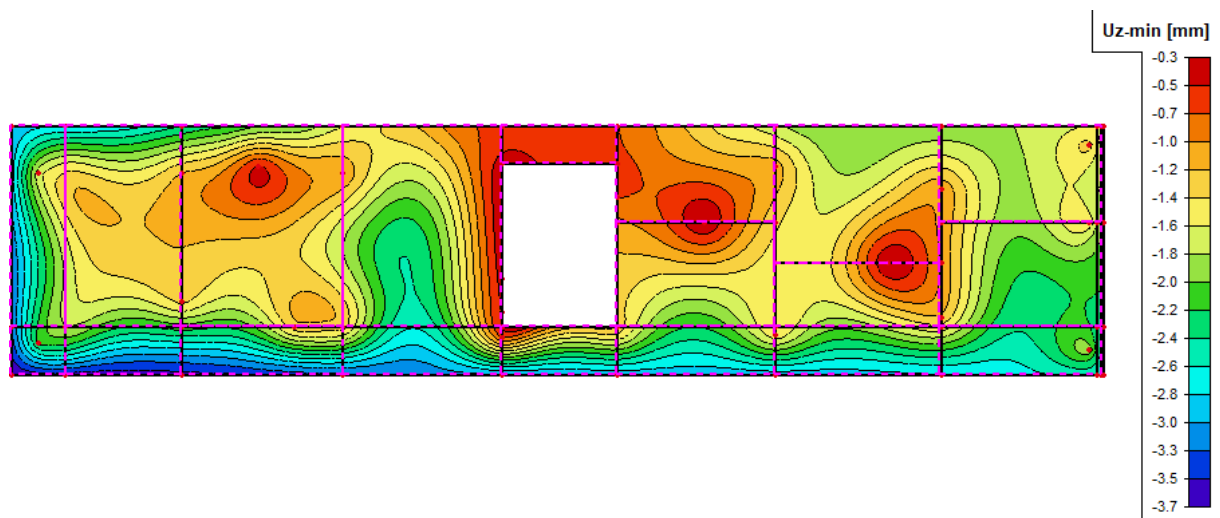


Obrázek 140 – MxD- dolní povrch



Obrázek 141 – MxD+ horní povrch

4. Průhyb desky – kvazistálá kombinace zatížení



Obrázek 142 – Průhyb desky

Posouzení momentů ve vybraných řezech – MSU

	Směr x			Návrh												Posouzení				Kontrola			
	Řez	Povrch	$m_{dim,x}$	ϕ	d_x	$a_{s,min,1,2}$	$a_{s,min3}$	$a_{s,max}$	s_{max}	s_{min}	s	$A_{s,rqd}$	počet	$A_{s,prov}$	kontrola	kontrola s	x	m_{rd}	$m_{rd}>m_{ed}$	využití	$\xi = x/d$	ξ_{bal}	kontrola
	-	-	[kNm/m]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	A_s	kontrola s	[mm]	[kNm/m]	[kNm/m]	[%]	-	-	$\xi_{bal} > \xi$
výztuž desky - řezy	2	horní	395,63	20	365	550,42	904	16000	300	50	100	2770,0122	10	3141,593	OK	OK	85,3694	451,914	VYHOVUJE	87,5453	0,2339	0,45	VYHOVUJE
		dolní	25,61	12	369	556,452	904	16000	300	50	125	177,36525	8	904,7787	OK	OK	24,5864	141,289	VYHOVUJE	18,1259	0,0666	0,45	VYHOVUJE
	5	horní	48,05	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	560,70523	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	58,3968	0,1123	0,45	VYHOVUJE
		dolní	6,91	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	80,634196	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	8,39796	0,1123	0,45	VYHOVUJE
	8	horní	76,31	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	890,47692	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	92,7421	0,1123	0,45	VYHOVUJE
		dolní	12,61	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	147,14866	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	15,3254	0,1123	0,45	VYHOVUJE
	14	horní	75,79	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	884,40893	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	92,1101	0,1123	0,45	VYHOVUJE
		dolní	6,74	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	78,650431	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	8,19135	0,1123	0,45	VYHOVUJE
	17	horní	78,32	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	913,93201	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	95,1849	0,1123	0,45	VYHOVUJE
		dolní	12,86	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	150,06596	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	15,6292	0,1123	0,45	VYHOVUJE
	20	horní	58,91	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	687,43278	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	71,5953	0,1123	0,45	VYHOVUJE
		dolní	4,96	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	57,879249	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	6,02805	0,1123	0,45	VYHOVUJE
23	horní	144,86	16	217	327,236	904	10000	300	50	100	1705,9805	10	2010,619	OK	OK	54,6364	170,593	VYHOVUJE	84,9157	0,2518	0,45	VYHOVUJE	
	dolní	14,31	12	219	330,252	904	10000	300	50	125	166,9863	8	904,7787	OK	OK	24,5864	82,2819	VYHOVUJE	17,3914	0,1123	0,45	VYHOVUJE	

	Směr y			Návrh												Posouzení				Kontrola			
	Řez	Povrch	$m_{dim,y}$	ϕ	d_y	$A_{s,min}$	$a_{s,min3}$	$a_{s,max}$	s_{max}	s_{min}	s	$A_{s,rqd}$	počet	$A_{s,prov}$	kontrola	kontrola s	x	m_{rd}	$m_{rd}>m_{ed}$	využití	$\xi = x/d$	ξ_{bal}	kontrola
	-	-	[kNm/m]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	A_s	kontrola s	[mm]	[kNm/m]	[kNm/m]	[%]	-	-	kontrola ξ
výztuž desky - řezy	2	horní	415,743	22	342	515,736	904	16000	300	50	83,333333	3106,5916	12	4561,593	OK	OK	123,956	579,952	VYHOVUJE	71,6858	0,3624	0,45	VYHOVUJE
		dolní	122,62	12	357	538,356	904	16000	300	50	125	877,76533	8	904,7787	OK	OK	24,5864	136,569	VYHOVUJE	89,7863	0,0689	0,45	VYHOVUJE
	5	horní	61,243	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	756,08642	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	78,9607	0,1188	0,45	VYHOVUJE
		dolní	26,41	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	326,04938	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	34,0505	0,1188	0,45	VYHOVUJE
	8	horní	103,31	12	207	312,156	904	10000	300	50	83,333333	1275,4321	12	1357,168	OK	OK	36,8796	113,44	VYHOVUJE	91,0698	0,1782	0,45	VYHOVUJE
		dolní	62,98	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	777,53086	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	81,2002	0,1188	0,45	VYHOVUJE
	14	horní	103,37	12	207	312,156	904	10000	300	50	83,333333	1276,1728	12	1357,168	OK	OK	36,8796	113,44	VYHOVUJE	91,1227	0,1782	0,45	VYHOVUJE
		dolní	53,9	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	665,4321	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	69,4934	0,1188	0,45	VYHOVUJE
	17	horní	87,03	12	207	312,156	904	10000	300	50	100	1074,4444	10	1130,973	OK	OK	30,733	95,7427	VYHOVUJE	90,8999	0,1485	0,45	VYHOVUJE
		dolní	49,32	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	608,88889	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	63,5884	0,1188	0,45	VYHOVUJE
	20	horní	59,63	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	736,17284	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	76,8811	0,1188	0,45	VYHOVUJE
		dolní	29,02	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	358,2716	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	37,4155	0,1188	0,45	VYHOVUJE
23	horní	154,56	20	199	300,092	904	10000	300	50	100	1984,8576	10	3141,593	OK	OK	85,3694	225,173	VYHOVUJE	68,6405	0,429	0,45	VYHOVUJE	
	dolní	56,57	12	207	312,156	904	10000	300	50	125	698,39506	8	904,7787	OK	OK	24,5864	77,5613	VYHOVUJE	72,9358	0,1188	0,45	VYHOVUJE	

Posouzení momentů ve vybraných řezech – MSP – charakteristická kombinace zatížení

směr x MSP - krátkodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

řez	$m_{Ek,st}$	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dy [mm]	$\alpha_{e,st}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr}	POSOUZENÍ
	[kNm/m]	[mm]									[kNm/m]	$m_{Ek,st} < m_{cr}$
2	292,86	20	10	3140	365	6,0606	419030,303	207,493	7,493	0,005828	87,79402	VZNIK TRHLIN
	19,26	12	8	904,32	369	6,0606	405480,727	202,284	2,284	0,005488	80,49175	BEZ TRHLIN
5	35,21	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	VZNIK TRHLIN
	5,16	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN
8	56,04	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	VZNIK TRHLIN
	9,3	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN
14	67,75	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	VZNIK TRHLIN
	4,99	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN
17	57,57	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	VZNIK TRHLIN
	9,42	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN
20	43,25	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	VZNIK TRHLIN
	3,69	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN
23	107,12	16	10	2009,6	217	6,0606	262179,394	129,274	4,274	0,0014	33,63897	VZNIK TRHLIN
	10,64	12	8	904,32	219	6,0606	255480,727	127,017	2,017	0,001349	31,82110	BEZ TRHLIN

MSP - krátkodobé - ideální průřez s trhlínami

x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,6 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,6 f_{ck}$
100,36096	0,0016697	281,3106	400	VYHOVUJE	17,60277	18	VYHOVUJE
58,353551	0,0005951	60,92932	400	VYHOVUJE	1,888475	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	190,4923	400	VYHOVUJE	7,862373	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	27,91651	400	VYHOVUJE	1,152225	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	303,1863	400	VYHOVUJE	12,5137	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	50,31464	400	VYHOVUJE	2,076685	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	366,5394	400	VYHOVUJE	15,12854	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	26,99678	400	VYHOVUJE	1,114264	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	311,4638	400	VYHOVUJE	12,85535	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	50,96386	400	VYHOVUJE	2,103481	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	233,9901	400	VYHOVUJE	9,6577	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	19,96355	400	VYHOVUJE	0,823975	18	VYHOVUJE
61,537596	0,000372	271,2852	400	VYHOVUJE	17,71843	18	VYHOVUJE
43,820357	0,0001962	57,56427	400	VYHOVUJE	2,375906	18	VYHOVUJE

směr y MSP - krátkodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

řez	$m_{Ek,st}$	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dx [mm]	$\alpha_{e,st}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr}	POSOUZENÍ
	[kNm/m]	[mm]									[kNm/m]	$m_{Ek,st} < m_{cr}$
2	307,74	22	12	4559,28	342	6,0606	427632	209,1755	9,17552	0,005855	88,972113	VZNIK TRHLIN
	87,47	12	8	904,32	357	6,0606	405480,7273	202,1221	2,12211	0,005467	80,115798	VZNIK TRHLIN
5	45,08	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN
	19,6	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	BEZ TRHLIN
8	75,97	12	12	1356,48	207	6,0606	258221,0909	127,6107	2,61067	0,001356	32,120821	VZNIK TRHLIN
	46,56	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN
14	77,74	12	12	1356,48	207	6,0606	258221,0909	127,6107	2,61067	0,001356	32,120821	VZNIK TRHLIN
	39,89	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN
17	64,05	12	10	1130,4	207	6,0606	256850,9091	127,1872	2,18716	0,001347	31,80505	VZNIK TRHLIN
	36,49	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN
20	43,89	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN
	21,54	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	BEZ TRHLIN
23	108,22	20	10	3140	199	6,0606	269030,303	130,2345	5,23451	0,001399	33,873475	VZNIK TRHLIN
	41,9	12	8	904,32	207	6,0606	255480,7273	126,7591	1,75911	0,001338	31,488097	VZNIK TRHLIN

MSP - krátkodobé - ideální průřez s trhlínami

x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,6 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,6 f_{ck}$
112,59573	0,00193	221,6899	400	VYHOVUJE	17,95355	18	VYHOVUJE
57,314795	0,000555	286,2564	400	VYHOVUJE	9,033177	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	258,497	400	VYHOVUJE	11,009	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	112,39	400	VYHOVUJE	4,786524	18	VYHOVUJE
50,695104	0,0002443	294,6069	400	VYHOVUJE	15,76595	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	266,9836	400	VYHOVUJE	11,37044	18	VYHOVUJE
50,695104	0,0002443	301,4708	400	VYHOVUJE	16,13328	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	228,7366	400	VYHOVUJE	9,741552	18	VYHOVUJE
46,844634	0,00021	296,0594	400	VYHOVUJE	14,28832	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	209,2403	400	VYHOVUJE	8,911237	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	251,6733	400	VYHOVUJE	10,71839	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	123,5143	400	VYHOVUJE	5,260292	18	VYHOVUJE
70,055122	0,000431	196,2158	400	VYHOVUJE	17,58951	18	VYHOVUJE
42,467781	0,0001739	240,2623	400	VYHOVUJE	10,23242	18	VYHOVUJE

Posouzení momentů ve vybraných řezech – MSP – kvazistálá kombinace zatížení

směr x MSP - dlouhodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

řez	$m_{E,qp}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dx [mm]	$\alpha_{e,lt}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	m_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{E,qp} < m_{cr}$	
výztuž desky - řezy	2	292,99	20	10	3140	365	19,394	460897,0	221,801	21,801	0,005914	96,239	VZNIK TRHLIN
		21,05	12	8	904,32	369	19,394	417538,3	207,099	7,099	0,005497	82,642	BEZ TRHLIN
	5	34,46	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	VZNIK TRHLIN
		5,36	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN
	8	55,09	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	VZNIK TRHLIN
		9,28	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN
	14	55,81	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	VZNIK TRHLIN
		4,99	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN
	17	56,62	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	VZNIK TRHLIN
		9,42	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN
	20	42,74	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	VZNIK TRHLIN
		3,81	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN
23	107,1	16	10	2009,6	217	19,394	288974,1	137,408	12,408	0,001418	36,516	VZNIK TRHLIN	
	10,82	12	8	904,32	219	19,394	267538,3	131,162	6,162	0,001354	33,038	BEZ TRHLIN	

MSP - dlouhodobé - ideální průřez s trhlinami

x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,45 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,45 f_{ck}$
158,56425	0,0039241	298,9279	400	VYHOVUJE	11,83916	13,5	VYHOVUJE
97,574133	0,0016017	69,1794	400	VYHOVUJE	1,282314	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	195,3635	400	VYHOVUJE	4,918119	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	30,38736	400	VYHOVUJE	0,764977	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	312,3208	400	VYHOVUJE	7,862425	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	52,61095	400	VYHOVUJE	1,324438	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	316,4027	400	VYHOVUJE	7,965183	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	28,28973	400	VYHOVUJE	0,712171	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	320,9949	400	VYHOVUJE	8,080786	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	53,40465	400	VYHOVUJE	1,344419	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	242,3052	400	VYHOVUJE	6,099838	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	21,59997	400	VYHOVUJE	0,543762	13,5	VYHOVUJE
96,796775	0,0008654	288,4909	400	VYHOVUJE	11,97873	13,5	VYHOVUJE
71,845006	0,0005034	61,34165	400	VYHOVUJE	1,544227	13,5	VYHOVUJE

směr y MSP - dlouhodobé - průřez bez trhlin - ideální průřez

řez	$m_{E,qp}$ [kNm/m]	ϕ [mm]	n [počet profilů]	A_s [mm ²]	dy [mm]	$\alpha_{e,lt}$	A_i [mm ²]	x_i [mm]	a_i [mm]	I_i [m ⁴]	n_{cr} [kNm/m]	POSOUZENÍ $m_{E,qp} < m_{cr}$	
výztuž desky - řezy	2	307,96	22	12	4559,28	342	19,394	488422,4	225,7072	25,7072	0,006794	113,03486	VZNIK TRHLIN
		89,6	12	8	904,32	357	19,394	417538,3	206,5946	6,59465	0,005747	86,180052	VZNIK TRHLIN
	5	44,2	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN
		19,72	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	BEZ TRHLIN
	8	74,97	12	12	1356,48	207	19,394	276307,5	132,8073	7,8073	0,001462	36,181308	VZNIK TRHLIN
		46,44	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN
	14	76,45	12	12	1356,48	207	19,394	276307,5	132,8073	7,8073	0,001462	36,181308	VZNIK TRHLIN
		39,88	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN
	17	63,1	12	10	1130,4	207	19,394	271922,9	131,611	6,61099	0,001438	35,214963	VZNIK TRHLIN
		36,51	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN
	20	43,75	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN
		21,58	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	BEZ TRHLIN
23	108,52	20	10	3140	199	19,394	310897,0	139,4948	14,4948	0,00157	41,207866	VZNIK TRHLIN	
	42,02	12	8	904,32	207	19,394	267538,3	130,3755	5,37546	0,001412	34,237233	VZNIK TRHLIN	

MSP - dlouhodobé - ideální průřez s trhlinami

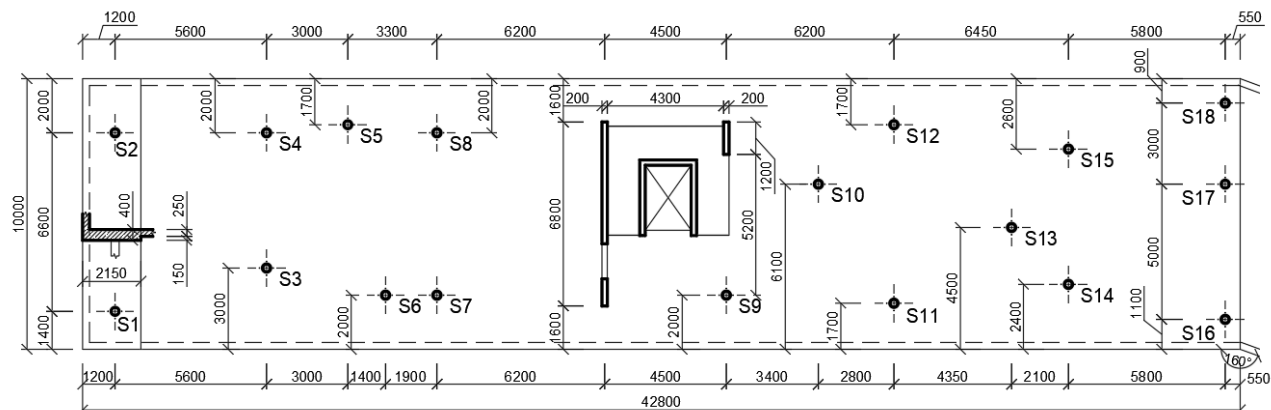
x_{ir} [mm]	I_{ir} [m ⁴]	σ_s [MPa]	omezení napětí ve výztuži 0,8 f_{yk} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_s < 0,8 f_{yk}$	σ_c [MPa]	0,45 f_{ck} [MPa]	POSOUZENÍ $\sigma_c < 0,45 f_{ck}$
172,919	0,0042513	237,5358	400	VYHOVUJE	12,52599	13,5	VYHOVUJE
95,731	0,0014896	304,7774	400	VYHOVUJE	5,758136	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	265,854	400	VYHOVUJE	6,922605	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	118,6118	400	VYHOVUJE	3,088547	13,5	VYHOVUJE
81,319	0,0005948	307,226	400	VYHOVUJE	10,2497	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	279,3272	400	VYHOVUJE	7,273434	13,5	VYHOVUJE
81,319	0,0005948	313,291	400	VYHOVUJE	10,45204	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	239,8701	400	VYHOVUJE	6,246006	13,5	VYHOVUJE
75,835	0,0005225	307,1785	400	VYHOVUJE	9,157579	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	219,6002	400	VYHOVUJE	5,718197	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	263,1474	400	VYHOVUJE	6,852126	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	129,7993	400	VYHOVUJE	3,37986	13,5	VYHOVUJE
106,272	0,0009237	211,281	400	VYHOVUJE	12,48538	13,5	VYHOVUJE
69,459	0,0004435	252,7418	400	VYHOVUJE	6,581173	13,5	VYHOVUJE

5.6. Návrh výztuže na protlačení

V prvním kroku bude posouzeno, zda je výztuž na protlačení nutná, v dalším pak bude proveden návrh výztuže.

Pro všechny sloupy bude zkontrolováno zda je nutná výztuž na protlačení. V případě, že ano, bude navržena.

Jako výztuž na protlačení budou použity smykové lišty Halfen HDB. Vzhledem k tomu, že se jedná o certifikovaný výrobek, bude při návrhu použita certifikovaná metodika výrobce. (Technický předpis ETA-12/0454).



Obrázek 143 – Schéma sloupů v 1.NP

Vzorce použité v excelu

Účinná výška

$$d = (d_x + d_y) / 2$$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}}$$

$$\text{kde: } \begin{array}{ll} \text{pro } u_0/d < 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c \\ \text{pro } u_0/d > 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \end{array}$$

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

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y}$$

$$\rho_x = \frac{a_s x}{b * d_x} \quad \rho_y = \frac{a_s y}{b * d_y}$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \quad (d = \text{průměr sloupu})$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4 * d)$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * V * f_{cd}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 * (1 - 30 / 250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed, \max} = \beta \frac{V_{ed}}{u_0 * d}$$

$$\nu_{Ed, \max} < \nu_{Rd, \max}$$

Pokud $\nu_{Ed, \max} > \nu_{Rd, \max}$ je nutné navrhovat výztuž na protlačení

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{Ed, i} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d}$$

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1}$$

$c_1 = c_2 =$ průměr sloupu

$$W_1 = c_1^2 / 2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1$$

$$\nu_{ED, 1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d}$$

$$\nu_{ED, 1} < \nu_{Rd, c}$$

Pokud vyhovuje, není nutné navrhovat výztuž na protlačení. Pokud nevyhovuje, navrhne se výztuž na protlačení, ale musí být splněna podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} < \nu_{Rd, \max} = 96 * \nu_{Rd, c}$$

Vnitřní síly byly získány z 3D modelu. Pro sloupy, které pokračují ve vyšších podlažích, byly použity rozdíly normálových sil, které způsobují protlačení a nevyrovnané momenty nad sloupy. Pro sloupy, které jsou pouze v 1.NP byly použity celkové normálové síly působící v hlavách sloupů.

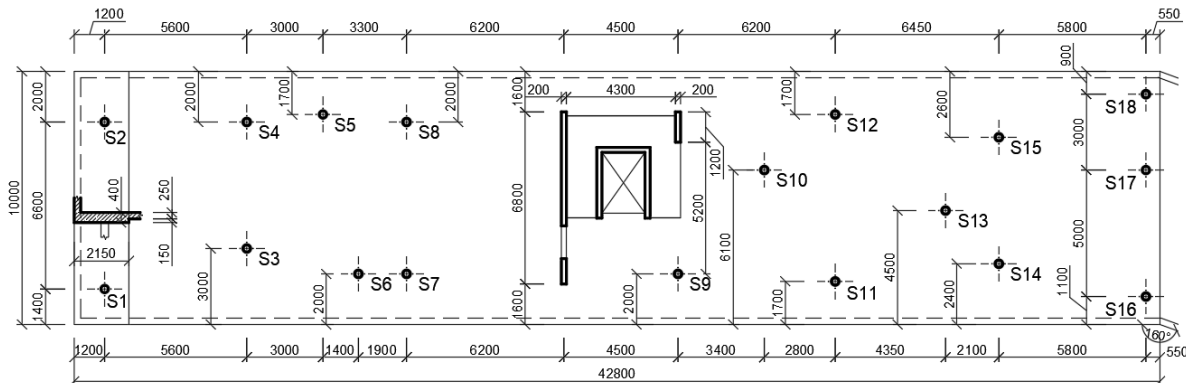
Sloup	N_{ed}	$M_{Ed, z}$	$M_{Ed, y}$
S1	1874,05	16,03	7,99
S2	1443,57	2,11	13,74
S3	279,69	13,93	2,9
S4	202,45	7,87	4,34
S5	448,28	5,51	0,28
S6	342,89	19,24	5,5
S7	401,85	15,81	13,51
S8	286,10	3,95	6,74
S10	326,01	2,81	3,03
S11	421,00	11,45	2,63
S12	276,65	5,28	7,86
S13	327,81	0,64	1,47
S14	277,36	9,65	8,67
S15	269,89	7,44	5,61
S16	1582,53	1,27	11,91
S17	1210,59	0,62	11,77
S18	1092,05	2,51	6,63

Posouzení všech sloupů v 1.NP, zda je nutné navrhovat výztuž na protlačení

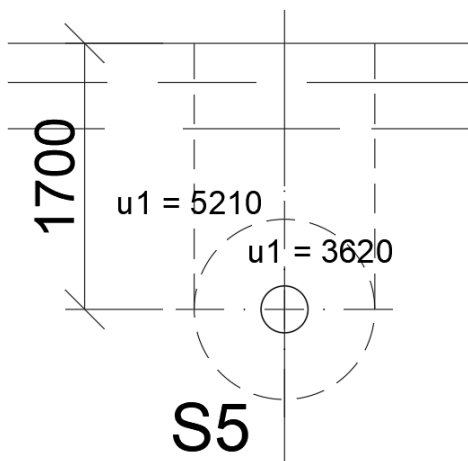
	označení sloupu	V_{Ed}	nevyrov. M_{Ed}	d_x	d_y	d	$a_{s,x}$	$a_{s,y}$	ρ_x	ρ_y	ρ_k	u_0	u_1	$C_1 = C_2$	W_1	β_{vyp}	β_{tab}	$V'_{Ed,0,\beta'vyp}$	$V'_{Ed,0,\beta'tab}$	$V'_{Ed,1,\beta'vyp}$	$V'_{Ed,1,\beta'tab}$	$V'_{Rd,c}$	kontrola $V'_{Ed,0,\beta'vyp} < V'_{Rd,max}$	kontrola $V'_{Ed,0,\beta'tab} < V'_{Rd,max}$	kontrola $V'_{Ed,1,\beta'vyp} < V'_{Rd,c}$	kontrola $V'_{Ed,1,\beta'tab} < V'_{Rd,c}$	$V'_{Ed,1,\beta'vyp} < 1,96 * V_{Rd,c}$	$V'_{Ed,1,\beta'tab} < 1,96 * V_{Rd,c}$
	-	[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[m]	[mm]	[mm]	-	-	-	[m]	[m]						[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]						
průběžné sloupy	S3	279,695	13,93	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,56	1,07	1,15	1,602	1,602	0,388	0,417	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S4	208,64	7,87	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,56	1,05	1,4	1,455	1,455	0,285	0,379	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S7	401,855	15,81	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,56	1,05	1,4	2,803	2,803	0,550	0,730	0,552	OK	OK	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	OK
	S8	286,105	6,74	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,56	1,03	1,4	1,995	1,995	0,383	0,519	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S11	421,005	11,45	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,04	1,4	2,179	2,936	0,567	0,764	0,552	OK	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	OK
	S12	282,84	7,86	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,04	1,4	1,973	1,973	0,381	0,514	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S14	277,365	9,65	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,05	1,15	1,589	1,589	0,378	0,414	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
S15	269,895	7,44	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,04	1,15	1,546	1,546	0,364	0,403	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
sloupy pouze v 1NP	S1	1874,05	16,03	364	342	0,353	4559	4559	0,0125	0,0133	0,013	0,942	3,945	0,3	3,22	1,01	1,5	8,449	8,449	1,354	2,019	0,712	NE	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	NE
	S2	1443,57	13,74	364	342	0,353	4559	4559	0,0125	0,0133	0,013	0,942	4,545	0,3	3,22	1,01	1,5	6,509	6,509	0,907	1,350	0,712	NE	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	OK
	S5	448,28	5,51	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,02	1,4	3,126	3,126	0,592	0,814	0,552	OK	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	OK
	S6	342,89	19,24	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,08	1,4	2,391	2,391	0,480	0,623	0,552	OK	OK	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	OK	OK
	S10	326,01	3,03	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,01	1,15	1,868	1,868	0,428	0,486	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S13	327,81	1,47	219	207	0,213	905	905	0,0041	0,0044	0,004	0,942	3,62	0,3	1,52	1,01	1,15	1,878	1,878	0,428	0,489	0,552	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	S16	1582,53	11,91	216	200	0,208	2011	3054	0,0093	0,0153	0,012	0,942	2,538	0,3	1,47	1,01	1,5	12,109	12,109	3,021	4,497	0,783	NE	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	NE	NE
	S17	1210,59	11,77	216	200	0,208	2011	3054	0,0093	0,0153	0,012	0,942	2,875	0,3	1,47	1,01	1,4	8,646	8,646	2,048	2,834	0,783	NE	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	NE	NE
	S18	1092,05	6,63	216	200	0,208	2011	3054	0,0093	0,0153	0,012	0,942	2,338	0,3	1,47	1,01	1,5	8,356	8,356	2,259	3,368	0,783	NE	OK	NUTNÁ VÝZTUŽ	NUTNÁ VÝZTUŽ	NE	NE

Z výpočtu bylo zjištěno, nad kterými sloupy, je nutné navrhovat výztuž na protlačení. V místech, kde není třeba navrhovat výztuž na protlačení budou navrženy alespoň smykové kozlíky.

5.6.1. Sloup S5



Obrázek 144 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 145 – Kontrolované obvody sloupu S5

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 448,28 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 5,51 \text{ kNm}$$

$$\text{tl. desky} = 250 \text{ mm}$$

$$d_x = 219 \text{ mm}$$

$$d_y = 207 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (219 + 207) / 2 = 213 \text{ mm}$$

$$\text{krytí } c = 25 \text{ mm}$$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,12 * 1,97 * \sqrt[3]{100 * 0,0051 * 30} = 0,586 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,213 = 4,42 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{213}} = 1,97$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0052 * 0,0055} = 0,0051 = 0,51 \%$$

Ø 12 mm

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{905}{1000 * 219} = 0,0041$$

Ø 12 + 8 mm

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{1307}{1000 * 207} = 0,0063$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = \pi * (300 + 4 * d) = \pi * (0,3 + 4 * 0,213) = 3,62 \text{ m}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{\pi} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,213 + 16 * 0,213^2 + 2 * \pi * 0,213 * 0,3}{\pi} = 1,52 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{5,51}{448,28} * \frac{3,62}{1,52} = 1,02 \text{ (tabulkově pro okrajový sloup } \beta = 1,4)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$\nu_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} = 1,15 * \frac{448,28}{0,942 * 0,213} = 2569,3 \text{ kPa} = 2,57 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} < \nu_{Rd,max}$$

$$2,57 \text{ MPa} < 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{ED,1} = \beta * \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{448,28}{3,62 * 0,213} = 668,6 \text{ kPa} = 0,67 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ED,1} > \nu_{Rd,c}$$

$$0,67 > 0,586 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} = 0,67 \leq 1,96 * \nu_{Rd,c} = 1,96 * 0,586 = 1,15 \text{ MPa}$$

SPLNĚNO

Návrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{V_{ed}}{v_{Rd,c}} * d = 1,15 * \frac{448,28 * 10^{-3}}{0,586 * 0,213} = 4,1 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{4,1 - 0,942}{2\pi} = 0,5 \text{ m}$$

$$u_{out} = 2 * (c_1 + c_2) + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{4,1 - 0,942}{2\pi} - 1,5 * 0,213 = 0,183 \text{ m}$$

$l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} < 1,125 d = 1,125 * 0,213 = 0,24 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ V OBLASTI C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

$$\beta * v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 448,28 * 10^3 * 1,0195}{435} = 1208,2 \text{ mm}^2$$

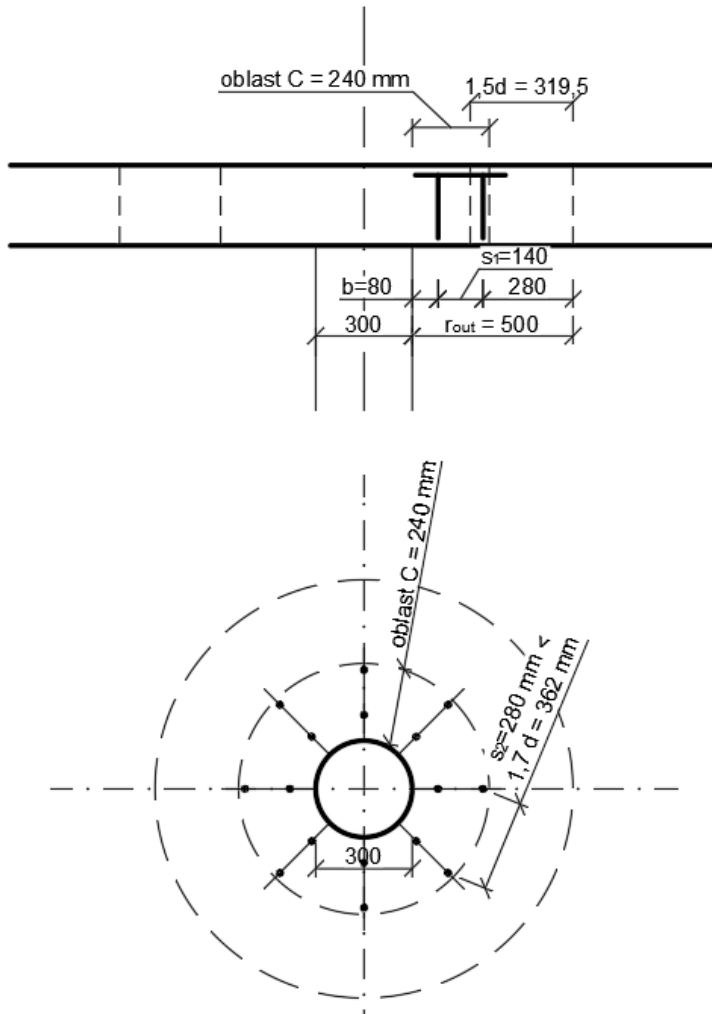
$$\eta = 1,0 \text{ pro } d < 200 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,6 \text{ pro } d > 600 \text{ mm}$$

$$\text{interpolací pro } d = 213 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,0195$$

$$\text{profil lišt zvolen 10 mm} \Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{1208,2}{\frac{10^2 * \pi}{4}} = 16 \text{ trnů}$$

Smykové lišty HDB - 10/195 - 2/420



Obrázek 146 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 \cdot 213 = 106,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 \cdot 213 = 74,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 80 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{S_1 = 140 \text{ mm}}$$

$$s_1 < 0,75d = 0,75 \cdot 213 = 159,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{S_2 = 280 \text{ mm}}$$

$$s_2 < 1,7d = 1,7 \cdot 213 = 362,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c \cdot n_c \cdot A_{sw,1} \cdot f_{yd} / \eta = (8 \cdot 2 \cdot 78,54 \cdot 10^{-6} \cdot 435) / 1,0195 = 0,54 \text{ MN}$$

m_c je počet smykových lišt v oblasti C

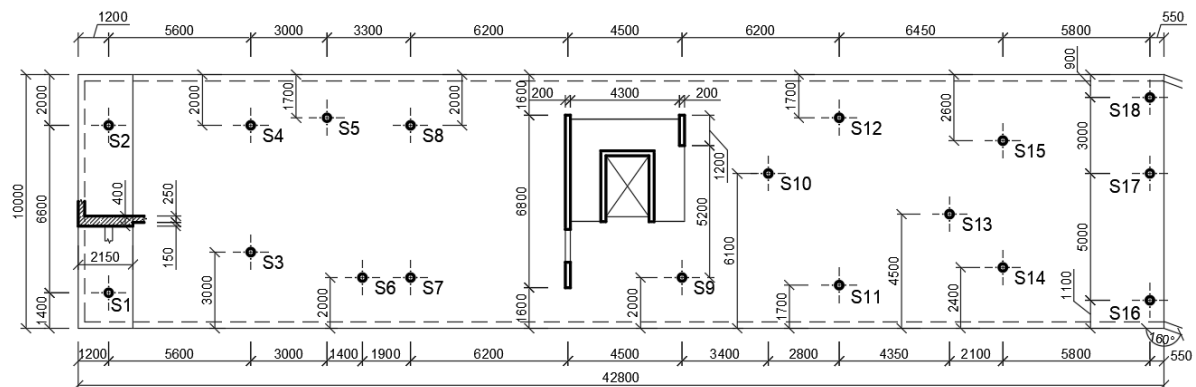
n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

$$V_{Rd;sy} = 0,54 \text{ MN} > V_{Ed} \cdot \beta = 0,44828 \cdot 1,15 = 0,516 \text{ MN}$$

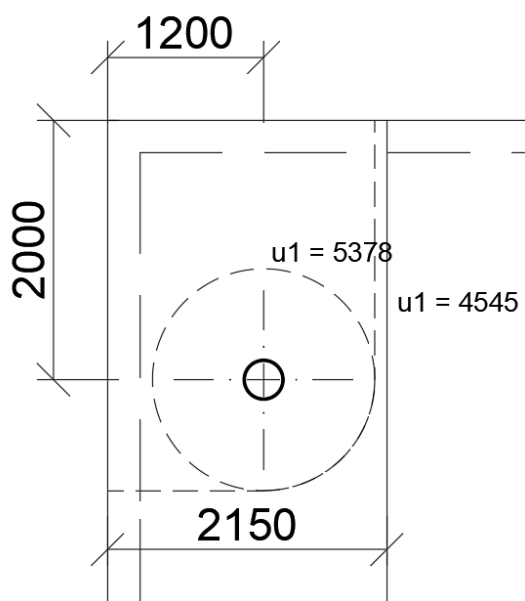
VYHOVUJE

Vzhledem k podobnému namáhání a stejným kontrolovaným obvodům u1 budou takto vyztuženy desky na protlačení i nad sloupy S6,S7 a S11.

5.6.2. Sloup S2



Obrázek 147 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 148 – Kontrolované obvody sloupu S2

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1443,57 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 13,74 \text{ kNm}$$

tl. desky = 400 mm

$$d_x = 364 \text{ mm}$$

$$d_y = 342 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (364 + 342) / 2 = 353 \text{ mm}$$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,104 * 1,78 * \sqrt[3]{100 * 0,0127 * 30} = 0,623 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) * (0,1 * (u_0/d) + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,353 = 2,66 \Rightarrow C_{Rd,c} = (0,18/1,5) * (0,1 * 2,66 + 0,6) = \mathbf{0,104} \geq 0,15/1,5 = 0,1$$

SPLNĚNO

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{353}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0125 * 0,013} = 0,0127 = 1,27 \%$$

vyztužení 12 Ø 22 mm směr x

vyztužení 12 Ø 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 364} = 0,0125$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 342} = 0,013$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 4,545 \text{ m} - \text{viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1}$$

$$c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{2} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,353 + 16 * 0,353^2 + 2 * \pi * 0,353 * 0,3}{2} = 3,218 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{13,74}{1443,57} * \frac{4,545}{3,218} = 1,01 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$ Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1443,57}{0,942 * 0,353} = 4992,4 \text{ kPa} = 4,99 \text{ MPa}$$

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

$$4,99 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍOvěření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta * \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1443,57}{4,545 * 0,353} = 1035 \text{ kPa} = 1,04 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$1,04 > 0,623 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$v_{ED} = 1,04 > 1,96 * v_{Rd,c} = 1,96 * 0,623 = 1,22 \text{ MPa}$$

SPLNĚNO

Návrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{V_{ed}}{v_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1443,57 * 10^{-3}}{0,623 * 0,353} = 7,55 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{7,55 - 0,942}{2\pi} = 1,05 \text{ m}$$

$$u_{out} = u_0 + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{7,55 - 0,942}{2\pi} - 1,5 * 0,353 = 0,522 \text{ m}$$

 $l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} > 1,125 d = 1,125 * 0,353 = 0,397 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ ZA OBLASTÍ C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

$$\beta * v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 1443,57 * 10^3 * 1,19}{435} = 4541,44 \text{ mm}^2$$

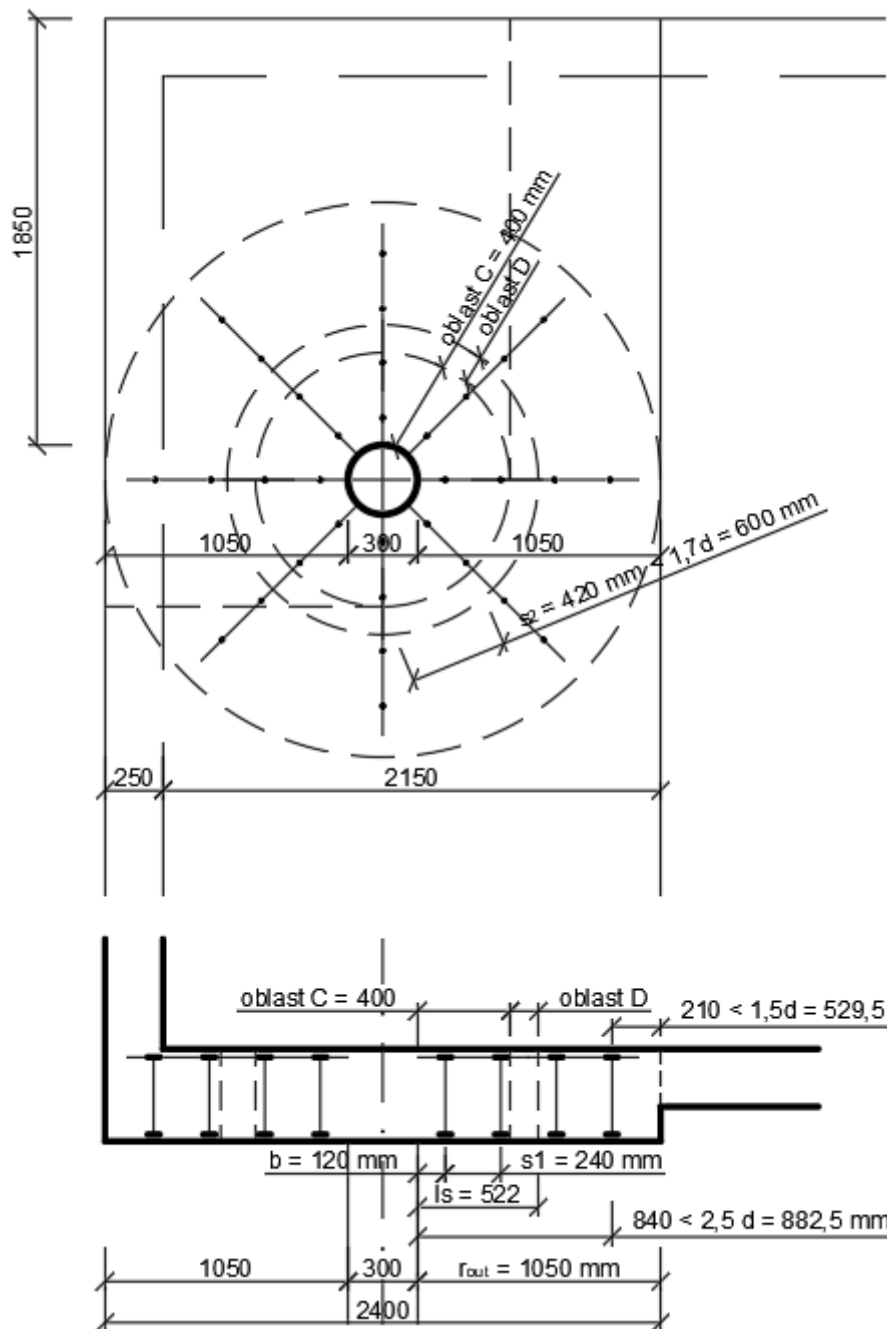
$$\eta = 1,0 \text{ pro } d < 200 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,6 \text{ pro } d > 600 \text{ mm}$$

$$\text{interpolací pro } d = 353 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,19$$

$$\text{profil lišt zvolen } 10 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{4541,44}{\frac{20^2 * \pi}{4}} = 16 \text{ trnů}$$

Smykové lišty 2x HDB - 20/335 - 2/480



Obrázek 149 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 \cdot 353 = 176,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 \cdot 353 = 123,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 120 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{S_1 = 240 \text{ mm}}$$

$$s_1 < 0,75 d = 0,75 \cdot 353 = 264,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{S_2 = 420 \text{ mm}}$$

$$s_2 < 1,7 d = 1,7 \cdot 353 = 600,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c \cdot n_c \cdot A_{sw,1} \cdot f_{yd} / \eta = (8 \cdot 2 \cdot 314,16 \cdot 10^{-6} \cdot 435) / 1,19 = 1,837 \text{ MN}$$

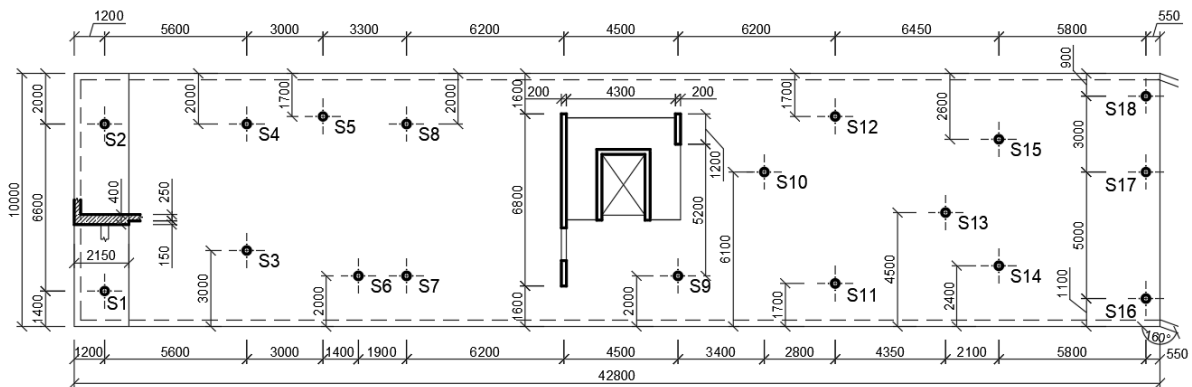
m_c je počet smykových lišt v oblasti C

n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

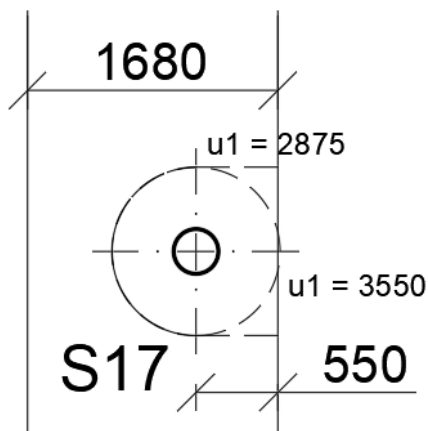
$$V_{Rd;sy} = 1,837 \text{ MN} > V_{Ed} \cdot \beta = 1,444 \cdot 1,15 = 1,66 \text{ MN}$$

VYHOVUJE

5.6.3. Sloup S17



Obrázek 150 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 151 – Kontrolované obvody sloupu S17

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1210,59 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnáný návrhový moment } M = 11,77 \text{ kNm}$$

$$\text{tl. desky} = 250 \text{ mm}$$

$$d_x = 216 \text{ mm}$$

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

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (200 + 216) / 2 = 208 \text{ mm}$$

$$\text{krytí } c = 25 \text{ mm}$$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,12 * 1,98 * \sqrt[3]{100 * 0,0118 * 30} = 0,78 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,208 = 4,5 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{208}} = 1,98$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0093 * 0,015} = 0,0118 = 1,18 \%$$

vyztužení 10 ϕ 16 mm směr xvyztužení 12 ϕ 18 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{2011}{1000 * 216} = 0,0093$$

$$\rho_y = \frac{asy}{b * dy} = \frac{3053}{1000 * 200} = 0,015$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,875 \text{ m} - \text{viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{2} =$$

$$0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,213 + 16 * 0,213^2 + 2 * \pi * 0,213 * 0,3 = 1,52 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{11,77}{1210,59} * \frac{3,62}{1,52} = 1,01 \text{ (tabulkově pro okrajový sloup } \beta = 1,4)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$ Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1210,59}{0,942 * 0,208} = 7105 \text{ kPa} = 7,11 \text{ MPa}$$

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

$$7,11 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1210,59}{2,875 * 0,208} = 2328,06 \text{ kPa} = 2,33 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$2,33 > 0,78 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$v_{ED} = 2,33 \leq 1,96 * v_{Rd,c} = 1,96 * 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Bude navržena manžetová hlavice o vyložení $a < d$.

$$\text{Pro } d = 208 \text{ mm} \quad a = 205 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{\text{sloupu}} + 2 * a) * \pi = (0,3 + 2 * 0,205) * \pi = 2,231 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,522 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1210,59}{3,522 * 0,208} = 1900,4 \text{ kPa} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$1,9 > 0,78 \text{ MPa}$$

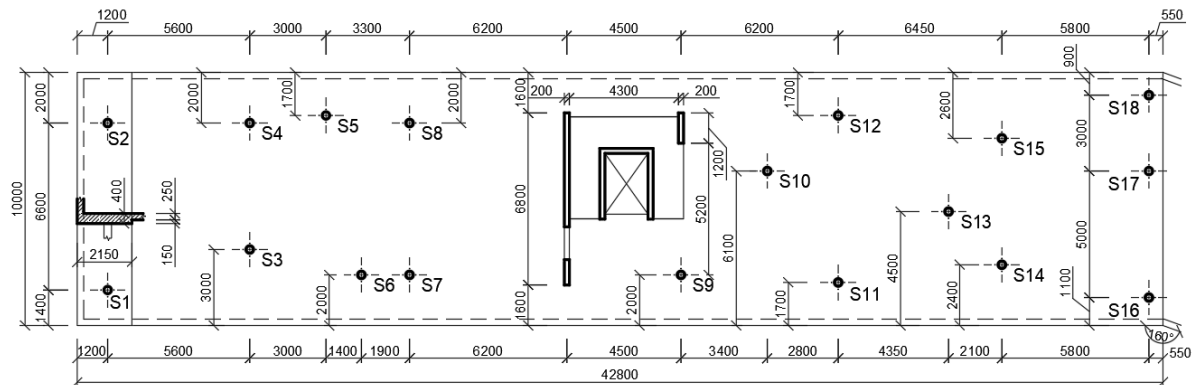
NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

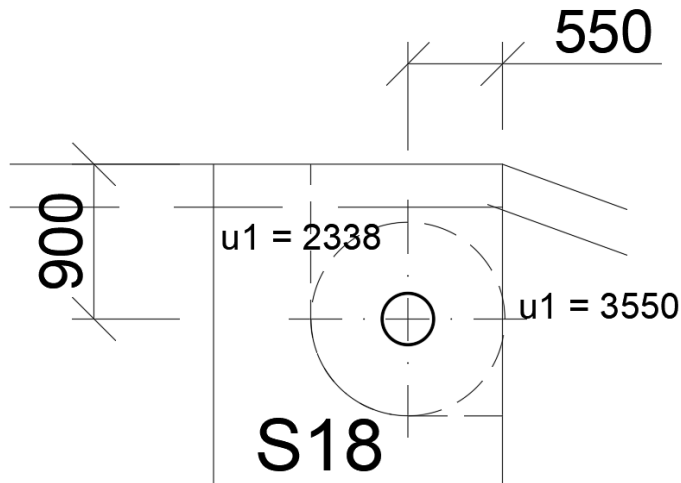
$$v_{ED} = 1,9 \leq 1,96 * v_{Rd,c} = 1,96 * 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

5.6.4. Sloup S18



Obrázek 152 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 153 – Kontrolované obvody sloupu S18

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1092,05 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 6,63 \text{ kNm}$$

tl. desky = 250 mm

$$d_x = 216 \text{ mm}$$

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

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (200 + 216) / 2 = 208 \text{ mm}$$

krytí c = 25 mm

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,12 * 1,98 * \sqrt[3]{100 * 0,0118 * 30} = 0,78 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: } \begin{array}{ll} \text{pro } u_0/d < 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15 / \gamma_c \\ \text{pro } u_0/d > 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c \end{array}$$

$$u_0/d = 0,942 / 0,2075 = 4,5 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{208}} = 1,98$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0093 * 0,015} = 0,0118 = 1,18 \%$$

vyztužení 10 \varnothing 16 mm směr xvyztužení 12 \varnothing 18 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{2011}{1000 * 216} = 0,0093$$

$$\rho_y = \frac{asy}{b * dy} = \frac{3053}{1000 * 200} = 0,015$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,338 \text{ m – viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,208 + 16 * 0,208^2 + 2 * \pi * 0,208 * 0,3} = 1,47 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{6,63}{1092,05} * \frac{2,338}{1,47} = 1,01 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1092,05}{0,942 * 0,208} = 6409,5 \text{ kPa} = 6,41 \text{ MPa}$$

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

$$6,41 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1092,05}{0,942 * 0,208} = 6409,5 \text{ kPa} = 6,41 \text{ MPa}$$

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

$$6,41 \text{ MPa} > 4,22 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta * \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1092,05}{2,338 * 0,208} = 2582,5 \text{ kPa} = 2,58 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$2,58 > 0,78 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 2,58 > 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Jako opatření bude navržena manžetová hlavice o vyložení $a < d$.

Pro $d = 208 \text{ mm}$ $a = 205 \text{ mm}$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{\text{sloupu}} + 2 \cdot a) \cdot \pi = (0,3 + 2 \cdot 0,205) \cdot \pi = 2,231 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,661 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{ED,1} = \beta \frac{Ved}{u_1 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{1092,05}{2,661 \cdot 0,208} = 2269 \text{ kPa} = 2,27 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ED,1} > \nu_{Rd,c}$$

$$2,27 > 0,78 \text{ MPa}$$

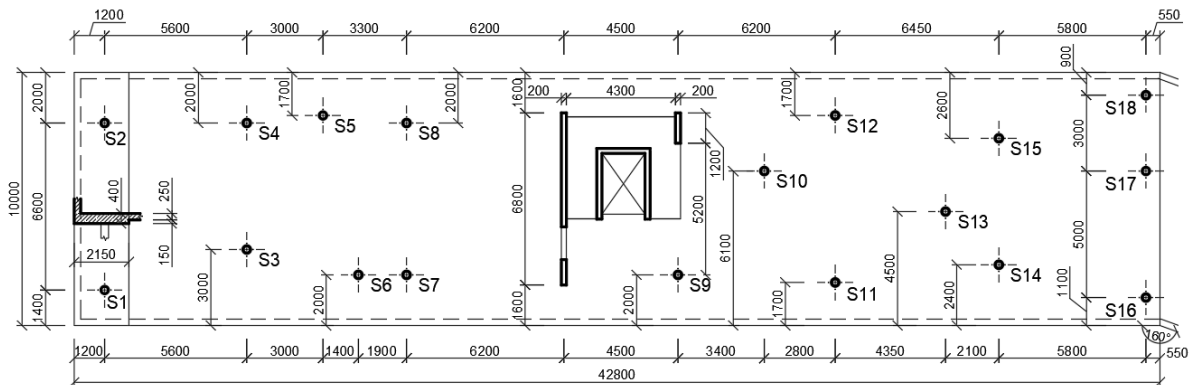
NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

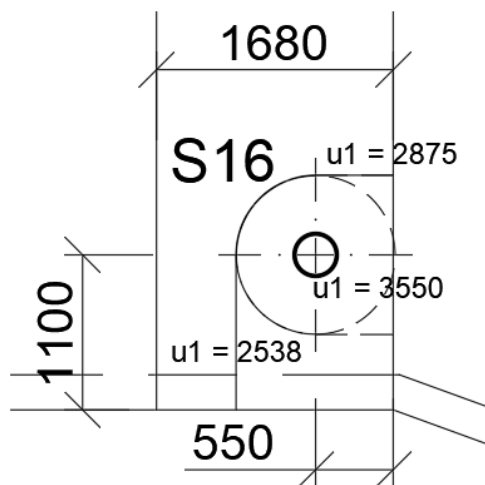
$$\nu_{ED} = 2,27 > 1,96 \cdot \nu_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

5.6.5. Sloup S16



Obrázek 154 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 155 – Kontrolované obvody sloupu S16

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1582,53 \text{ kN}$$

Nevyrovnaný návrhový moment $M = 11,91 \text{ kNm}$

tl. desky = 250 mm

$d_x = 216 \text{ mm}$

$d_y = 200 \text{ mm}$

$d = (d_x + d_y) / 2 = (200 + 216) / 2 = 208 \text{ mm}$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,12 * 1,98 * \sqrt[3]{100 * 0,0118 * 30} = 0,78 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: } \begin{array}{ll} \text{pro } u_0/d < 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c \\ \text{pro } u_0/d > 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \end{array}$$

$$u_0/d = 0,942/0,208 = 4,5 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{208}} = 1,98$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0093 * 0,015} = 0,0118 = 1,18 \%$$

vyztužení 10 \varnothing 16 mm směr x

vyztužení 12 \varnothing 18 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{2011}{1000 * 216} = 0,0093$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{3053}{1000 * 200} = 0,015$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,538 \text{ m} - \text{viz. Autocad OBRÁZEK!}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{\pi} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,208 + 16 * 0,208^2 + 2 * \pi * 0,208 * 0,3}{\pi} = 1,47 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{11,91}{1582,53} * \frac{2,538}{1,47} = 1,01 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 * (1 - 30 / 250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1582,53}{0,942 * 0,208} = 9288,3 \text{ kPa} = 9,29 \text{ MPa}$$

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

$$9,29 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE - NÁVRH VÝZTUŽE NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1582,53}{2,538 * 0,208} = 3447,43 \text{ kPa} = 3,45 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$3,45 > 0,78 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 3,45 > 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Jako opatření bude navržena manžetová hlavice s vyložení $a < d$.

$$\text{Pro } d = 208 \text{ mm} \quad a = 205 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{sloupu} + 2 * a) * \pi = (0,3 + 2 * 0,205) * \pi = 2,231 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,86 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1582,53}{2,86 * 0,208} = 3059,3 \text{ kPa} = 3,06 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$3,06 > 0,78 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

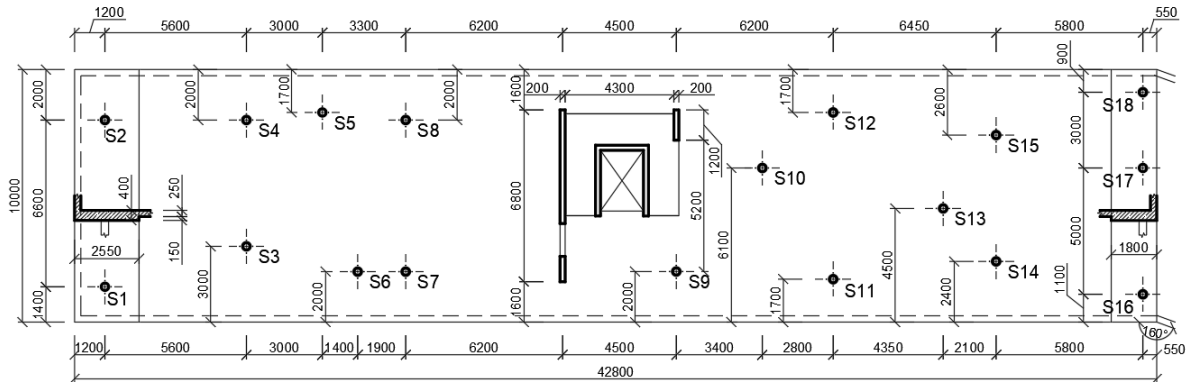
$$V_{ED} = 3,06 > 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,78 = 1,53 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Protože sloupy na pravém kraji sekce objektu – S16, S17 a S18 nesplňují podmínky maximální smykové únosnosti, bude provedena úprava konstrukce desky a to zesílení okraje desky na 400 mm, jako tomu je na protější straně.

Pro sloupce byly získány nové vnitřní síly a bude znovu provedeno posouzení na protlačení.

5.6.6. Sloup S17 – tl. desky 400 mm



Obrázek 156 – Schéma rozmístění sloupů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1259,03 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 1,7 \text{ kNm}$$

tl. desky = 250 mm

$$d_x = 364 \text{ mm}$$

$$d_y = 342 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (364 + 342) / 2 = 353 \text{ mm}$$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,104 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,0107 * 30} = 0,578 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: } \begin{array}{ll} \text{pro } u_0/d < 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c \\ \text{pro } u_0/d > 4,0 & C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \end{array}$$

$$u_0/d = 0,942/0,353 = 2,66 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/1,5 * (0,1 * 2,66 + 0,6) = 0,104$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{353}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0104 * 0,011} = 0,0107 = 1,07 \%$$

vyztužení 10 \varnothing 22 mm směr x

vyztužení 10 \varnothing 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{a_s x}{b * d_x} = \frac{3801}{1000 * 364} = 0,0104$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{3801}{1000 * 342} = 0,011$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,827 \text{ m – viz. Autocad}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$\nu_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1259,03}{0,942 * 0,353} = 4354,2 \text{ kPa} = 4,35 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} < \nu_{Rd,max}$$

$$4,35 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍOvěření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{ED,1} = \beta \frac{Ved}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1259,03}{3,827 * 0,353} = 1071,8 = 1,07 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ED,1} > \nu_{Rd,c}$$

$$1,07 > 0,578 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} = 1,07 \leq 1,96 * \nu_{Rd,c} = 1,96 * 0,578 = 1,14 \text{ MPa}$$

SPLNĚNONávrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{Ved}{\nu_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1259,03 * 10^{-3}}{0,578 * 0,353} = 7,1 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{7,1 - 0,942}{2\pi} = 0,98 \text{ m}$$

$$u_{out} = 2 * (c_1 + c_2) + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{7,1 - 0,942}{2\pi} - 1,5 * 0,353 = 0,45 \text{ m}$$

 $l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} > 1,125 d = 1,125 * 0,353 = 0,397 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ ZA OBLASTÍ C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

$$\beta * \nu_{Ed} \leq \nu_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 1259,03 * 10^3 * 1,23}{435} = 4094,02 \text{ mm}^2$$

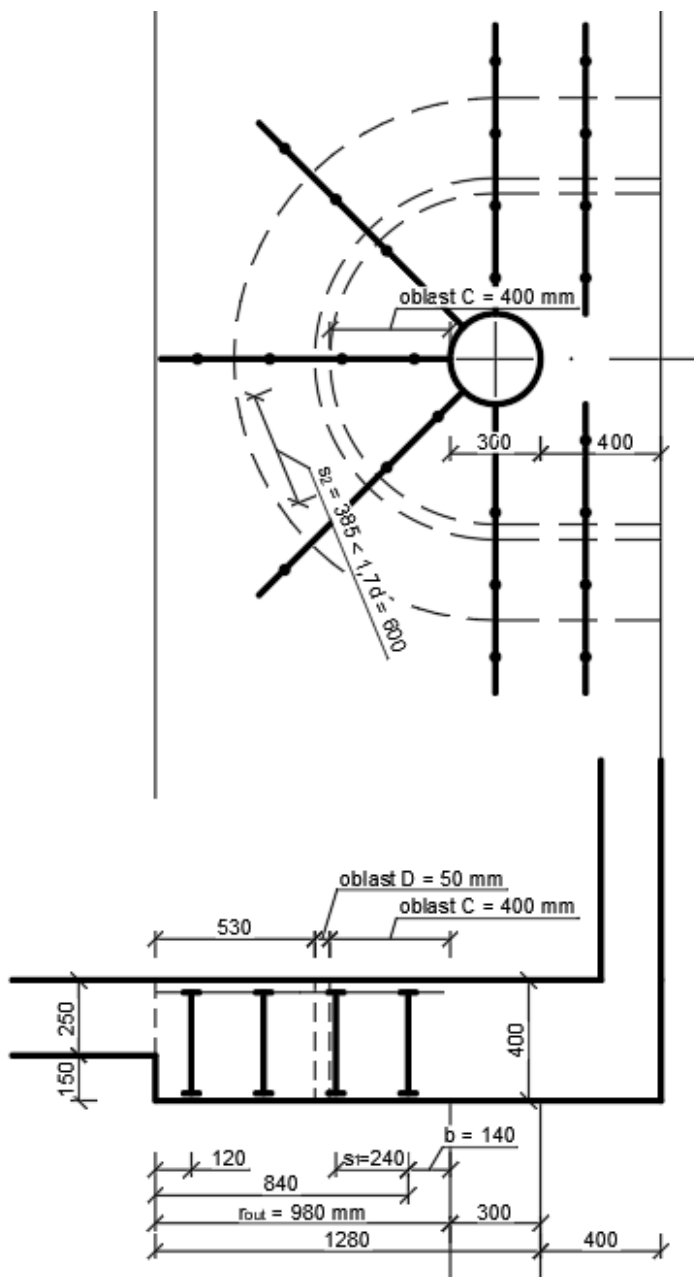
$\eta = 1,0$ pro $d < 200 \text{ mm}$

$\eta = 1,6$ pro $d > 600 \text{ mm}$

interpolací pro $d = 353 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,23$

profil lišt zvolen 10 mm $\Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{4094,02}{\frac{20^2 * \pi}{4}} = 14 \text{ trnů}$

Smykové lišty 2x HDB - 20/335 - 2/480



Obrázek 157 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 * 353 = 176,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 * 353 = 123,55 \text{ mm}$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$S_1 = 240 \text{ mm}$$

$$s_1 < 0,75d = 0,75 * 353 = 264,75 \text{ mm}$$

$$S_2 = 385 \text{ mm}$$

$$s_2 < 1,7d = 1,7 * 353 = 600,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c * n_c * A_{sw,1} * f_{yd} / \eta = (7 * 2 * 314,2 * 10^{-6} * 435) / 1,23 = 1,56 \text{ MN}$$

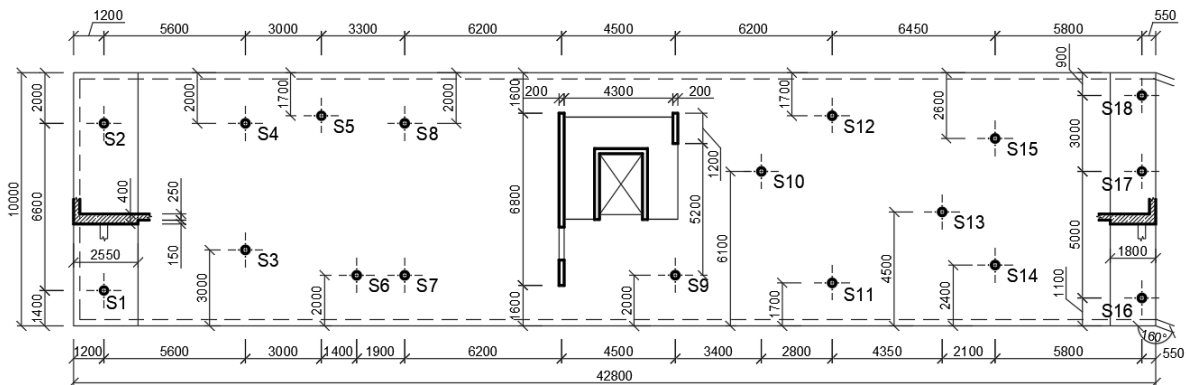
m_c je počet smykových lišt v oblasti C

n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

$$V_{Rd;sy} = 1,56 \text{ MN} > V_{Ed} * \beta = 1,259 * 1,15 = 1,45 \text{ MN}$$

VYHOVUJE

5.6.7. Sloup S18 – tl. desky 400 mm



Obrázek 158 – Schéma rozmístění sloupů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1106,63 \text{ kN}$$

tl. desky = 400 mm

$$d_x = 367 \text{ mm}$$

$$d_y = 351 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (367 + 351) / 2 = 359 \text{ mm}$$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,103 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,005 * 30} = 0,44 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15 / \gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942 / 0,359 = 2,62 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18 / 1,5 * (0,1 * 2,62 + 0,6) = 0,103$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{359}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0049 * 0,0052} = 0,005 = 0,5 \%$$

vyztužení 9 \varnothing 16 mm směr xvyztužení 9 \varnothing 16 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{1810}{1000 * 367} = 0,0049$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{1810}{1000 * 351} = 0,0052$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,814 \text{ m – viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1}$$

$$c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{4} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,359 + 16 * 0,359^2 + 2 * \pi * 0,359 * 0,3}{4} = 3,3 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{3,62}{1106,63} * \frac{2,814}{3,3} = 1,0 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$ Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1106,63}{0,942 * 0,359} = 3763,2 \text{ kPa} = 3,76 \text{ MPa}$$

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

$$3,76 \text{ MPa} < 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJEOvěření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta * \frac{V_{Ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1106,63}{2,814 * 0,359} = 1259,7 \text{ kPa} = 1,26 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$1,26 > 0,44 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 1,26 > V_{Rd,max} = 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,44 = 0,86 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Jako opatření bude navržena manžetová hlavice o vyložení $a < d$, zároveň bude průřez více vyztužen.

Hlavice

$$\text{Pro } d = 359 \text{ mm} \quad a = 350 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{\text{sloupu}} + 2 * a) * \pi = (0,3 + 2 * 0,350) * \pi = 3,14 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,364 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení – s vyšším stupněm vyztužení:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,103 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,0106 * 30} = 0,57 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,359 = 2,62 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/1,5 * (0,1 * 2,62 + 0,6) = 0,103$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{359}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0104 * 0,0108} = 0,0106 = 1,06 \%$$

vyztužení 10 \varnothing 22 mm směr xvyztužení 10 \varnothing 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{3801}{1000 * 367} = 0,0104$$

$$\rho_y = \frac{asy}{b * dy} = \frac{3801}{1000 * 351} = 0,0108$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta \frac{Ved}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1106,63}{3,364 * 0,359} = 2269 \text{ kPa} = 1,054 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$1,05 > 0,57 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} = 1,05 > 1,96 * \nu_{Rd,c} = 1,96 * 0,57 = 1,12 \text{ MPa}$$

SPLNĚNO

Návrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{V_{ed}}{\nu_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1106,63 * 10^{-3}}{0,57 * 0,359} = 6,22 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{6,22 - 0,942}{2\pi} = 0,84 \text{ m}$$

$$u_{out} = u_0 + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{6,22 - 0,942}{2\pi} - 1,5 * 0,359 = 0,3 \text{ m}$$

 $l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} < 1,125 d = 1,125 * 0,359 = 0,4 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ V OBLASTI C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

$$\beta * \nu_{Ed} \leq \nu_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 1106,63 * 10^3 * 1,24}{435} = 3627,7 \text{ mm}^2$$

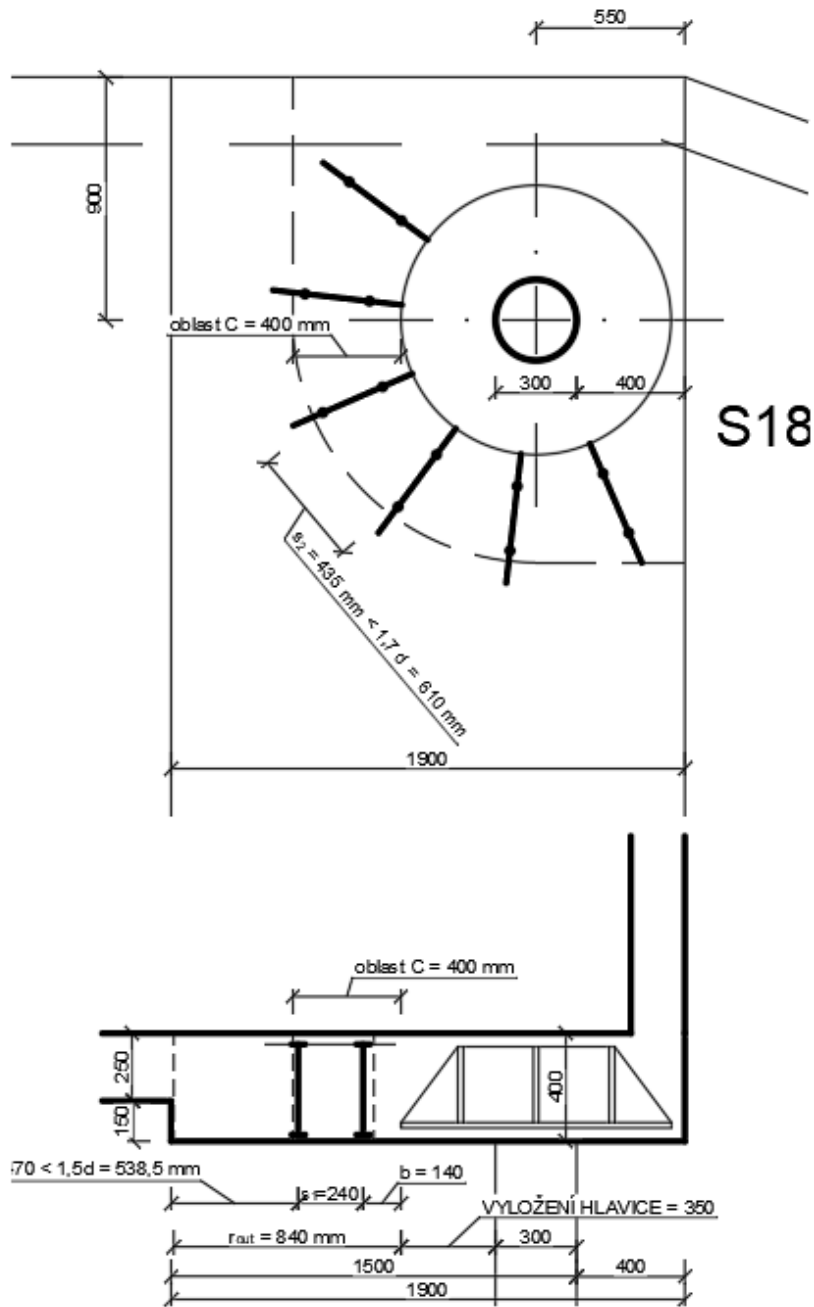
$$\eta = 1,0 \text{ pro } d < 200 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,6 \text{ pro } d > 600 \text{ mm}$$

$$\text{interpolací pro } d = 359 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,24$$

$$\text{profil lišt zvolen } 20 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{3627,7}{\frac{20^2 * \pi}{4}} = 12 \text{ trnů}$$

Smykové lišty HDB - 20/335 - 2/480



Obrázek 159 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 \cdot 353 = 176,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 \cdot 353 = 123,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 140 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{S_1 = 240 \text{ mm}}$$

$$s_1 < 0,75d = 0,75 \cdot 353 = 264,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{S_2 = 435 \text{ mm}}$$

$$s_2 < 1,7d = 1,7 \cdot 353 = 600,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c \cdot n_c \cdot A_{sw,1} \cdot f_{yd} / \eta = (6 \cdot 2 \cdot 314,16 \cdot 10^{-6} \cdot 435) / 1,19 = 1,378 \text{ MN}$$

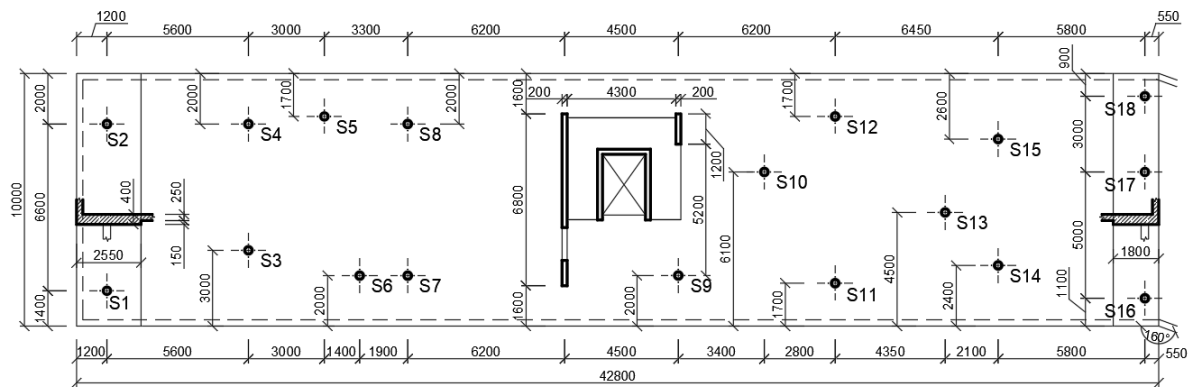
m_c je počet smykových lišt v oblasti C

n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

$$V_{Rd;sy} = 1,378 \text{ MN} > V_{Ed} * \beta = 1,106 * 1,15 = 1,27 \text{ MN}$$

VYHOVUJE

5.6.8. Sloup S16 – tl. desky 400 mm



Obrázek 160 – Schéma rozmístění sloupů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1669,94 \text{ kN}$$

tl. desky = 400 mm

$d_x = 367 \text{ mm}$

$d_y = 351 \text{ mm}$

$d = (d_x + d_y) / 2 = (367 + 351) / 2 = 359 \text{ mm}$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,103 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,005 * 30} = 0,44 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c * (0,1 * u_0/d + 0,6) \geq 0,15 / \gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942 / 0,359 = 2,62 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18 / 1,5 * (0,1 * 2,62 + 0,6) = 0,103$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{359}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0049 * 0,0052} = 0,005 = 0,5 \%$$

vyztužení 9 \varnothing 16 mm směr x

vyztužení 9 \varnothing 16 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{1810}{1000 * 367} = 0,0049$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{1810}{1000 * 351} = 0,0052$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,014 \text{ m – viz. Autocad OBRÁZEK!}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{\pi} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,359 + 16 * 0,359^2 + 2 * \pi * 0,359 * 0,3}{\pi} = 3,21 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{1}{1669,94} * \frac{3,014}{3,21} = 1,0 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1669,94}{0,942 * 0,359} = 5678,8 \text{ kPa} = 5,68 \text{ MPa}$$

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

$$5,68 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta * \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1669,94}{3,014 * 0,359} = 1774,8 \text{ kPa} = 1,77 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$1,77 > 0,44 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 1,77 > V_{Rd,max} = 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,44 = 0,86 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Jako opatření bude navržena manžetová hlavice s vyložení $a < d$.

$$\text{Pro } d = 359 \text{ mm} \quad a = 350 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{\text{sloupu}} + 2 \cdot a) \cdot \pi = (0,3 + 2 \cdot 0,350) \cdot \pi = 3,14 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,56 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{1669,94}{3,564 \cdot 0,359} = 1500,95 \text{ kPa} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$1,5 > 0,44 \text{ MPa}$$

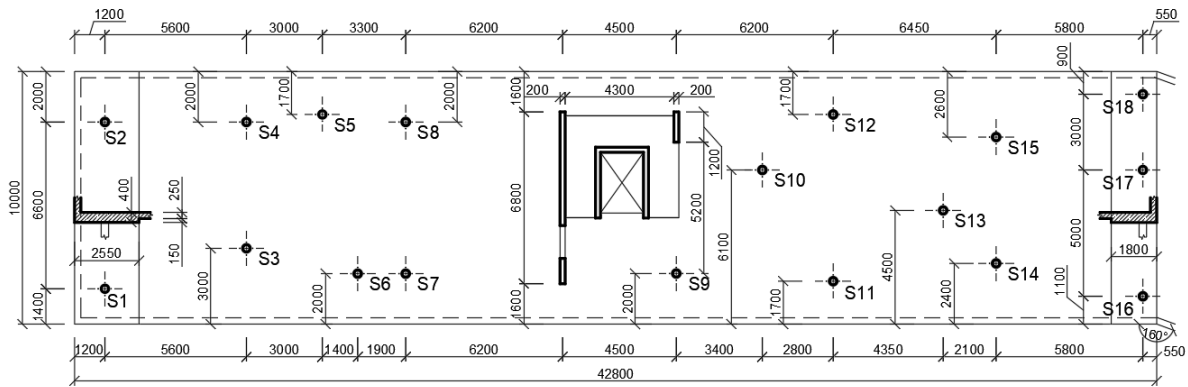
NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

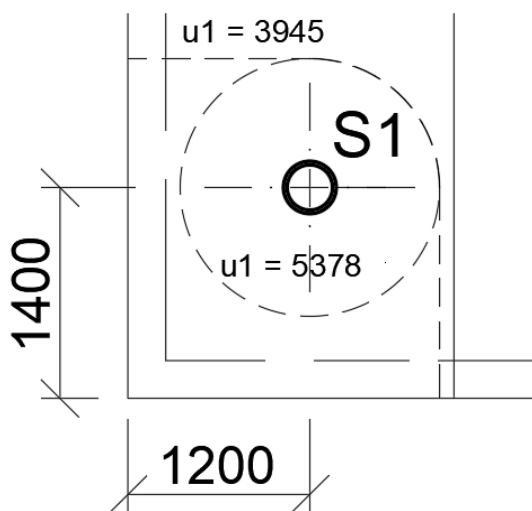
$$v_{ED} = 1,5 > v_{Rd,max} = 1,96 \cdot v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,44 = 0,86 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

5.6.9. Sloup S1



Obrázek 161 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 162 – Kontrolované obvody sloupu S1

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1874,05 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 16,03 \text{ kNm}$$

tl. desky = 400 mm

$$d_x = 364 \text{ mm}$$

$$d_y = 342 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (364 + 342) / 2 = 353 \text{ mm}$$

krytí c = 25 mm

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,104 * 1,78 * \sqrt[3]{100 * 0,0127 * 30} = 0,623 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) * (0,1 * (u_0/d) + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,353 = 2,66 \Rightarrow C_{Rd,c} = (0,18/1,5) * (0,1 * 2,66 + 0,6) = \mathbf{0,104} \geq 0,15/1,5 = 0,1$$

SPLNĚNO

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{353}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0125 * 0,013} = 0,0127 = 1,27 \%$$

vyztužení 12 Ø 22 mm směr x

vyztužení 12 Ø 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 364} = 0,0125$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 342} = 0,013$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,945 \text{ m} - \text{viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{4} =$$

$$0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,353 + 16 * 0,353^2 + 2 * \pi * 0,353 * 0,3 = 3,218 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{16,03}{1874,05} * \frac{3,945}{3,218} = 1,01 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = 1,15$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 * (1 - 30 / 250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1874,05}{0,942 * 0,353} = 6481,17 \text{ kPa} = 6,48 \text{ MPa}$$

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

$$6,48 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1874,05}{3,945 * 0,353} = 1547,6 \text{ kPa} = 1,55 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$1,55 > 0,623 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 1,55 > 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,623 = 1,22 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Jako opatření bude navržena manžetová hlavice s vyložení $a < d$

$$\text{Pro } d = 353 \text{ mm} \quad a = 350 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{sloupu} + 2 * a) * \pi = (0,3 + 2 * 0,205) * \pi = 2,231 \text{ m}$$

$$u_1 = 4,494 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$V_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1874,05}{4,494 * 0,353} = 1358,5 \text{ kPa} = 1,36 \text{ MPa}$$

$$V_{ED,1} > V_{Rd,c}$$

$$1,36 > 0,623 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$V_{ED} = 1,36 > 1,96 * V_{Rd,c} = 1,96 * 0,623 = 1,22 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO

Protože podmínky maximální smykové únosnosti stále nespĺňuje sloup S1 ani S16, budou provedeny další úpravy konstrukce.

Nejprve bude určena šířka zesílení stropní konstrukce na krajích, tj. nad sloupy S1 a S2 a nad sloupy S16, S17 a S18.

5.6.10. Stanovení šířky zesílení stropní desky na okrajích

V následujícím výpočtu bude stanovena šířka zesílené části desky nad sloupy S1 a S2 a nad sloupy S16, S17 a S18. Šířka bude zjištěna pomocí obvodu u_{out} , ve kterém již není potřeba smyková výztuž. Obvod u_{out} bude spočítán pro tloušťku desky za zlomem tj. 250 mm, jako zatížení bude brána plná hodnota síly V_{Ed} , která způsobuje protlačení. Návrhová únosnost desky ve smyku $V_{Rd,c}$ bude spočítána pro tloušťku desky 250 mm v závislosti na stupni vyztužení, který bude počítán s výztuží navrženou v zesílené desce, protože výztuž zesílené desky bude do tenčí desky kotvena, a to až od vzdálenosti $2d$ od výškového zlomu desek.

Šířka zesílení stropní desky nad sloupy S1 a S2 – dle návrhu výztuže na protlačení pro sloup S2

- tl. desky = 250 mm
- $d = 203$ mm
- $V_{Ed} = 1443,57$ kN

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,12 * 1,99 * \sqrt[3]{100 * 0,0225 * 30} = 0,972 \text{ Mpa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) * (0,1 * (u_0/d) + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 0,942/0,213 = 4,42 \Rightarrow C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{203}} = 1,99$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0213 * 0,0238} = 0,0225 = 2,25 \%$$

vyztužení 12 \varnothing 22 mm směr x

vyztužení 12 \varnothing 22 mm směr y

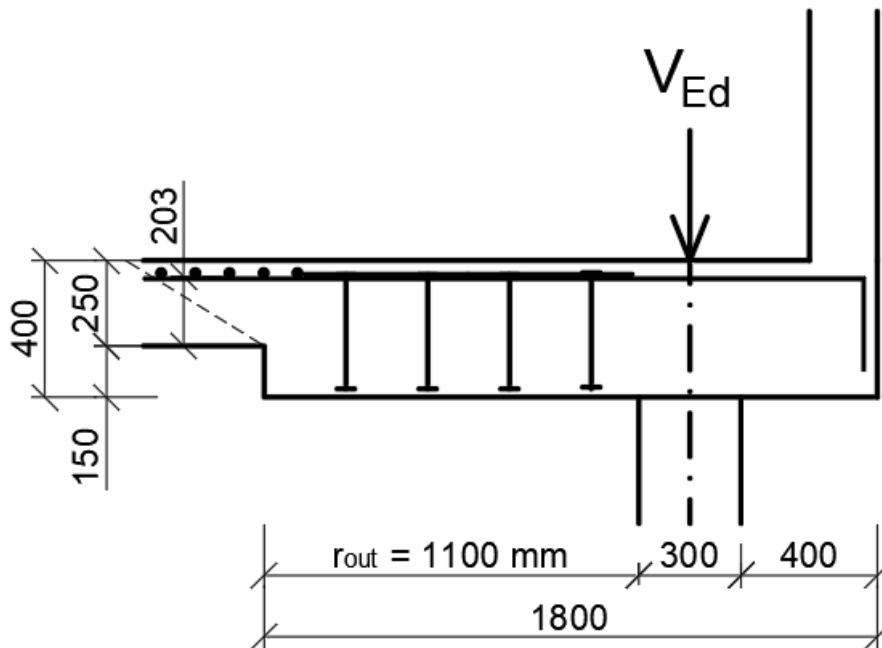
$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4561,2}{1000 * 214} = 0,0213$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4561,2}{1000 * 192} = 0,0238$$

$$u_{out} = \beta \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1443,57 * 10^{-3}}{0,972 * 0,203} = 8,41 \text{ m}$$

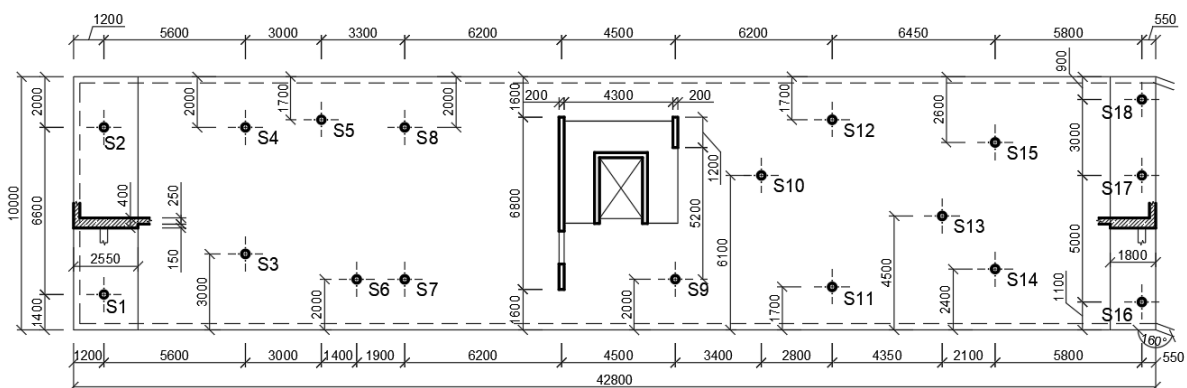
$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{8,41 - 0,942}{2\pi} = 1,19 \text{ m} \Rightarrow \text{Návrh } 1,2 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{7,79 - 0,942}{2\pi} = 1,09 \text{ m} \Rightarrow \text{Návrh } 1,1 \text{ m}$$



Obrázek 164 – Schéma rozšíření desky

5.6.11. Úprava konstrukce z důvodu nevyhovění stropní desky na protlačení nad sloupy S1 a S16



Obrázek 165 – Schéma rozmístění sloupů

Sloupy S1 a S16 jsou rohové a přenášejí značné zatížení. Protože jsou pouze v 1.NP nezpůsobuje protlačení pouze zatížení z desky 1NP, ale i zatížení z dalších pater.

Po posouzení a návrhu výztuže na protlačení u ostatních sloupů vypadal model objektu takto – deska tl. 250 mm je zesílena v pružích na okrajích o 150 mm na celkovou tloušťku 400 mm. Šířka zesílení nad sloupy S1 a S2 je celkem 2550 mm a nad sloupy S16, S17 a S18 je šířka zesílení 1800 mm.

Na tomto modelu byly následně zkoušeny další úpravy – změny rozměrů sloupů S1 a S16, další zesilování desek nad těmito sloupy v pruzích nebo pouze nad sloupy, nebo drobná změna polohy sloupu S16.

Z těchto úprav modelu byly převzaty nové posouvající síly působící na stropní desku. Z Autocadu pak byly odměřeny nově vzniklé kontrolované obvody u_0 a u_1 ve variantách bez manžetových hlavic i s nimi.

V následující tabulce je ověření smykové únosnosti stropní konstrukce pro jednotlivé varianty úprav.

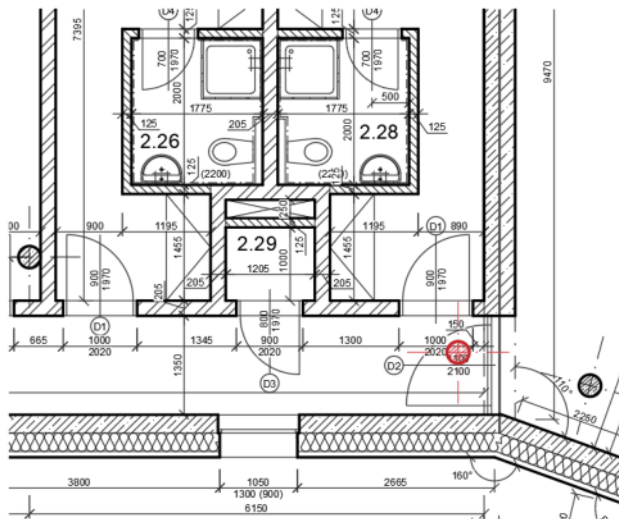
Úpravy konstrukce a posouzení smykové únosnosti stropní desky

Úprava konstrukce	sloup			bez hlavice					posouzení			s manžetovou hlavicí					posouzení		
		V _{Ed} [m]	d [m]	u ₀ [m]	u ₁ [m]	ν _{Rd,c} [MPa]	ν _{Ed,0} [kPa]	ν _{Ed,1} [kPa]	ν _{Ed,0} < ν _{Rd,max}	ν _{Ed,1} < ν _{Rd,c}	ν _{Ed,1} < 1,96 * ν _{Rd,c}	u ₀ [m]	u ₁ [m]	ν _{Rd,c} [MPa]	ν _{Ed,0} [kPa]	ν _{Ed,1} [kPa]	ν _{Ed,0} < ν _{Rd,max}	ν _{Ed,1} < ν _{Rd,c}	ν _{Ed,1} < 1,96 * ν _{Rd,c}
původní návrh - sloupy 300 mm, deska tl. 400 mm	S1	1874,05	0,353	0,942	3,945	0,623	6481,17	1547,595	NE	NE	NE	2,231	4,494	0,623	2736,559	1358,536	OK	NE	NE
	S16	1669,94	0,353	0,942	3,014	0,44	5775,281	1805,015	NE	NE	NE	3,14	3,56	0,44	1732,584	1528,178	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 350 mm	S1	2050,98	0,353	1,1	3,984	0,623	6074,239	1677,124	NE	NE	NE	3,299	4,533	0,623	2025,36	1474,005	OK	NE	NE
	S16	1736,72	0,353	1,1	3,033	0,56	5143,518	1865,437	NE	NE	NE	3,141	3,584	0,56	1801,296	1578,647	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 400 mm	S1	2209,18	0,353	1,256	4,023	0,623	5730,132	1788,975	NE	NE	NE	3,455	4,572	0,623	2083,081	1574,157	OK	NE	NE
	S16	2088,77	0,353	1,256	3,073	0,56	5417,814	2214,375	NE	NE	NE	3,141	3,702	0,56	2166,436	1838,135	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 400 mm + zesílení tl. 450 mm	S1	2299,33	0,403	1,256	4,18	0,528	5224,016	1569,704	NE	NE	NE	3,77	4,808	0,528	1740,415	1364,676	OK	NE	NE
	S16	2137,11	0,403	1,256	3,23	0,528	4855,456	1888,066	NE	NE	NE	3,141	3,701	0,528	1941,564	1647,785	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 450 mm + zesílení tl. 450 mm	S1	2412,25	0,403	1,41	4,22	0,528	4881,98	1631,183	NE	NE	NE	3,926	4,847	0,528	1753,335	1420,176	OK	NE	NE
	S16	2293,14	0,403	1,41	3,27	0,528	4640,922	2001,131	NE	NE	NE	3,141	3,701	0,528	2083,317	1768,09	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 500 mm	S1	2366,13	0,453	1,57	2,366	0,623	3825,944	2538,771	OK	NE	NE	3,77	4,651	0,623	1593,298	1291,493	OK	NE	NE
	S16	2177,43	0,453	1,57	3,152	0,56	3520,823	1753,709	OK	NE	NE	3,141	3,701	0,56	1759,851	1493,567	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 500 mm + zesílení pouze nad nimi tl. 500 mm	S1	2549	0,453	1,57	4,101	0,517	4121,638	1577,901	OK	NE	NE	4,4	5,122	0,517	1470,675	1263,368	OK	NE	NE
	S16	2261	0,453	1,57	3,152	0,517	3655,953	1821,017	OK	NE	NE	3,141	3,858	0,517	1827,394	1487,777	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 500 mm + zesílení pouze nad nimi tl. 550 mm	S1	2617,6	0,503	1,57	4,572	0,506	3811,83	1308,962	OK	NE	NE	4,869	5,397	0,506	1229,117	1108,87	OK	NE	NE
	S16	2293,82	0,503	1,57	3,622	0,506	3340,331	1447,907	OK	NE	NE	3,141	4,016	0,506	1669,634	1305,857	OK	NE	NE
průměr sloupů S1 a S16 450 mm + zesílení pouze nad nimi tl. 600 mm	S1	2573,58	0,553	1,413	4,689	0,496	3787,636	1141,38	OK	NE	NE	4,87	5,318	0,496	1098,959	1006,38	OK	NE	NE
	S16	2188	0,553	1,413	3,74	0,496	3220,163	1216,602	OK	NE	NE	3,141	4,173	0,496	1448,612	1090,364	OK	NE	NE
změna polohy sloupu S16	S16	1829,64	0,353	1,57	4,152	0,56	3796,55	1435,593	OK	NE	NE	3,77	4,701	0,56	1581,057	1267,939	OK	NE	NE

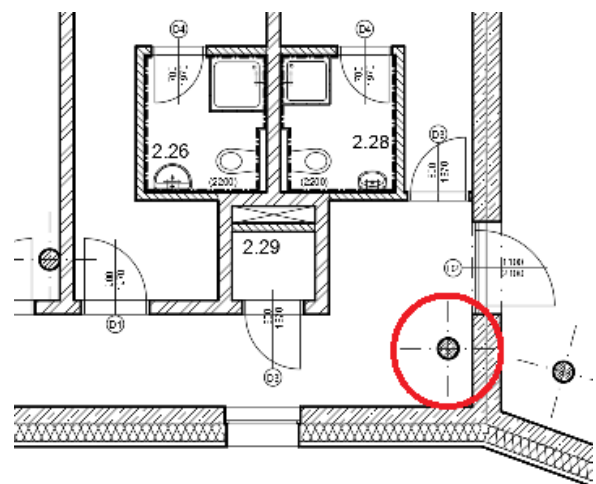
Z výsledků je vidět, že žádná z provedených úprav nebyla úspěšná. Protože se jedná o rohové sloupy, kontrolované obvody u_1 jsou značně ovlivněny touto polohou sloupů a nenarůstají s rostoucí tloušťkou desky tak, jak by bylo třeba. Velikost manžetové hlavice, a tedy kontrolovaného obvodu u_0 , je omezena nad sloupem S16 díky jeho poloze vůči okraji stropní desky. Naproti tomu nárůst posouvajících sil působících na stropní konstrukci není malý. Zvětšení rozměru sloupu, znamená zvýšení tuhosti prvku a následný nárůst zatížení, které prvek přenáší. Stejně tak zvětšení tloušťky desky se jeví jako neefektivní, protože opět narůstá působící síla. Zvýšení třídy betonu se také nejeví jako efektivní řešení. Současná třída betonu C 30/37 je pro ostatní konstrukce dostačující a s vyšší třídou betonu než C 35/45 by bylo riziko nedodržení vlastností směsi.

V tomto případě tedy bohužel nebude možné vyhovět požadavkům architekta. Je nutný výraznější zásah do konstrukce než jen úprava rozměrů prvků. Jako řešení je navrženo pokračování sloupů S1 a S16 v dalších podlažích tak, aby případné protlačení způsobovala pouze síla z jednoho podlaží.

U sloupu S1, toto řešení není problémové, sloup v dispozici nebude překážet. Kvůli protažení sloupu S16 do dalších podlaží bude nutno přizpůsobit dispozici ve 2NP, kde by sloup překážel ve dveřích



Obrázek 166 – Původní dispozice 2.NP



Obrázek 167 – Nová dispozice 2.NP

Po této úpravě byl vytvořen nový prostorový model objektu s průběžnými sloupy S1 a S16 a byly získány nové normálové síly. Pro tyto síly bude navržena výztuž na protlačení.

Sloup S1:

$$V_{Ed} = 1447,47 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný moment } M_{Ed} = 10,16 \text{ kNm}$$

Sloup S16:

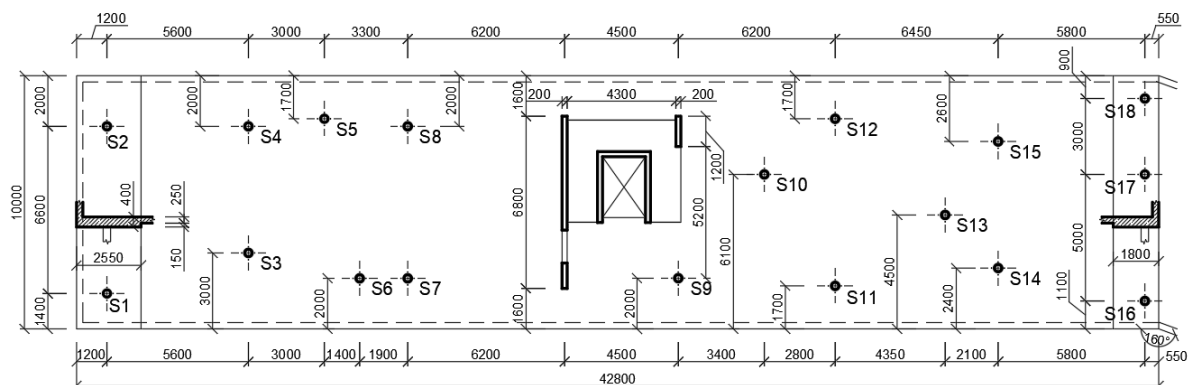
$$V_{Ed} = 1210,45 \text{ kN}$$

$$\text{nevyrovnaný moment } M_{Ed} = 1,59 \text{ kNm}$$

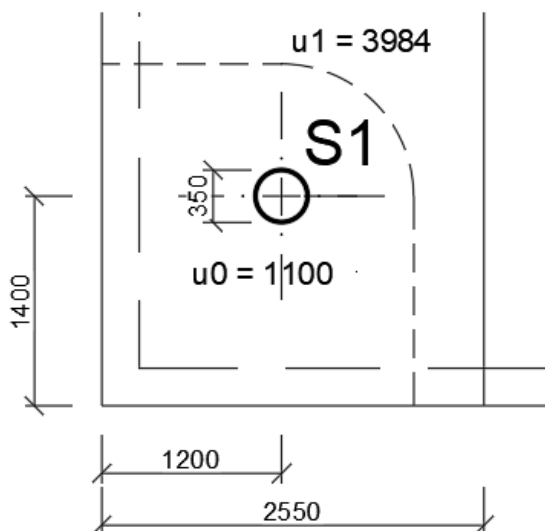
Touto úpravou byly změněny vnitřní síly nejen ve sloupu, ale částečně také na desce. Došlo k malému zmenšení podporových ohybových momentů na okraji desek. Protože se momenty na desce D4 významně nezměnily a rozhodující jsou kritéria MSP, bude předchozí návrh výztuže zachován, bude však přihlédnuto k úpravě výztužení, které bylo provedeno při posouzení protlačení.

5.6.12. Sloup S1 – upravená konstrukce

Při návrhu již bylo provedeno posouzení sloupu S1 z následující kapitoly. V tuto chvíli je tedy sloup S1 uvažován s průměrem 350 mm.



Obrázek 168 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 169 – Kontrolované obvody sloupu S1

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1447,47 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnaný návrhový moment } M = 10,16 \text{ kNm}$$

tl. desky = 400 mm

$$d_x = 364 \text{ mm}$$

$$d_y = 342 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (364 + 342) / 2 = 353 \text{ mm}$$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ctk}} = 0,11 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,0127 * 30} = 0,648 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: pro } u_0/d < 4,0 \quad C_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) * (0,1 * (u_0/d) + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

$$\text{pro } u_0/d > 4,0 \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$$

$$u_0/d = 1,1/0,353 = 3,12 \Rightarrow C_{Rd,c} = (0,18/1,5) * (0,1 * 3,12 + 0,6) = \mathbf{0,11} \geq 0,15/1,5 = 0,1$$

SPLNĚNO

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{353}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0125 * 0,013} = 0,0127 = 1,27 \%$$

vyztužení 12 Ø 22 mm směr x

vyztužení 12 Ø 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 364} = 0,0125$$

$$\rho_y = \frac{asy}{b * dy} = \frac{4559}{1000 * 342} = 0,013$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,35 = 1,1 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,984 \text{ m} - \text{viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyku:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1} \quad c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{2} = \frac{0,35^2/2 + 0,35 * 0,35 + 4 * 0,35 * 0,353 + 16 * 0,353^2 + 2 * \pi * 0,353 * 0,35}{2} = 3,45 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{10,16}{1447,47} * \frac{3,984}{3,45} = 1,005 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = \mathbf{1,15}$ Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1447,47}{1,1 * 0,353} = 4286,9 \text{ kPa} = 4,29 \text{ MPa}$$

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

$$4,29 \text{ MPa} > 4,224 \text{ MPa}$$

NEVYHOVUJE – NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$v_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1447,47}{3,984 * 0,353} = 1183,62 \text{ kPa} = 1,18 \text{ MPa}$$

$$v_{ED,1} > v_{Rd,c}$$

$$1,18 > 0,623 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$v_{ED} = 1,18 < v_{Rd,max} = 1,96 * v_{Rd,c} = 1,96 * 0,648 = 1,27 \text{ MPa}$$

SPLNĚNONávrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{V_{ed}}{v_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1447,47 * 10^{-3}}{0,648 * 0,353} = 7,28 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{7,28 - 1,1}{2\pi} = 0,984 \text{ m}$$

$$u_{out} = u_0 + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{7,28 - 1,1}{2\pi} - 1,5 * 0,353 = 0,454 \text{ m}$$

 $l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} > 1,125 d = 1,125 * 0,353 = 0,4 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ ZA OBLASTÍ C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

$$\beta * v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 1447,47 * 10^3 * 1,19}{435} = 4553,71 \text{ mm}^2$$

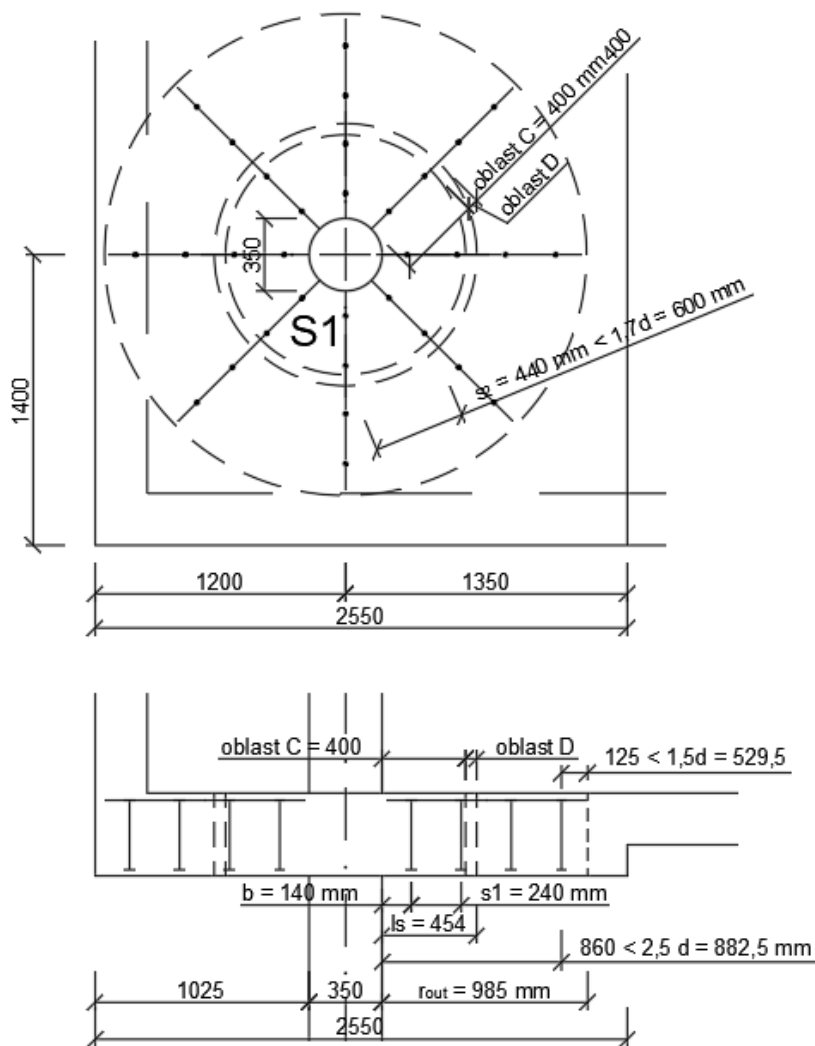
$$\eta = 1,0 \text{ pro } d < 200 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,6 \text{ pro } d > 600 \text{ mm}$$

$$\text{interpolací pro } d = 353 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,19$$

$$\text{profil lišt zvolen } 20 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{4553,71}{\frac{20^2 * \pi}{4}} = 16 \text{ trnů}$$

Smykové lišty 2x HDB - 20/335 - 2/480



Obrázek 170 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 \cdot 353 = 176,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 \cdot 353 = 123,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 140 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{S_1 = 240 \text{ mm}}$$

$$s_1 < 0,75d = 0,75 \cdot 353 = 264,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{S_2 = 435 \text{ mm}}$$

$$s_2 < 1,7d = 1,7 \cdot 353 = 600,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c \cdot n_c \cdot A_{sw,1} \cdot f_{yd} / \eta = (8 \cdot 2 \cdot 314,16 \cdot 10^{-6} \cdot 435) / 1,19 = 1,837 \text{ MN}$$

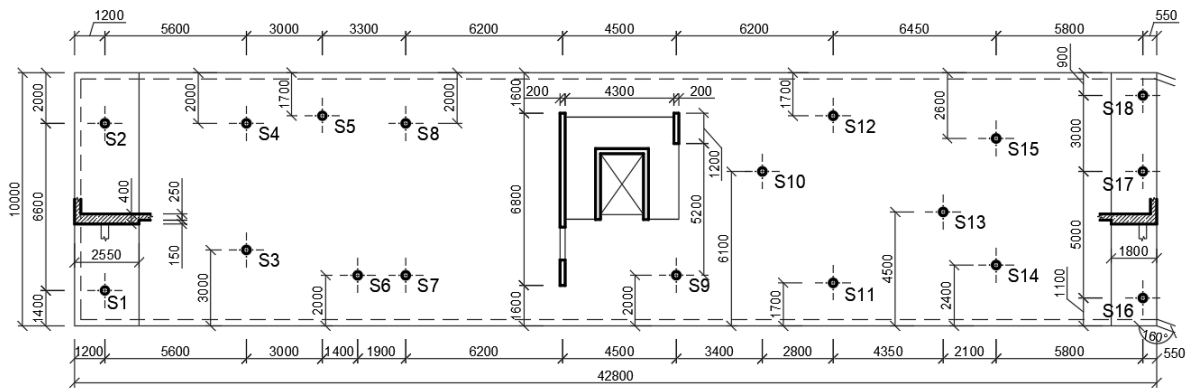
m_c je počet smykových lišt v oblasti C

n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

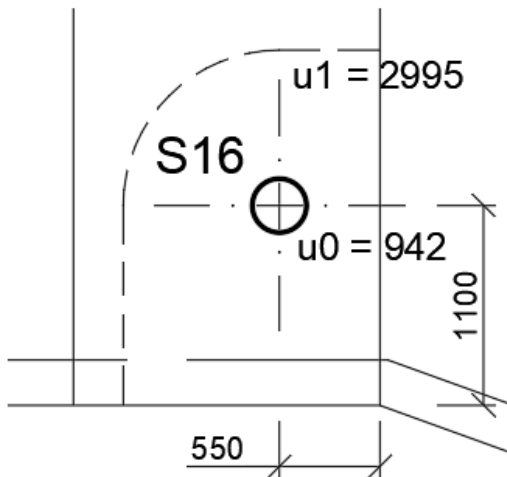
$$V_{Rd;sy} = 1,837 \text{ MN} > V_{Ed} \cdot \beta = 1,447 \cdot 1,15 = 1,66 \text{ MN}$$

VYHOVUJE

5.6.13. Sloup S16 – upravená konstrukce



Obrázek 171 – Schéma rozmístění sloupů



Obrázek 172 – Kontrolované obvody sloupu S16

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1210,45 \text{ kN}$$

$$\text{Nevyrovnáný návrhový moment } M = 1,59 \text{ kNm}$$

tl. desky = 400 mm

$$d_x = 364 \text{ mm}$$

$$d_y = 342 \text{ mm}$$

$$d = (d_x + d_y) / 2 = (364 + 342) / 2 = 353 \text{ mm}$$

krytí $c = 25 \text{ mm}$

Únosnost desky bez výztuže na protlačení

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * \sqrt[3]{100 * \rho_k * f_{ck}} = 0,104 * 1,75 * \sqrt[3]{100 * 0,0127 * 30} = 0,612 \text{ Mpa}$$

kde: pro $u_0/d < 4,0$

$$C_{Rd,c} = (0,18/\gamma_c) * (0,1 * (u_0/d) + 0,6) \geq 0,15/\gamma_c$$

pro $u_0/d > 4,0$

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

$$u_0/d = 0,942/0,353 = 2,67 \Rightarrow C_{Rd,c} = (0,18/1,5) * (0,1 * 2,67 + 0,6) = \mathbf{0,104} \geq 0,15/1,5 = 0,1$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{353}} = 1,75$$

$$\rho_k = \sqrt{\rho_x * \rho_y} = \sqrt{0,0125 * 0,013} = 0,0127 = 1,27 \%$$

vyztužení 12 ϕ 22 mm směr xvyztužení 12 ϕ 22 mm směr y

$$\rho_x = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 364} = 0,0125$$

$$\rho_y = \frac{asx}{b * dx} = \frac{4559}{1000 * 342} = 0,013$$

kontrolované obvody

$$u_0 = \pi * d \text{ (d=průměr sloupu)} = \pi * 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$u_1 = 2,995 \text{ m} - \text{viz. Autocad}$$

Stanovení součinitele rozdělení smyky:

$$\beta = 1 + k * \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{u_1}{W_1}$$

$$c_1 = c_2 = 0,3 \text{ m (k = 0,6)}$$

$$W_1 = \frac{c_1^2/2 + c_1 * c_2 + 4 * c_2 * d + 16 * d^2 + 2 * \pi * d * c_1}{\pi} = \frac{0,3^2/2 + 0,3 * 0,3 + 4 * 0,3 * 0,353 + 16 * 0,353^2 + 2 * \pi * 0,353 * 0,3}{\pi} = 3,2 \text{ m}^2$$

$$\beta = 1 + 0,6 * \frac{1,59}{1210,45} * \frac{2,995}{3,2} = 1,00 \text{ (tabulkově pro rohový sloup } \beta = 1,5)$$

S ohledem na bezpečnost zvolen součinitel $\beta = \mathbf{1,15}$ Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$V_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$V_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1210,45}{0,942 * 0,353} = 4186,2 \text{ kPa} = 4,19 \text{ MPa}$$

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

$$4,19 \text{ MPa} < 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJEOvěření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{ED,1} = \beta * \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1210,45}{2,995 * 0,353} = 1316,66 \text{ kPa} = 1,32 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ED,1} > \nu_{Rd,c}$$

$$1,32 > 0,612 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} = 1,32 < \nu_{Rd,max} = 1,96 * \nu_{Rd,c} = 1,96 * 0,612 = 1,2 \text{ MPa}$$

NESPLNĚNO**Jako opatření bude navržena manžetová hlavice s vyložení a < d.**Hlavice

$$\text{Pro } d = 359 \text{ mm} \quad a = 300 \text{ mm}$$

Kontrolované obvody při použití hlavice:

$$u_0 = (d_{\text{sloupu}} + 2 * a) * \pi = (0,3 + 2 * 0,300) * \pi = 2,827 \text{ m}$$

$$u_1 = 3,466 \text{ m (viz. Autocad)}$$

Ověření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_0 :

$$\nu_{Rd,max} = 0,4 * \nu * f_{cd} = 0,4 * 0,528 * 20 = 4,224 \text{ MPa}$$

$$\text{kde: } \nu = 0,6 * (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 * (1 - 30 / 250) = 0,528 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} = 1,15 * \frac{1210,45}{2,827 * 0,353} = 1394,9 \text{ kPa} = 1,39 \text{ MPa}$$

$$\nu_{Ed,max} < \nu_{Rd,max}$$

$$1,39 \text{ MPa} < 4,224 \text{ MPa}$$

VYHOVUJEOvěření maximální smykové odolnosti prvku v protlačení pro u_1 :

$$\nu_{ED,1} = \beta \frac{V_{ed}}{u_1 * d} = 1,15 * \frac{1210,45}{3,466 * 0,353} = 1137,7 \text{ kPa} = 1,14 \text{ MPa}$$

$$\nu_{ED,1} > \nu_{Rd,c}$$

$$1,32 > 0,612 \text{ MPa}$$

NUTNÁ VÝZTUŽ NA PROTLAČENÍ

podmínka maximální smykové únosnosti:

$$\nu_{ED} = 1,14 < \nu_{Rd,max} = 1,96 * \nu_{Rd,c} = 1,96 * 0,612 = 1,2 \text{ MPa}$$

SPLNĚNONávrh smykové výztuže

kontrolní obvod ve kterém není třeba smykové výztuže

$$u_{out} = \beta \frac{V_{ed}}{\nu_{Rd,c} * d} = 1,15 * \frac{1210,45 * 10^{-3}}{0,612 * 0,353} = 6,44 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} = \frac{6,44 - 0,942}{2\pi} = 0,875 \text{ m}$$

$$u_{out} = u_0 + 2 * \pi * (l_{s,req} + 1,5d) \Rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - u_0}{2\pi} - 1,5d = \frac{6,44 - 0,942}{2\pi} - 1,5 * 0,353 = 0,346 \text{ m}$$

$l_{s,req}$ značí minimální potřebnou vzdálenost posledního smykového trnu od líce sloupu

$$l_{s,req} < 1,125 d = 1,125 * 0,353 = 0,4 \text{ m} \quad \text{OBLAST D LEŽÍ V OBLASTI C}$$

Návrh počtu trnů v oblasti C

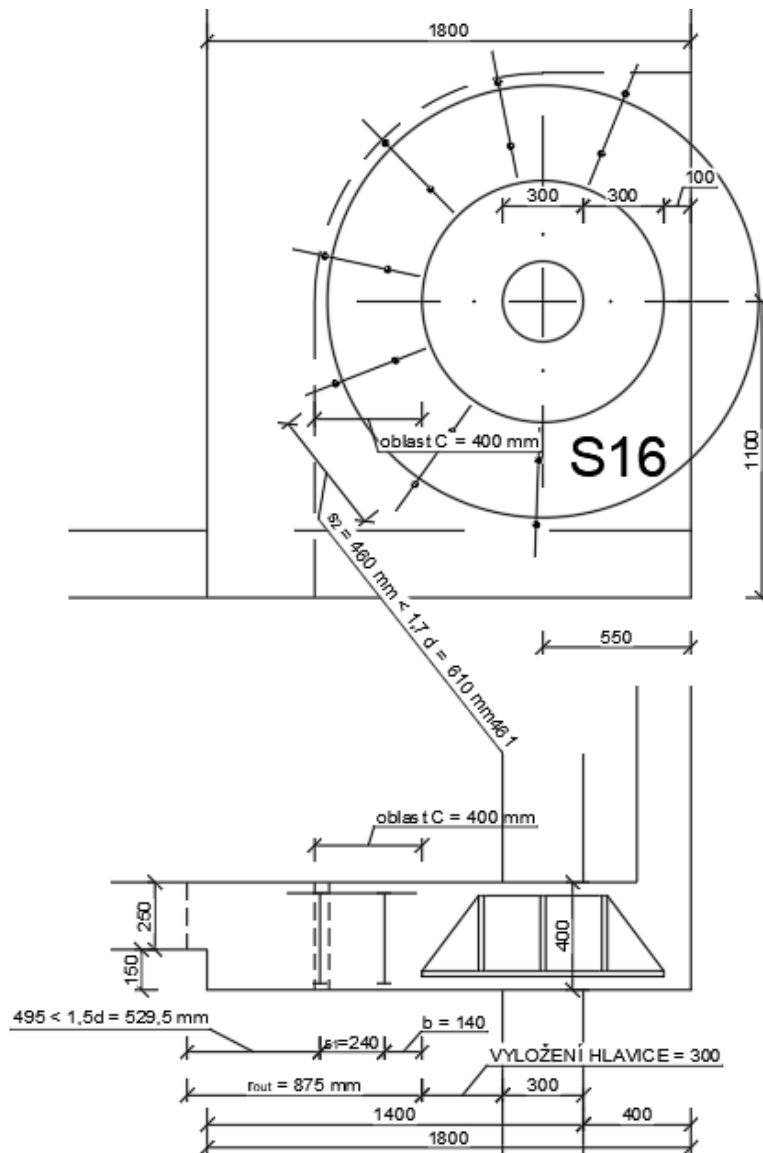
$$\beta * \nu_{Ed} \leq \nu_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s * f_{yd}}{\eta} \Rightarrow \sum A_s = \frac{\beta * V_{Ed} * \eta}{f_{yd}} = \frac{1,15 * 1210,45 * 10^3 * 1,19}{435} = 3808,05 \text{ mm}^2$$

$$\eta = 1,0 \text{ pro } d < 200 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,6 \text{ pro } d > 600 \text{ mm}$$

$$\text{interpolací pro } d = 353 \text{ mm} \Rightarrow \eta = 1,19$$

$$\text{profil lišt zvolen } 20 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\sum A_s}{A_{s,wl}} = \frac{3808,05}{\frac{20^2 * \pi}{4}} = 14 \text{ trnů} \quad \text{Smykové lišty HDB - 20/335 - 2/480}$$



Obrázek 173 – Rozmístění výztuže

$$b \leq 0,5 d = 0,5 * 353 = 176,5 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35 d = 0,35 * 353 = 123,55 \text{ mm}$$

$$\mathbf{b = 140 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{S_1 = 240 \text{ mm}}$$

$$s_1 < 0,75d = 0,75 * 353 = 264,75 \text{ mm}$$

$$\mathbf{S_2 = 435 \text{ mm}}$$

$$s_2 < 1,7d = 1,7 * 353 = 600,1 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti smykových trnů

$$V_{Rd;sy} = m_c * n_c * A_{sw,1} * f_{yd} / \eta = (7 * 2 * 314,16 * 10^{-6} * 435) / 1,19 = 1,6 \text{ MN}$$

m_c je počet smykových lišt v oblasti C

n_c je počet smykových trnů ve smykové liště v oblasti C

$$V_{Rd;sy} = 1,6 \text{ MN} > V_{Ed} * \beta = 1,210 * 1,15 = 1,39 \text{ MN}$$

VYHOVUJE

5.7. NÁVRH A POSOUZENÍ VÝZTUŽE VYBRANÉHO SLOUPU

Pro návrh a posouzení výztuže byl vybrán sloup S1 – sloup namáhaný největší normálovou silou.

V předchozí kapitole došlo k úpravě konstrukce, která ovlivnila normálové namáhání sloupu S1. Tento návrh byl však proveden před úpravou konstrukce, vnitřní síly jsou tedy převzaty z původního prostorového modelu.

5.7.1. Krytí, vnitřní síly a geometrie sloupu

Krytí sloupů ve vnějším prostředí

- Výpočet nominální hodnoty tloušťky betonové krycí vrstvy sloupů $c_{nom,2}$

$$c_{nom,2} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

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

kde: $c_{min,b}$ je minimální krytí výztuže s ohledem na soudržnost = profil výztuže
(volím \emptyset 16 mm) = **14 mm**

$c_{min,dur}$ je minimální krytí výztuže s ohledem na prostředí, ve kterém se konstrukce nachází (třída prostředí = XC4; konstrukční třída S3)
= **30 mm**

$\Delta c_{dur,\gamma}$ je přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti = **0 mm**

$\Delta c_{dur,st}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli (nepředpokládá se) = **0 mm**

$\Delta c_{dur,add}$ je redukce minimální krycí vrstvy při použití dodatečné ochrany (nepředpokládá se) = **0 mm**

Δc_{dev} je přídavek na návrhovou odchylku = **10 mm** (doporučená hodnota)

$$c_{min} = \text{maximální hodnota } (14 \text{ mm}; 30 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = \mathbf{30 \text{ mm}}$$

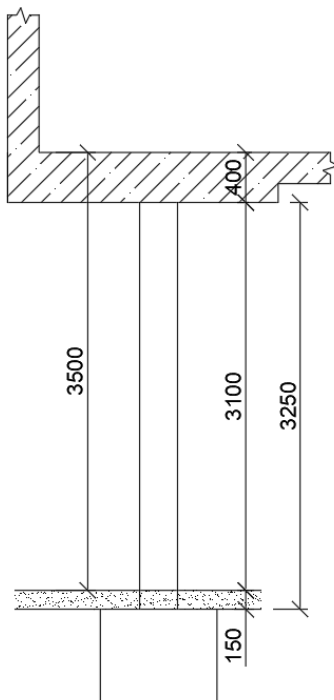
$$c_{nom,2} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

Nominální hodnota krycí vrstvy výztuže stanovena na 40 mm.

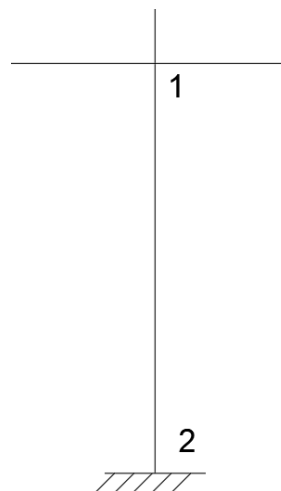
Pro návrh výztuže budou použity vnitřní síly ze zatěžovacího stavu MSU4, protože v tomto ZS se ve sloupu objevuje maximální normálová síla. Navržená výztuž sloupu bude pak posouzena pro všechny zbylé zatěžovací stavy. Zatěžovací stavy odpovídají stavům použitých pro návrh výztuže desky.

zatěžovací stav		N	My	Mz
MSU 1	horní	-1867,79	7,32	-15,28
	dolní		-1,95	10,75
MSU 2	horní	-1876,16	7,94	-16,03
	dolní		-2,39	11,17
MSU 3	horní	-1869,7	7,3	-15,32
	dolní		-1,94	10,79
MSU 4	horní	-1880,24	7,34	-15,49
	dolní		-1,95	10,9
MSU 5	horní	-1845,18	7,99	-15,69
	dolní		-2,45	10,93
MSU 6	horní	-1863,7	7,93	-15,81
	dolní		-2,4	11,02

Z analýzy konstrukce při působení větru bylo stanoveno, že sloupy budou uvažovány jako sloupy s posuvnými styčníky, výška sloupu $l = 3,25$ m



Obrázek 174 – Schéma sloupu S1



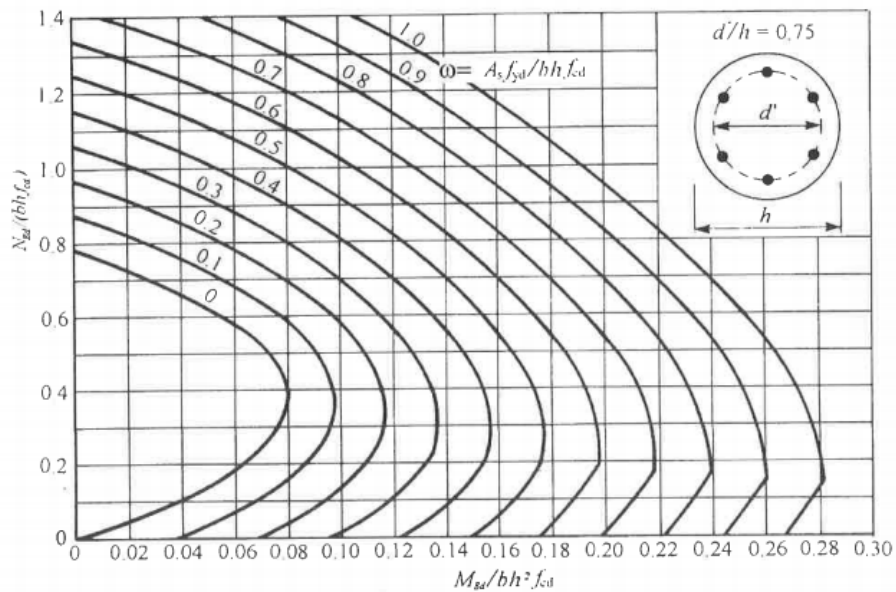
Obrázek 175 – Schéma sloupu S1

5.7.2. Předběžný návrh podélné výztuže sloupu

a) návrh výztuže pomocí nomogramů

$$\mu = \frac{M_{Ed,I}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{15,49}{0,3 * 0,3^2 * 20 * 10^3} = 0,029$$

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{1880,24}{0,0707 * 20 * 10^3} = 1,33$$

Nomogram 12.7

Obrázek 176 – Nomogram 12.7

$$\omega = 0,67$$

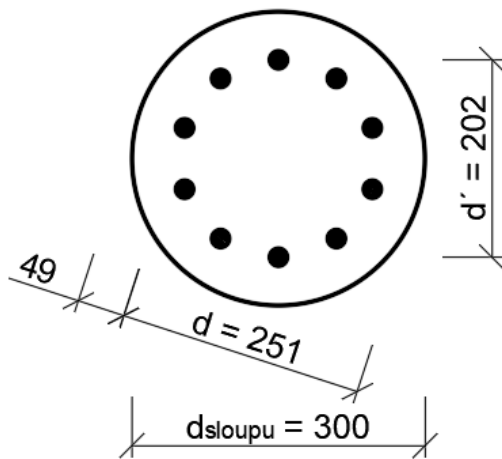
$$\omega = \mathbf{0,67}$$

- návrh výztuže

$$A_{s,rqd,1} = \frac{\omega * A_c * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,67 * 0,0707 * 10^6 * 20}{435} = 2177,88 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 10 Ø 18 mm

$$A_{s,1} = 2545 \text{ mm}^2$$



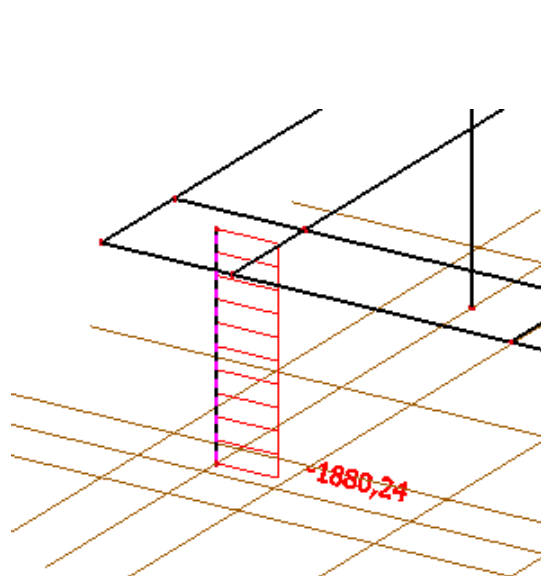
Obrázek 177 – Vyztužení sloupu S1

4.4.1. Štíhlost sloupu a účinky 2. řádu

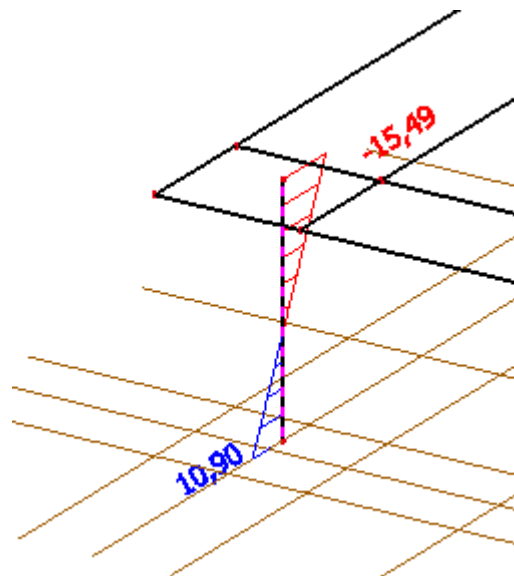
Zatížení sloupu

$N_{Ed, max} = 1880,24$ kN (v patě sloupu), 1871,73 kN (v hlavě sloupu)

$M_{z,Ed} = -15,49$ kNm v hlavě, 10,9 kNm v patě



Obrázek 178 – Normálová síla na sloupu S1



Obrázek 179 – Moment na sloupu S1

Štíhlost sloupu

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

stanovení l_0

- Jmenovitá ohybová tuhost EI

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

$$K_s = 1$$

$$K_c = \frac{k_1 * k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,22 * 0,399}{1 + 1,65} = 0,184$$

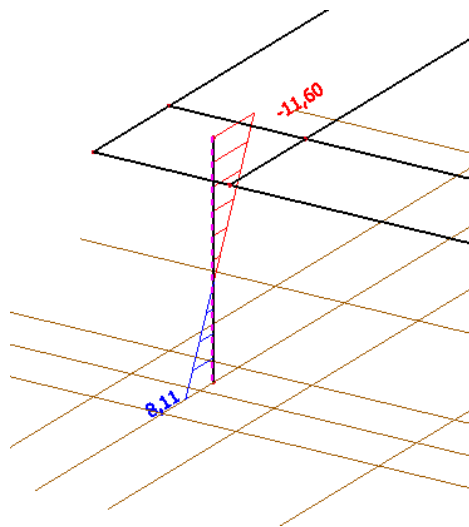
$$\text{Kde } k_1 = \sqrt{f_{ck} / 20} = \sqrt{30 / 20} = 1,22$$

$$k_2 = \eta * 0,3$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{1880,24}{0,0707 * 20 * 10^3} = 1,33$$

$$k_2 = 1,33 * 0,3 = 0,399$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty; t_0) * \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,2 * \frac{11,60}{15,49} = 1,65$$



Obrázek 180 – $M_{0E,qp}$ – Moment od kvazistálé kombinace

$$I_c = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,3^4}{64} = 3,976 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_s = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,202^4}{64} = 8,173 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$E_{cd} = E_{cm} / 1,2 = 33000 / 1,2 = 27500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$EI = 0,184 * 27500 * 3,976 * 10^{-4} + 1 * 200000 * 8,173 * 10^{-5} = 18,36 \text{ MNm}^2$$

Výpočet poměrných ohebností

$k_2 = 0$ - bezpečně bude uvažováno **0,1**

$$k_1 = \left(\frac{\Phi_1}{M} \right) * \left(\frac{EI}{l} \right) = \left(\frac{0,6}{15,49} \right) * \left(\frac{18,36}{3,25} \right) = 0,219$$

Φ_1 - natočení ve styčnicku 1 = 0,6 mrad

$$l_0 = l_{\max} \left[\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}} \right); \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) * \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right] =$$

$$\max \left[\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{0,219 * 0,1}{0,219 + 0,1}} \right); \left(1 + \frac{0,219}{1 + 0,219} \right) * \left(1 + \frac{0,1}{1 + 0,1} \right) \right] = \max [1,299; 1,287] = 1,299$$

$$l_0 = l_{\max} * 1,299 = 3,25 * 1,299 = 4,22 \text{ m}$$

Štíhlost

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{4,22}{0,075} = 56,27 \quad \text{kde poloměr setrvačnosti } i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi * d^4}{\pi * d^2 * 4}} = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$$

Stanovení limitní štíhlosti

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

- A – vliv dotvarování $A = 1/(1+0,2 * \varphi_{\text{ef}}) = 1/(1+0,2 * 1,65) = 0,75$

- B – vliv výztuže $B = \sqrt{1 + 2 * \omega} = \sqrt{1 + 2 * 0,78} = 1,6$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2545 * 435}{0,0707 * 20} = 0,78$$

- C – vliv zatížení $C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,704) = 2,404$

$$r_m = m_{01}/m_{02} = 10,9/-15,49 = -0,704$$

	$r_m = m_{01}/m_{02}$	
MSU1	10,75/-15,28 =	-0,704
MSU2	11,17/-16,03 =	-0,697
MSU3	10,79/-15,32 =	-0,704
MSU4	10,9/-15,49 =	-0,704
MSU5	10,93/15,69 =	-0,697
MSU6	11,02/-15,81 =	-0,697

$$- n = 1,33$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 * 0,75 * 1,6 * 2,4}{\sqrt{1,33}} = 49,94$$

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

56,27 > 49,94

Sloup bude posuzován jako ŠTÍHLÝ

Stanovení imperfekcí

- geometrické imperfekce
 $e_i = l_0/400$ (zjednodušeně) = $4,22/400 = 0,01055$ m

Stanovení momentů 2. řádu

- a) momenty bez imperfekcí

$$M_1 = \min (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \min (15,49; 10,9) = 10,9 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \max (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \max (15,49; 10,9) = 15,49 \text{ kNm}$$

- b) momenty 1. řádu s imperfekcemi

$$M_{01} = M_1 + N_{\text{Ed}} * e_i = 10,9 + 1880,24 * 0,01055 = 30,74 \text{ kNm} \quad 30,74 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_2 + N_{\text{Ed}} * e_i = 15,49 + 1880,24 * 0,01055 = 35,52 \text{ kNm} \quad -35,52 \text{ kNm}$$

- účinky 2. řádu – metoda založená na jmenovitých křivostech

$$K_r = (\eta_u - \eta) / (\eta_u - \eta_{\text{bal}}) = (1,78 - 1,33) / (1,78 - 0,4) = 0,326$$

$$\eta_u = 1 + \omega = 1 + 0,78$$

$$\eta_{\text{bal}} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{\text{ef}} = 1 + 0,125 * 1,65 = 1,206$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{\text{ck}}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{56,27}{150} = 0,125$$

stanovení křivosti

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} = 0,326 * 1,206 * 0,0193 = 0,0076$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{\text{yd}}}{0,45d} = \frac{\frac{f_{\text{yd}}}{E_s}}{0,45 * 0,251} = \frac{435}{0,45 * 0,251 * 200000} = 0,0193 \text{ m}^{-1}$$

Stanovení výstřednosti 2. řádu

$$e_2 = \frac{\frac{1}{r} * l_0^2}{c} = \frac{0,0076 * 4,22^2}{10} = 0,0135 \text{ m}$$

Návrhový moment – pro netužené konstrukce

$$M_{\text{Ed}} = M_{0\text{Ed}} + M_2 = M_{0e} + e_i * N_{\text{Ed}} + M_2 = 4,236 + 0,01055 * 1880,24 + 25,38 = 49,45 \text{ kNm}$$

$$M_{0e} = \max(0,6 * M_{01} + 0,4 * M_{02}; 0,4 M_{02}) = \max[0,6 * 30,74 + 0,4 * (-35,52); 0,4 * (-35,52)] = \max(4,236; -14,2) \text{ kNm}$$

$$M_2 = e_2 * N_{Ed} = 0,0135 * 1880,24 = 25,38 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže – pomocí nomogramů

$$\mu = \frac{M_{Ed,I}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{49,45}{0,3 * 0,3^2 * 20 * 10^3} = 0,092$$

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{1880,24}{0,0707 * 20 * 10^3} = 1,33 \quad \Rightarrow \omega = 0,9$$

$$A_{s,req} = \frac{\omega * A_c * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,9 * 0,0707 * 10^6 * 20}{435} = 2925 \text{ mm}^2 \quad \text{Návrh 8 } \varnothing 22 \text{ mm } (A_s = 3041 \text{ mm}^2)$$

Konstrukční zásady

$$- A_{s,min} = \max\left(0,1 * \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 A_c\right) = \max\left(0,1 * \frac{1880,24 * 10^3}{435}; 0,002 * 70700\right) = \max(432,24; 141,4) \text{ mm}^2$$

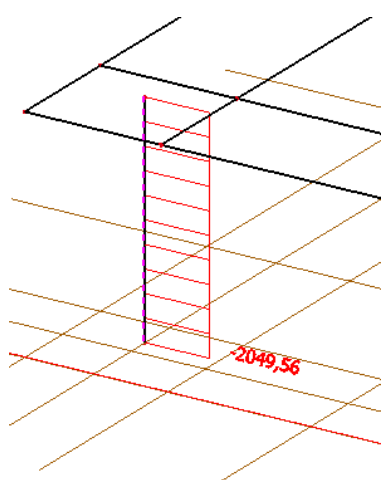
$$- A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 * 70700 = 2828 \text{ mm}^2$$

Není možné vyztužení sloupu s ohledem na konstrukční zásady. Bude zvětšen průřez sloupu na 350 mm

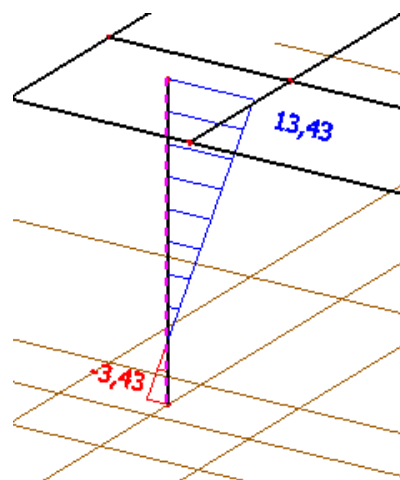
5.7.3. Úprava rozměru sloupu

Zvětšení průměru sloupu na 350 mm

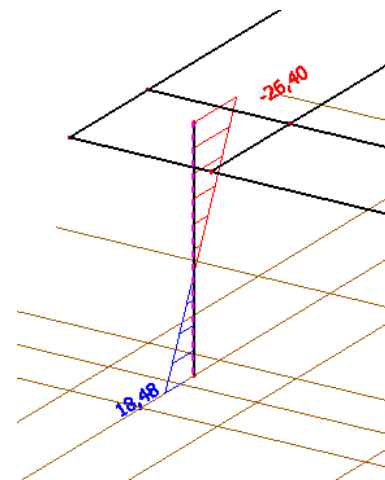
Vnitřní síly na sloupu – zatěžovací stav MSU var. 4



Obrázek 181 – N



Obrázek 182 - My



Obrázek 183 - Mz

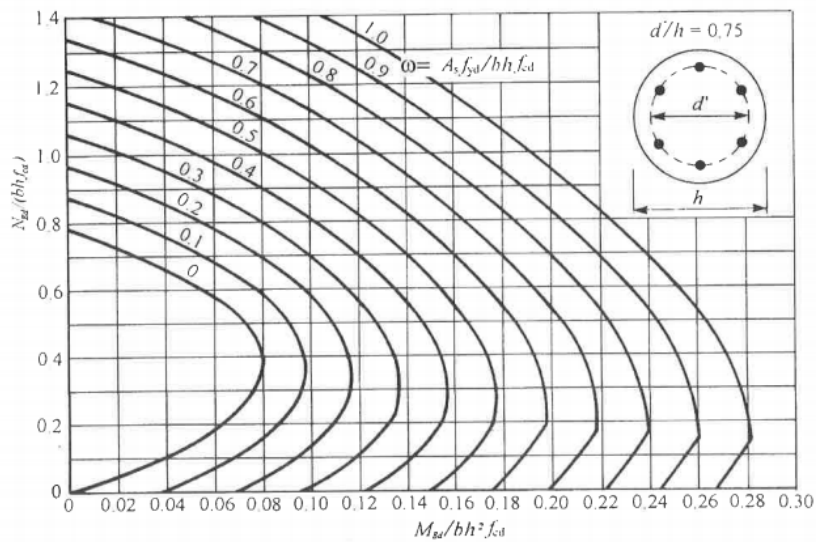
Předběžný návrh podélné výztuže sloupu

b) návrh výztuže pomocí nomogramů

$$\mu = \frac{M_{Ed,I}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{26,40}{0,35 * 0,35^2 * 20 * 10^3} = 0,0308$$

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2049,56}{0,096 * 20 * 10^3} = 1,07$$

Nomogram 12.7



Obrázek 184 – Nomogram 12.7

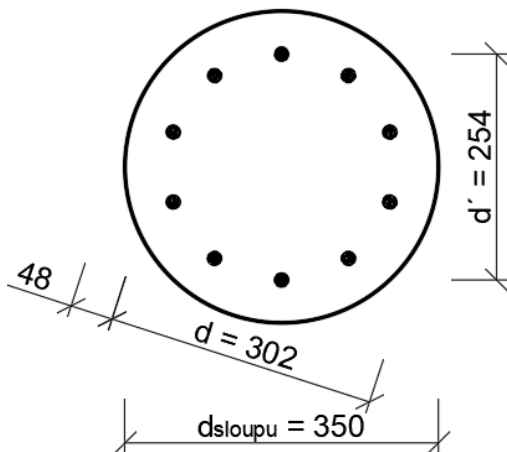
$\omega = 0,4$

- návrh výztuže

$$A_{s,rqd,1} = \frac{\omega * A_c * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,4 * 0,096 * 10^6 * 20}{435} = 1765,5 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 10 Ø 16 mm

$A_{s,1} = 2011 \text{ mm}^2$



Obrázek 185 – Vyztužení sloupu S1

Štíhlost sloupu

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

stanovení l_0

- Jmenovitá ohybová tuhost EI

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

$$K_s = 1$$

$$K_c = \frac{k_1 * k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,22 * 0,321}{1 + 1,65} = 0,148$$

$$\text{Kde } k_1 = \sqrt{f_{ck} / 20} = \sqrt{30 / 20} = 1,22$$

$$k_2 = \eta * 0,3 \quad (\lambda \text{ není určena})$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2049,56}{0,096 * 20 * 10^3} = 1,07$$

$$k_2 = 1,07 * 0,3 = 0,321$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty; t_0) * \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,2 * \frac{19,76}{26,40} = 1,65$$

$M_{0E,qp}$ – moment od
kvazistálé kombinace

$$I_c = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,35^4}{64} = 7,366 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_s = \frac{\pi * d'^4}{64} = \frac{\pi * 0,254^4}{64} = 2,04 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E_{cd} = E_{cm} / 1,2 = 33000 / 1,2 = 27500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$EI = 0,148 * 27500 * 7,366 * 10^{-4} + 1 * 200000 * 2,04 * 10^{-4} = \mathbf{43,8 \text{ MNm}^2}$$

Výpočet poměrných ohebností

$k_2 = 0$ - bezpečně bude uvažováno **0,1**

$$k_1 = \left(\frac{\Phi_1}{M} \right) * \left(\frac{EI}{l} \right) = \left(\frac{0,6}{26,40} \right) * \left(\frac{43,8}{3,25} \right) = 0,306$$

$$l_0 = l_{\max} \left[\left(\sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} \right); \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right] =$$

$$\max \left[\left(\sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0,306 \cdot 0,1}{0,306 + 0,1}} \right); \left(1 + \frac{0,306}{1 + 0,306} \right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{1 + 0,1} \right) \right] = \max [1,32; 1,34] = \mathbf{1,34}$$

$$l_0 = l_{\max} \cdot 1,45 = 3,25 \cdot 1,34 = \mathbf{4,355 \text{ m}}$$

Štíhlost

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{4,355}{0,0876} = 49,71 \quad \text{kde poloměr setrvačnosti } i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^4}{64}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = 87,6 \text{ mm} = 0,0876 \text{ m}$$

Stanovení limitní štíhlosti

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

- A – vliv dotvarování $A = 1/(1 + 0,2 \cdot \varphi_{\text{ef}}) = 1/(1 + 0,2 \cdot 1,65) = \mathbf{0,75}$

- B – vliv výztuže $B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,46} = 1,39$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2011 \cdot 435}{0,096 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,46$$

- C – vliv zatížení $C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,697) = 2,397$

$$r_m = m_{01}/m_{02} \text{ (pro kombinaci MSU2)} = -0,697$$

	$r_m = m_{01}/m_{02}$	
MSU1	10,75/-15,28 =	-0,704
MSU2	11,17/-16,03 =	-0,697
MSU3	10,79/-15,32 =	-0,704
MSU4	10,9/-15,49 =	-0,704
MSU5	10,93/15,69 =	-0,697
MSU6	11,02/-15,81 =	-0,697

- $\eta = 1,07$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot 0,75 \cdot 1,39 \cdot 2,397}{\sqrt{1,07}} = 48,32$$

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

49,71 > 48,32 **Sloup bude posuzován jako ŠTÍHLÝ**

Stanovení imperfekcí

- geometrické imperfekce
 $e_i = l_0/400$ (zjednodušeně) = $4,355/400 = 0,0109$ m

Stanovení momentů 2. řádu

c) momenty bez imperfekcí

$$M_1 = \min (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \min (26,40; 18,48) = 18,48 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \max (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \max (26,40; 18,48) = 26,40 \text{ kNm}$$

d) momenty 1. řádu s imperfekcemi

$$M_{01} = M_1 + N_{\text{Ed}} * e_i = 18,48 + 2049,56 * 0,0109 = 40,82 \text{ kNm} \quad 40,82 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_2 + N_{\text{Ed}} * e_i = 26,4 + 2049,56 * 0,0109 = 48,74 \text{ kNm} \quad -48,74 \text{ kNm}$$

- účinky 2. řádu – metoda založená na jmenovitých křivostech

$$K_r = (\eta_u - \eta) / (\eta_u - \eta_{\text{bal}}) = (1,46 - 1,07) / (1,46 - 0,4) = 0,37$$

$$\eta_u = 1 + \omega = 1 + 0,46$$

$$\eta_{\text{bal}} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{\text{ef}} = 1 + 0,17 * 1,65 = 1,28$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{49,71}{150} = 0,17$$

stanovení křivosti

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} = 0,37 * 1,28 * 0,016 = 0,0076$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 * 0,302} = \frac{435}{200000 * 0,45 * 0,302} = 0,016 \text{ m}^{-1}$$

Stanovení výstřednosti 2. řádu

$$e_2 = \frac{\frac{1}{r} * l_0^2}{c} = \frac{0,0076 * 4,355^2}{10} = 0,014 \text{ m}$$

Návrhový moment $M_{\text{Ed},z}$ – pro netužené konstrukce

$$M_{\text{Ed}} = M_{0\text{Ed}} + M_2 = M_{0e} + e_i * N_{\text{Ed}} + M_2 = 4,996 + 0,0109 * 2049,56 + 28,69 = 56,03 \text{ kNm}$$

$$M_{0e} = \max(0,6 * M_{01} + 0,4 * M_{02}; 0,4 M_{02}) = \max[(0,6 * 40,82 + 0,4 * (-48,74)); 0,4 * (-48,74)] = \max(4,996; -19,5) \text{ kNm}$$

$$M_2 = e_2 * N_{\text{Ed}} = 0,014 * 2049,56 = 28,69 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže – pomocí nomogramů

$$\mu = \frac{M_{\text{Ed},I}}{b * h^2 * f_{cd}} = \frac{53,03}{0,35 * 0,35^2 * 20 * 10^3} = 0,062$$

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2049,56}{0,096 * 20 * 10^3} = 1,07 \quad \Rightarrow \omega = 0,5$$

$$A_{s,req} = \frac{\omega * A_c * f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,5 * 0,096 * 10^6 * 20}{435} = 2206,9 \text{ mm}^2 \quad \text{Návrh 10 } \varnothing 20 \text{ mm (} A_s = 3142 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Konstrukční zásady

- $A_{s,min} = \max(0,1 * \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 A_c) = \max(0,1 * \frac{2049,56 * 10^3}{435}; 0,002 * 96000) = \max(471,16; 192) \text{ mm}^2$
- $A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 * 96000 = 3840 \text{ mm}^2$

Konstrukční zásady budou splněny.

⇒ Výpočet excentricity 2. řádu pro zvětšenou plochu výztuže oproti původnímu návrhu

- účinky 2. řádu – metoda založená na jmenovitých křivostech

$$K_r = (\eta_u - \eta) / (\eta_u - \eta_{bal}) = (1,71 - 1,07) / (1,71 - 0,4) = 0,49$$

$$\eta_u = 1 + \omega = 1 + 0,71$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{3142 * 435}{96000 * 20} = 0,71$$

$$\eta_{bal} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{ef} = 1 + 0,17 * 1,65 = 1,28$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{49,71}{150} = 0,17$$

stanovení křivosti

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} = 0,49 * 1,28 * 0,016 = 0,01$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 * 0,300} = \frac{\frac{435}{200000}}{0,45 * 0,300} = 0,016 \text{ m}^{-1}$$

Stanovení výstřednosti 2. řádu

$$e_2 = \frac{\frac{1}{r} * I_0^2}{c} = \frac{0,01 * 4,355^2}{10} = 0,019 \text{ m}$$

Návrhový moment $M_{Ed,z}$ – pro netužené konstrukce

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0e} + e_1 * N_{Ed} + M_2 = 4,996 + 0,0109 * 2049,56 + 38,94 = 66,28 \text{ kNm}$$

$$M_{0e} = \max(0,6 * M_{01} + 0,4 * M_{02}; 0,4 M_{02}) = \max[(0,6 * 40,82 + 0,4 * (-48,74)); 0,4 * (-48,74)] = \max(4,996; -19,5) \text{ kNm}$$

$$M_2 = e_2 * N_{Ed} = 0,019 * 2049,56 = 38,94 \text{ kNm}$$

Návrhový moment (2. řád) – M_y

a) momenty bez imperfekcí

$$M_1 = \min (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \min (13,43; 3,43) = 3,43 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \max (M_{\text{top}}; M_{\text{bot}}) = \max (13,43; 3,43) = 13,43 \text{ kNm}$$

b) momenty 1. řádu s imperfekcemi

$$M_{01} = M_1 + N_{Ed} * e_i = 3,43 + 2049,56 * 0,0109 = 25,77 \text{ kNm} \quad -25,77 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_2 + N_{Ed} * e_i = 13,43 + 2049,56 * 0,0109 = 35,77 \text{ kNm} \quad 35,77 \text{ kNm}$$

Návrhový moment $M_{Ed,y}$ – pro netužené konstrukce

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0e} + e_i * N_{Ed} + M_2 = 14,308 + 0,0109 * 2049,56 + 38,94 = \mathbf{75,6 \text{ kNm}}$$

$$M_{0e} = \max(0,6 * M_{01} + 0,4 * M_{02}; 0,4 * M_{02}) = \max[0,6 * (-25,77) + 0,4 * 35,77; 0,4 * 35,77] = \max(-1,154; \mathbf{14,308}) \text{ kNm}$$

$$M_2 = e_2 * N_{Ed} = 0,019 * 2049,56 = \mathbf{38,94 \text{ kNm}}$$

5.7.4. Posouzení sloupu pomocí interakčního diagramu

$$N_{Rd} = N_{Ed} = 2049,56 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,z} = 105 \text{ kNm} = M_{Rd,y}$$

$$M_{Ed,y} = 75,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 66,28 \text{ kNm}$$

Pro posouzení sloupu byl použit program na interakční diagram pro kruhový sloup [16].

ČSN EN 1992-1-1 - INTERAKČNÍ DIAGRAM KRUHOVÝ PRŮŘEZ

Vstupní parametry:

materiál

BETON

C30/37

charakteristická pevnost betonu v tlaku $f_{ck} = 30$ MPa
 sečnový modul pružnosti betonu $E_{cm} = 33$ GPa
 střední char. pevnost betonu v tahu $f_{ctm} = 2,9$ MPa
 výpočtová pevnost betonu v tlaku $f_{cd} = 20$ MPa
 mezní poměrné přetvoření betonu $\epsilon_{cu3} = 3,5$ ‰
 $\epsilon_{cs} = 1,75$ ‰
 $\xi_{bal,1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = 0,62$

OCEĽ

R 10 505

charakteristická hodnota meze kluzu $f_{yk} = 500$ MPa
 střední hodnota modulu pružnosti výztuže $E_s = 200$ GPa
 výpočtová hodnota meze kluzu $f_{yd} = 434,78$ MPa
 poměrné přetvoření oceli $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 2,17$ ‰
 $\xi_{bal,2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} - \epsilon_{yd}} = 2,64$

sloup

průměr průřezu $d = 350$ mm
 poloměr průřezu $r = d/2 = 175$ mm

výztuž

krytí výztuže betonem $c = 40$ mm
 průměr prutu výztuže $\Phi = 20$ mm
 počet prutů $n = 10$
 plocha jednoho prutu $A_{s,\Phi} = 314$ mm²
 vzdálenost mezi podélnou výztuží $s = 2 \cdot \pi \cdot (r - c - \Phi/2) / n = 79$ mm

geometrie průřezu

úhel výseče svírající dva pruty $\alpha = 36^\circ$
 $\alpha' = 0,628$ rad
 vzdálenost prutu od středu průřezu $r' = 125$ mm

a) 1. řada výztuže

počet prutů v 1. řadě $n = 1$
 plocha prutů v 1. řadě $A_{s,1} = n \cdot A_{s,\Phi} = 314$ mm²
 vzdálenost 1. řady od středu $z_1 = r' \cdot \cos(\alpha) = 125$ mm
 vzdálenost 1. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{1'} = r - z_{1'} = 50$ mm
 vzdálenost 1. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_1 = d - (r - z_1) = 300$ mm

b) 3. řada výztuže

počet prutů ve 3. řadě $n = 2$
 plocha prutů ve 3. řadě $A_{s,3} = n \cdot A_{s,\Phi} = 628$ mm²
 vzdálenost 3. řady od středu $z_3 = r' \cdot \cos(2\alpha) = 38,6$ mm
 vzdálenost 3. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{3'} = r - z_{3'} = 136,4$ mm
 vzdálenost 3. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_3 = d - (r - z_3) = 213,6$ mm

b) 2. řada výztuže

počet prutů v 2. řadě $n = 2$
 plocha prutů v 2. řadě $A_{s,2} = n \cdot A_{s,\Phi} = 628$ mm²
 vzdálenost 2. řady od středu $z_2 = r' \cdot \cos(\alpha) = 101,1$ mm
 vzdálenost 2. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{2'} = r - z_{2'} = 73,9$ mm
 vzdálenost 2. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_2 = d - (r - z_2) = 276,1$ mm

b) 4. řada výztuže

počet prutů ve 4. řadě $n = 0$
 plocha prutů ve 4. řadě $A_{s,4} = n \cdot A_{s,\Phi} = 0$ mm²
 vzdálenost 4. řady od středu $z_4 = r' \cdot \cos(3\alpha) = 0,0$ mm
 vzdálenost 4. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{4'} = r - z_{4'} = 0,0$ mm
 vzdálenost 4. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_4 = d - (r - z_4) = 175,0$ mm

Namáhání průřezu:

$N_{Ed} = -2050$ kNm

$M_{Ed} = 66,28$ kN

Body interakčního diagramu:

BOD	0	1	2	3	4	5	4'	3'	2'	1'
N_{Rd} [kN]	-3180,9	-2433,2	-1114,0	0,0	1166,1	1365,9	1166,1	0,0	-1114,0	-2433,2
M_{Rd} [kNm]	0,0	85,0	161,1	138,4	87,0	0,0	-87,0	-138,4	-161,1	-85,0

BOD 3

$x_{volené} = 110,4$ mm

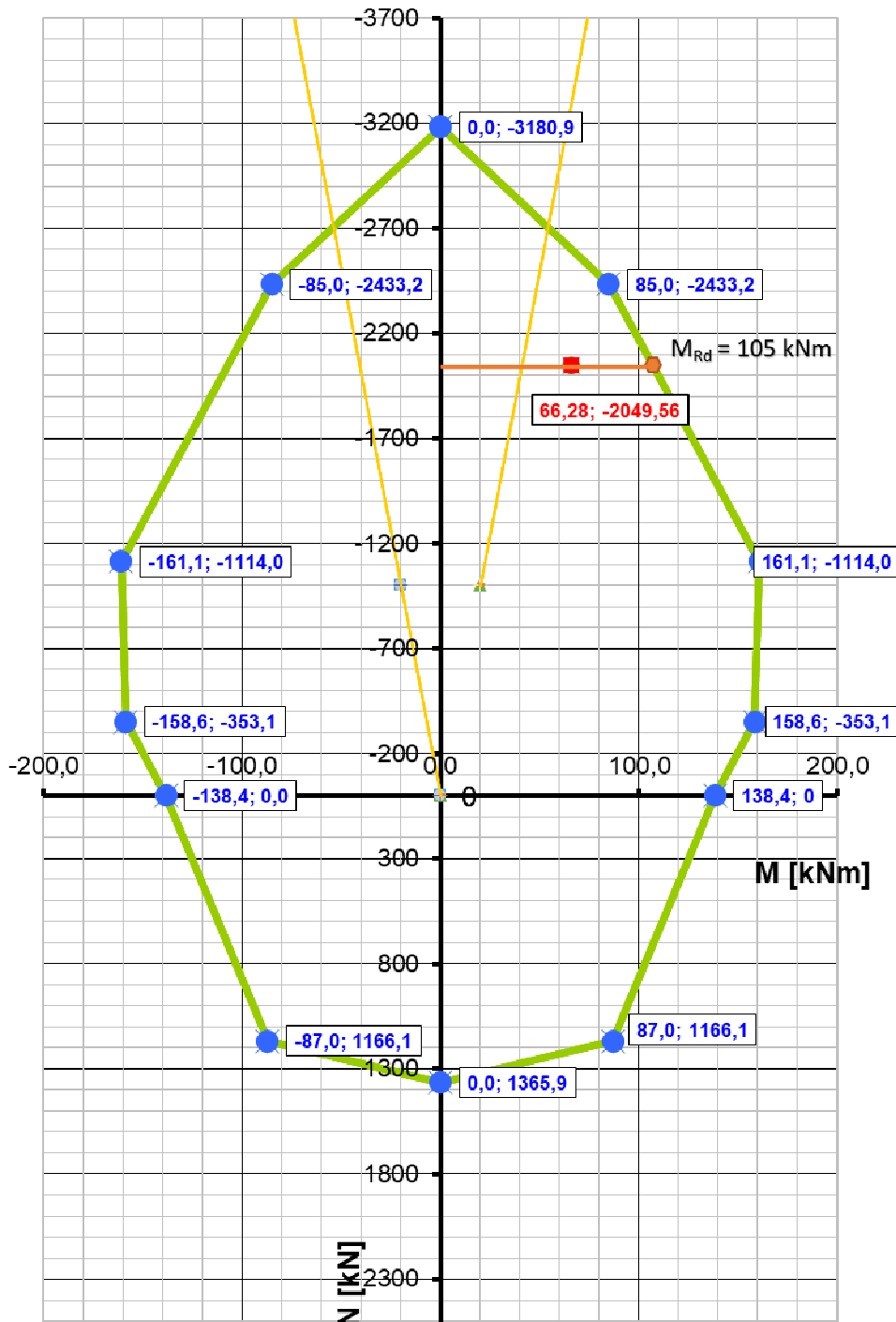
$x_{podm.r.} = 110,4$ mm

Zásady vyztužení:

Podélná výztuž:

$A_{s,min}$ $A_{s,min} = \max \{ 0,1 \cdot N_{ed} / f_{yd}; 0,002 \cdot b \cdot d \} = \{ 471 \text{ mm}^2; 192 \text{ mm}^2 \} = 471 \text{ mm}^2$
 $A_{s,prov} = 3142 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 471 \text{ mm}^2$ **vyhovuje**
 $A_{s,max}$ $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 3848 \text{ mm}^2 > A_{s,prov} = 3142 \text{ mm}^2$ **vyhovuje**
 Φ_{min} $\Phi_{min} = 10$ mm $< \Phi = 20$ mm **vyhovuje**
 s_{max} $s_{max} = 400$ mm $> s = 79$ mm **vyhovuje**
 s_{min} $s_{min} = \max \{ k_1 \cdot \Phi; k_2 \cdot \Phi_{zn}; 20 \} = \{ 20 \text{ mm}; 75 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 75 \text{ mm}^2$
 $s_{min} = 75$ mm $< s = 79$ mm **vyhovuje**
 Trmínky:
 Φ_{min} $\Phi_{min} = 6$ mm $< \Phi_{tr} = 8$ mm **vyhovuje**
 s_{max} $s_{max} = \max \{ 15 \cdot \Phi; d; 300 \} = \{ 300 \text{ mm}; 350 \text{ mm}; 300 \text{ mm} \} = 350 \text{ mm}^2$
 $s_{max} = 350$ mm $> s = 150$ mm **vyhovuje**

INTERAKČNÍ DIAGRAM



$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^\alpha \leq 1,0$$

souč. α závisí na poměru $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd,0}} = \frac{2049,56}{3176,8} = 0,65 \Rightarrow \alpha=1,45$

$$N_{Rd,0} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 0,096 \cdot 10^6 \cdot 20 + 3142 \cdot 400 = 3176,8 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\left(\frac{75,6}{105}\right)^{1,45} + \left(\frac{66,28}{105}\right)^{1,45} = 1,13 > 1,0$$

NEVYHOVUJE

Bude upraveno vyztužení sloupu

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * ((0,35^2 * \pi) / 4) = 3848,45 \text{ mm}^2$$

Návrh vyztužení 10Ø22 mm

$$A_s = 3801 \text{ mm}^2$$

Bude zopakován výpočet výstřednosti 2. řádu pro nové vyztužení sloupu**Stanovení momentů 2. řádu**

e) momenty bez imperfekcí

$$M_1 = \min (M_{top}; M_{bot}) = \min (26,40; 18,48) = 18,48 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \max (M_{top}; M_{bot}) = \max (26,40; 18,48) = 26,40 \text{ kNm}$$

f) momenty 1. řádu s imperfekcemi

$$M_{01} = M_1 + N_{Ed} * e_i = 18,48 + 2049,56 * 0,0109 = 40,82 \text{ kNm}$$

$$40,82 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_2 + N_{Ed} * e_i = 26,4 + 2049,56 * 0,0109 = 48,74 \text{ kNm}$$

$$-48,74 \text{ kNm}$$

- účinky 2. řádu – metoda založená na jmenovitých křivostech

$$K_r = (\eta_u - \eta) / (\eta_u - \eta_{bal}) = (1,86 - 1,07) / (1,86 - 0,4) = 0,54$$

$$\eta_u = 1 + \omega = 1 + 0,86$$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{3801 * 435}{96000 * 20} = 0,86$$

$$\eta_{bal} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{ef} = 1 + 0,17 * 1,65 = 1,28$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{49,71}{150} = 0,17$$

stanovení křivosti

$$\frac{1}{r} = K_r * K_\varphi * \frac{1}{r_0} = 0,54 * 1,28 * 0,016 = 0,011$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45d} = \frac{\frac{f_{yd}}{E_s}}{0,45 * 0,299} = \frac{435}{200000} = 0,016 \text{ m}^{-1}$$

Stanovení výstřednosti 2. řádu

$$e_2 = \frac{\frac{1}{r} * l_0^2}{c} = \frac{0,011 * 4,355^2}{10} = 0,021 \text{ m}$$

Návrhový moment $M_{Ed,z}$ – pro netužené konstrukce

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0e} + e_i * N_{Ed} + M_2 = 4,996 + 0,0109 * 2049,56 + 43,04 = 70,38 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M}_{0e} = \max(0,6 \cdot M_{01} + 0,4 \cdot M_{02}; 0,4 M_{02}) = \max[0,6 \cdot 40,82 + 0,4 \cdot (-48,74); 0,4 \cdot (-48,74)] = \max(\mathbf{4,996}; -19,496) \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M}_2 = e_2 \cdot N_{Ed} = 0,021 \cdot 2049,56 = \mathbf{43,04} \text{ kNm}$$

Návrhový moment (2. řád) – My

c) momenty bez imperfekcí

$$M_1 = \min(M_{top}; M_{bot}) = \min(13,43; 3,43) = 3,43 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \max(M_{top}; M_{bot}) = \max(13,43; 3,43) = 13,43 \text{ kNm}$$

d) momenty 1. řádu s imperfekcemi

$$M_{01} = M_1 + N_{Ed} \cdot e_i = 3,43 + 2049,56 \cdot 0,0109 = 25,77 \text{ kNm} \quad -25,77 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_2 + N_{Ed} \cdot e_i = 13,43 + 2049,56 \cdot 0,0109 = 35,77 \text{ kNm} \quad 35,77 \text{ kNm}$$

Návrhový moment $M_{Ed,y}$ – pro netužené konstrukce

$$\mathbf{M}_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = M_{0e} + e_i \cdot N_{Ed} + M_2 = 14,308 + 0,0109 \cdot 2049,56 + 43,04 = \mathbf{79,69} \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M}_{0e} = \max(0,6 \cdot M_{01} + 0,4 \cdot M_{02}; 0,4 M_{02}) = \max[0,6 \cdot (-25,77) + 0,4 \cdot 35,77; 0,4 \cdot 35,77] = \max(-1,154; \mathbf{14,308}) \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M}_2 = e_2 \cdot N_{Ed} = 0,021 \cdot 2049,56 = \mathbf{43,04} \text{ kNm}$$

Posouzení sloupu pomocí interakčního diagramu

$$N_{Rd} = N_{Ed} = 2049,56 \text{ kN}$$

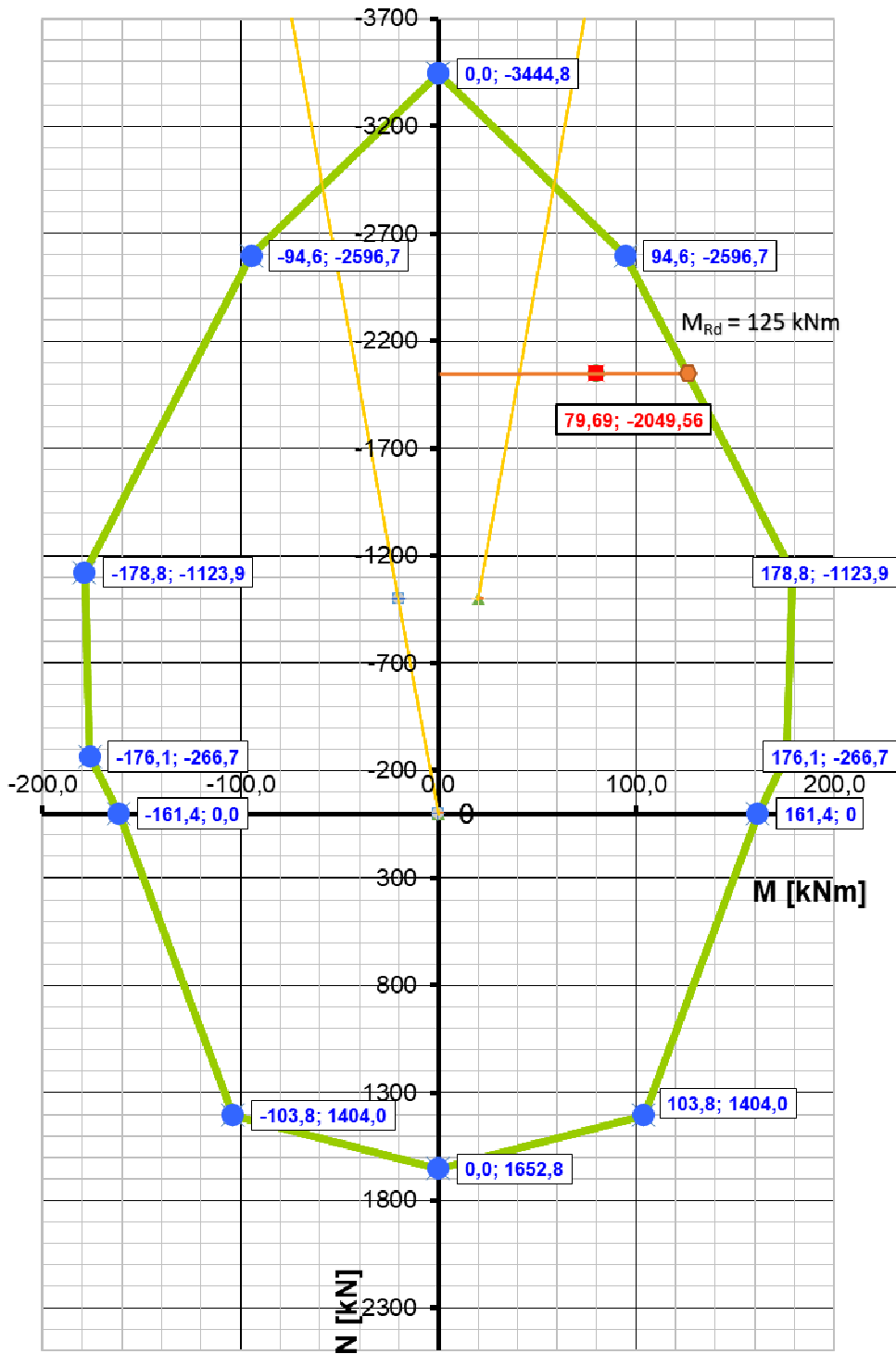
$$M_{Rd,z} = 125 \text{ kNm} = M_{Rd,y} \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$M_{Ed,y} = 79,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 70,38 \text{ kNm}$$

Pro posouzení sloupu byl použit program na interakční diagram pro kruhový sloup [].

INTERAKČNÍ DIAGRAM



ČSN EN 1992-1-1 - INTERAKČNÍ DIAGRAM KRUHOVÝ PRŮŘEZ

Vstupní parametry:

materiál

BETON

C30/37

charakteristická pevnost betonu v tlaku $f_{ck} = 30$ MPa
 sečnový modul pružnosti betonu $E_{cm} = 33$ GPa
 střední char. pevnost betonu v tahu $f_{ctm} = 2,9$ MPa
 výpočtová pevnost betonu v tlaku $f_{cd} = 20$ MPa
 mezní poměrné přetvoření betonu $\epsilon_{cu3} = 3,5$ ‰
 $\epsilon_{cs} = 1,75$ ‰
 $\xi_{bal,1} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{yd}} = 0,62$

OCEĽ

R 10 50S

charakteristická hodnota meze kluzu $f_{yk} = 500$ MPa
 střední hodnota modulu pružnosti výztuže $E_s = 200$ GPa
 výpočtová hodnota meze kluzu $f_{yd} = 434,78$ MPa
 poměrné přetvoření oceli $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 2,17$ ‰
 $\xi_{bal,2} = \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} - \epsilon_{yd}} = 2,64$

sloup

průměr průřezu $d = 350$ mm
 poloměr průřezu $r = d/2 = 175$ mm

výztuž

krytí výztuže betonem $c = 40$ mm
 průměr prutu výztuže $\Phi = 22$ mm
 počet prutů $n = 10$
 plocha jednoho prutu $A_{s,\Phi} = 380$ mm²
 vzdálenost mezi podélnou výztuží $s = 2 \cdot \pi \cdot (r - c - \Phi/2) / n = 78$ mm

geometrie průřezu

úhel výseče svírající dva pruty $\alpha = 36^\circ$
 $\alpha' = 0,628$ rad

vzdálenost prutu od středu průřezu $r' = 124$ mm

a) 1. řada výztuže

počet prutů v 1. řadě $n = 1$
 plocha prutů v 1. řadě $A_{s,1} = n \cdot A_{s,\Phi} = 380$ mm²
 vzdálenost 1. řady od středu $z_1 = r' \cdot \cos(\alpha) = 124$ mm
 vzdálenost 1. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{1'} = r - z_{1'} = 51$ mm
 vzdálenost 1. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_1 = d - (r - z_1) = 299$ mm

b) 3. řada výztuže

počet prutů ve 3. řadě $n = 2$
 plocha prutů ve 3. řadě $A_{s,3} = n \cdot A_{s,\Phi} = 760$ mm²
 vzdálenost 3. řady od středu $z_3 = r' \cdot \cos(2\alpha) = 38,3$ mm
 vzdálenost 3. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{3'} = r - z_{3'} = 136,7$ mm
 vzdálenost 3. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_3 = d - (r - z_3) = 213,3$ mm

b) 2. řada výztuže

počet prutů v 2. řadě $n = 2$
 plocha prutů v 2. řadě $A_{s,2} = n \cdot A_{s,\Phi} = 760$ mm²
 vzdálenost 2. řady od středu $z_2 = r' \cdot \cos(\alpha) = 100,3$ mm
 vzdálenost 2. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{2'} = r - z_{2'} = 74,7$ mm
 vzdálenost 2. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_2 = d - (r - z_2) = 275,3$ mm

b) 4. řada výztuže

počet prutů ve 4. řadě $n = 0$
 plocha prutů ve 4. řadě $A_{s,4} = n \cdot A_{s,\Phi} = 0$ mm²
 vzdálenost 4. řady od středu $z_4 = r' \cdot \cos(3\alpha) = 0,0$ mm
 vzdálenost 4. řady od horní hrany (horní výztuž) $y_{4'} = r - z_{4'} = 0,0$ mm
 vzdálenost 4. řady od horní hrany (spodní výztuž) $y_4 = d - (r - z_4) = 175,0$ mm

Namáhání průřezu:

$N_{Ed} = -2050$ kNm

$M_{Ed} = 79,69$ kNm

Body interakčního diagramu:

BOD	0	1	2	3	4	5	4'	3'	2'	1'
N_{Rd} [kN]	-3444,8	-2596,7	-1123,9	0,0	1404,0	1652,8	1404,0	0,0	-1123,9	-2596,7
M_{Rd} [kNm]	0,0	94,6	178,8	161,4	103,8	0,0	-103,8	-161,4	-178,8	-94,6

BOD 3

$x_{volené} = 117,6$ mm

$x_{podm.r.} = 117,6$ mm

Zásady vyztužení:

Podélná výztuž:

$A_{s,min}$ $A_{s,min} = \max \{ 0,1 \cdot N_{ed} / f_{yd}; 0,002 \cdot b \cdot d \} = \{ 471 \text{ mm}^2; 192 \text{ mm}^2 \} = 471 \text{ mm}^2$
 $A_{s,prov} = 3801 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 471 \text{ mm}^2$ **vyhovuje**
 $A_{s,max}$ $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 3848 \text{ mm}^2 > A_{s,prov} = 3801 \text{ mm}^2$ **vyhovuje**
 Φ_{min} $\Phi_{min} = 10 \text{ mm} < \Phi = 22 \text{ mm}$ **vyhovuje**
 s_{max} $s_{max} = 400 \text{ mm} > s = 78 \text{ mm}$ **vyhovuje**
 s_{min} $s_{min} = \max \{ k_1 \cdot \Phi; k_2 \cdot \Phi_{zn}; 20 \} = \{ 22 \text{ mm}; 75 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 75 \text{ mm}^2$
 $s_{min} = 75 \text{ mm} < s = 78 \text{ mm}$ **vyhovuje**
Trmínky:
 Φ_{min} $\Phi_{min} = 6 \text{ mm} < \Phi_{tr} = 8 \text{ mm}$ **vyhovuje**
 s_{max} $s_{max} = \max \{ 15 \cdot \Phi; d; 300 \} = \{ 330 \text{ mm}; 350 \text{ mm}; 300 \text{ mm} \} = 350 \text{ mm}^2$
 $s_{max} = 350 \text{ mm} > s = 150 \text{ mm}$ **vyhovuje**

Posouzení pro zatěžovací stav MSU4:

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^\alpha \leq 1,0 \quad \text{souč. } \alpha \text{ závisí na poměru } \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,0}} = \frac{2049,56}{3440} = 0,6 \Rightarrow \alpha=1,417$$

$$N_{Rd,0} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 0,096 \cdot 10^6 \cdot 20 + 3801 \cdot 400 = 3440 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{79,69}{125}\right)^{1,417} + \left(\frac{70,38}{125}\right)^{1,417} = 0,97 > 1,0$$

VYHOVUJE

Momenty 2. řádu všech kombinací

zatěžovací stav	N	M _y	M _z	M _{01,02,y}	M _{01,02,z}	M _{0e,y}	M _{0e,z}	M ₂	M _{Ed,y}	M _{Ed,z}	
MSU 1	horní	-2036	13,39	-26,04	35,56	-48,21	14,22	4,96	42,76	79,15	69,88
	dolní		-3,43	18,23		40,40					
MSU 2	horní	-	14,46	-27,29	36,73	-49,56	14,69	4,88	42,95	79,91	70,09
	dolní	2045,2	-4,2	18,9	-26,47	41,17					
MSU 3	horní	-	13,37	-26,11	35,56	-48,30	14,22	4,97	42,80	79,21	69,96
	dolní	2038,1	-3,42	18,29	-25,61	40,48					
MSU 4	horní	-	13,43	-26,4	35,74	-48,71	14,30	4,99	43,04	79,65	70,35
	dolní	2049,6	-3,43	18,48	-25,74	40,79					
MSU 5	horní	-	14,51	-26,72	36,41	-48,62	14,56	4,80	42,24	78,70	68,94
	dolní	2011,4	-4,28	18,513	-26,18	40,41					
MSU 6	horní	-	14,42	-26,93	36,54	-49,05	14,62	4,842	42,66	79,40	69,62
	dolní	2031,6	-4,2	18,65	-26,32	40,77					

Posouzení všech kombinací – 3D interakční diagram

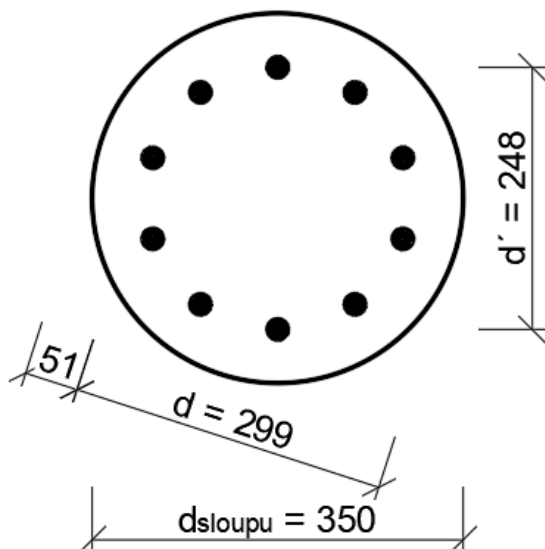
Ověření interakčního diagramu			
N _{Ed} /N _{Rd,0}	α	Σ(M _{Ed} /M _{Rd}) ^α	< 1,0
0,59185756	1,41	0,965402883	OK
0,59452035	1,4121	0,973391131	OK
0,59246512	1,4104	0,966542273	OK
0,59580233	1,413	0,972843841	OK
0,58471512	1,404	0,95593929	OK
0,59057558	1,409	0,966001114	OK

Návrh výztuže sloupu vyhovuje ve všech kombinacích zatížení.

5.7.5. Výpočet štíhlosti pro vyhovující sloup

Návrh výztužení 10 ϕ 22 mm

$$A_s = 3801 \text{ mm}^2$$



Obrázek 186 – Vyztužení sloupu

Štíhlost sloupu

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

stanovení l_0

- Jmenovitá ohybová tuhost EI

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

$$K_s = 1$$

$$K_c = \frac{k_1 * k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,22 * 0,321}{1 + 1,65} = 0,148$$

$$\text{Kde } k_1 = \sqrt{f_{ck} / 20} = \sqrt{30 / 20} = 1,22$$

$$k_2 = \eta * 0,3 \quad (\lambda \text{ není určena})$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} = \frac{2049,56}{0,096 * 20 * 10^3} = 1,07$$

$$k_2 = 1,07 * 0,3 = 0,321$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty; t_0) * \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,2 * \frac{19,76}{26,40} = 1,65$$

$M_{0E,qp}$ – moment od

kvazistálé kombinace

$$I_c = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,35^4}{64} = 7,366 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_s = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,248^4}{64} = 1,857 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E_{cd} = E_{cm}/1,2 = 33000/1,2 = 27500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$EI = 0,148 * 27500 * 7,366 * 10^{-4} + 1 * 200000 * 1,857 * 10^{-4} = \mathbf{40,14 \text{ MNm}^2}$$

Výpočet poměrných ohebností

$k_2 = 0$ - bezpečně bude uvažováno **0,1**

$$k_1 = \left(\frac{\Phi_1}{M} \right) * \left(\frac{EI}{l} \right) = \left(\frac{0,6}{26,40} \right) * \left(\frac{40,14}{3,25} \right) = 0,281$$

$$l_0 = \quad = \quad l_{\max} \quad \left[\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}} \right); \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) * \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right] =$$

$$\max \left[\left(\sqrt{1 + 10 * \frac{0,281 * 0,1}{0,281 + 0,1}} \right); \left(1 + \frac{0,281}{1 + 0,281} \right) * \left(1 + \frac{0,1}{1 + 0,1} \right) \right] = \max[1,32; 1,33] = \mathbf{1,33}$$

$$l_0 = l_{\max} * 1,33 = 3,25 * 1,33 = \mathbf{4,32 \text{ m}}$$

Štíhlost

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{4,32}{0,0876} = 49,32 \quad \text{kde poloměr setrvačnosti } i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi * d^4}{64}}{\frac{\pi * d^2}{4}}} = 87,6 \text{ mm} = 0,0876 \text{ m}$$

Stanovení limitní štíhlosti

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

- A – vliv dotvarování $A = 1/(1+0,2 * \varphi_{ef}) = 1/(1+0,2 * 1,65) = \mathbf{0,75}$

- B – vliv výztuže $B = \sqrt{1 + 2 * \omega} = \sqrt{1 + 2 * 0,86} = 1,65$

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{3801 * 435}{0,096 * 10^6 * 20} = 0,86$$

- C – vliv zatížení $C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,69) = 2,39$

$r_m = m_{01}/m_{02}$ (pro kombinaci MSU2) = -0,69

	$r_m = m_{01}/m_{02}$	
MSU1	18,23/-26,04 =	-0,7
MSU2	18,9/-27,29 =	-0,69
MSU3	18,29/-26,11 =	-0,7
MSU4	18,48/-26,4 =	-0,7
MSU5	18,51/-26,72 =	-0,69
MSU6	18,65/-26,93 =	-0,69

- $\eta = 1,07$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 * 0,75 * 1,65 * 2,39}{\sqrt{1,07}} = 57,18$$

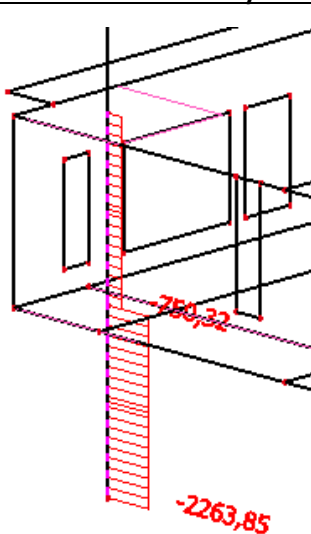
$\lambda < \lambda_{lim}$

49,32 > 57,18 Sloup je MASIVNÍ

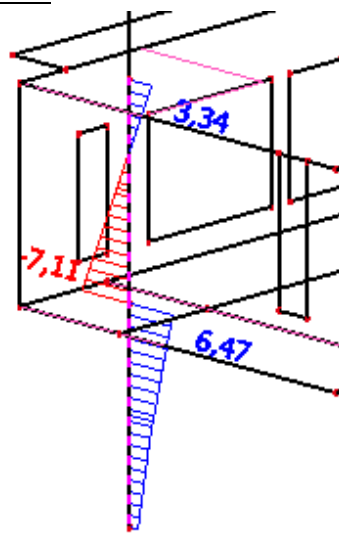
Sloup je masivní, ale byl posuzován i se zahrnutím 2. řádu a vyhověl. Konečný návrh průřezu sloupu S1 je 350 mm.

Původní konstrukce se v předchozí kapitole upravila a sloup S1 se dle nového modelu nachází i ve vyšších podlažích, ne jen v 1NP. Došlo tedy ke zvětšení vnitřních sil. Vzhledem k tomu, že v návrhu sloupu byly započítány účinky 2. řádu i když se jedná o masivní sloup, dalo by se říci, že při návrhu vznikla určitá rezerva. Tento návrh bude tedy zachován.

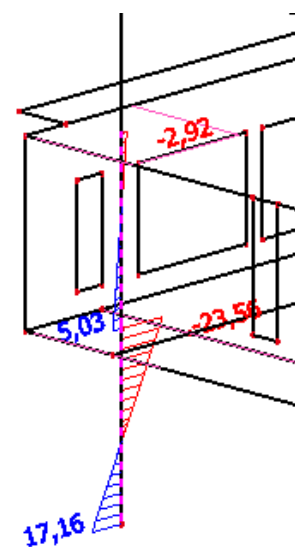
Nově vzniklé vnitřní síly na sloupu S1



Obrázek 187 – Ned



Obrázek 188 – Med,y



Obrázek 189 – ME,d,z

U momentu $M_{Ed,y}$ bylo změněno působení momentu. Původně rozdílně působící moment, nyní působí na stejné straně vláken. Hodnotově však u momentů nedošlo k velké změně.

Dle výsledků z interakčního diagramu je tlaková únosnost sloupu dostatečná.

Návrh třmínků:

$S_{cl,tmax} = \min(20\phi; b, 400 \text{ mm}) = \min(20 \cdot 22; 350; 400) = 350 \text{ mm}$ návrh **300 mm**

zhuštění třmínků v blízkosti styčnicků na $0,6 S_{cl,tmax} = 0,6 \cdot 300 = \mathbf{180 \text{ mm}}$

Návrh třmínků: $\phi 8$ po 300 mm, zhuštění na 180 mm

6. Základové konstrukce

6.1. Popis založení objektu

Objekt je konstrukčně rozdělen do 3 samostatných částí oddělených dilatačními spárami. Sekce B a C jsou podsklepeny.

Podsklepená část objektu je založena na základové desce, nepodsklepená je založena částečně na desce, ale převážně na základových patkách. Krajiní základové patky pod sloupy S16, S17 a S18 budou založeny ve stejné úrovni jako základová deska podsklepené části, aby byly založeny na usedlém původním terénu, ne v násypu.

Hloubka založení podzemní části je cca 4 m.

6.2. Zatížení základové konstrukce

Přehled zatížení je uveden v souhrnné tabulce zatížení objektu v úvodu práce. Síly, kterými byl zatížen model základové konstrukce byly převzaty z prostorového modelu objektu, který byl vytvořen v softwaru Scia Engineer. Hodnoty byly zadávány jako charakteristické a byly vytvořeny dvě kombinace zatížení – pro 1. mezní stav únosnosti a pro 2. mezní stav použitelnosti.

Pro výpočet patky byl vybrán sloup S1 na okraji objektu, který je namáhán největší normálovou silou.

6.3. Materiály základové konstrukce

Základová deska podzemní části objektu bude provedena z betonu C 30/37. Základová deska nepodsklepené části objektu a základové patky budou provedeny z betonu C 20/25. Vyztužení základových konstrukcí bude provedeno výztuží B 500 B.

Základové desky jsou izolovány fóliovou povlakovou izolací.

6.4. Geologické poměry

Pro výpočet základových konstrukcí byly získány údaje z geologických vrtů od České geologické služby – záznamy z vrtů jsou součástí přílohy. Pro výpočet v softwaru GEO5 byl použit vrt z roku 2009 s označením 704321.

**STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
J-5 [Čeladná]**

Klíč báze GDO	: 704321	Číslo posudku	: P126406	Mapy 1:25.000	25-232	M-34-85-B-c
Souřadnice - X	: 1135086.53	Y	: 470278.71	[zaměřeno]		
Nadmořská výška	: 456.34	[Balt po vyrovnání]		Rok ukončení	: 2009	
Hloubka / délka	: 7.00	[vrt svislý]		Datum výpisu	: 21.11.2017	
Účel objektu	: inženýrsko-geologický					
Realizace	: GEOSTA Ostrava s.r.o., Ostrava					
Komentář	:					

	stratigrafie
hloubkový interval	základní popis polohy
[m]	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.30	: hlina humózní, prachovitá, hnědá; příměs: organický detrit
0.30 - 1.00	: jíl slabě plastický, skvrnitý, tuhý, šedorezavohnědý; geneze fluviální přítomnost : štěrk drobnozrný
1.00 - 2.00	: štěrk jílovitý, nevytříděný, středně opracovaný, max.velikost částic 2 dm, ulehlý, hnědý; geneze fluviální
2.00 - 6.80	: štěrk hrubozrný, lokálně balvanitý, středně opracovaný, ulehlý, šedý; geneze fluviální
	Křída - apt
6.80 - 7.00	: jílovec zvětralý, v ostrohranných úlomcích, tmavě šedočerný
	ZJIŠTĚNÉ LITOSTRATIGRAFICKÉ JEDNOTKY
6.80 - 7.00	: Veřovické souvrství
	ZJIŠTĚNÉ REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÉ JEDNOTKY
6.80 - 7.00	: Godulský vývoj

Obrázek 190

Objekt je založen na únosné vrstvě hrubozrného štěrku a v hloubce cca 2m pod terénem (hloubka je proměnlivá) se objevuje hladina podzemní vody. Pod štěrkem v hloubce cca 7 m se nachází zvětralý jílovec.

6.5. Výpočet

Pro výpočet jednotlivých konstrukcí byly použity programy softwaru GEO5 – Deska a Patka.

Výpočet základové desky

Pro stanovení Winkler-Pasternakových konstant C1 a C2 byl nejprve proveden model základového pasu, který představoval pruh desky zatížený svislou stěnou. V tomto modelu bylo vymodelováno podloží odpovídající geologickému vrtu, a z výsledků modelu byly určeny hodnoty Edef, v a hloubka deformační zóny pod základem.

Hodnoty stanovené modelem základového "pasu" (výřez desky)	
Edef	60 MPa
u	0,2
hloubka deformační zóny	6 m

Tyto hodnoty byly zadány v programu GEO 5 – Deska, kde byly dopočítány konstanty C1 = 11,509 MN/m³ a C2 = 35,421 MN/m.

Výpočet základové patky

Výpočet byl proveden ve dvou variantách. Hloubka základové spáry patek je -1,2 m pod původním terénem, kde se nachází jílovitý štěrk.

První varianta výpočtu počítá se založením patky na jílovitém štěrku. Ve druhé variantě je do výpočtu pod základovou desku vložen štěrkopískový polštář (zemina G2, tloušťka 0,85 m), který by zajistil založení na únosnější vrstvě hrubozrnného štěrku, který se nachází v hloubce 2 m pod terénem.

V závislosti na výsledcích výpočtu, byla zvolena varianta se založením na jílovitém štěrku na patkách o rozměrech 1,7 x 1,7 x 1,0 m.

Výstupy ze softwaru GEO 5 a výkresy základové konstrukce jsou uvedeny v příloze.

6.6. Shrnutí výsledků

Objekt podsklepené části je založen na základové desce tloušťky 400 mm. Nepodsklepená část objektu je částečně založena na základové desce a částečně na základových patkách.

Základová deska nepodsklepené části má tloušťku 450 mm.

V místech, kde by se základové patky nacházely příliš blízko u sebe, byly nahrazeny základovými pasy.

Protokoly výpočtů ze softwaru GEO, výkresová dokumentace a vrty z databáze Geologické služby České republiky se nachází v samostatné příloze – geotechnika.

7. Závěr

V rámci návrhu stropní desky 1. NP sekce A byly zjištěny dvě problémové oblasti konstrukce. Samotný kraj desky, který byl značně namáhán stěnami z vyšších podlaží, v důsledku čehož byly na konstrukci zjištěny nadměrné průhyby, musel být zesílen. Toto zesílení bylo následně uvítáno při posouzení desky na protlačení. Kvůli protlačování desky byl zesílen i druhý okraj desky. Na tomto okraji by bylo vhodnější upravit návrh architekta tak, aby dělicí stěna nebyla uložena na okraji stropní desky, která je překonzolovaná přes sloupy S16, S17 a S18, ale aby stěna byla uložena přímo na sloupech a vznikl tak stěnový nosník. Namáhání svislých prvků by se změnilo a problémy s protlačáním by nebyly tak značné.

V rámci práce byl nakonec právě kvůli protlačení upraven návrh architekta pokračováním nosných sloupů S1 a S16 do vyšších podlaží.

8. Zdroje:

Normy:

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, 2004
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, 2006
- [4] ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: ÚNMZ, 2014
- [5] ČSN 73 1201 – Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, 2010
- [6] ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2010
- [7] ČSN EN 10080 - Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná, žebírková, betonářská ocel B 500 - Technické dodací podmínky pro tyče, svitky a svařované sítě, Praha: ÚNMZ, 1997

Podklad práce:

- [8] Stavba roku [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=784>

Podklady výrobce:

- [9] HALFEN [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.halfen.com/cz/2094/produkty/vyztuze/hbt-stykovaci-vyztuz/uvod/>

Literatura:

- [10] PROCHÁZKA, CSC., prof. Ing. Jaroslav, prof. Ing. Alena KOHOUTKOVÁ, CSC. a doc. Ing. Jitka VAŠKOVÁ, CSC. Navrhování železobetonových konstrukcí. Dotisk 1. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [11] MASOPUST, CSC., doc. Ing. Jan. Zakládání staveb 2. Dotisk 1. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05938-8.
- [12] MASOPUST, CSC., doc. Ing. Jan. Zakládání staveb 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05837-4.

Použitý software:

- [13] Nemetschek SCIA Engineer 15.3
- [14] AutoCAD 2018
- [15] Microsoft Office 2013 – Excel, Word
- [16] Program pro kruhové sloupy, DP Michaela Partajová: Administrativní budova Y1, Praha 5, Vidoule - Jinonice, ČVUT v Praze, 2009
- [17] Program Teplo 2017