



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ŘEŠENÍ VYBRANÝCH DETAILŮ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ VYZTUŽENÝCH KOMPOZITNÍ VÝZTUŽÍ

DESIGN OF SELECTED DETAILS OF CONCRETE STRUCTURES REINFORCED WITH
COMPOSITE REINFORCEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

P2.2. STATICKÝ VÝPOČET

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Vašátko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2022

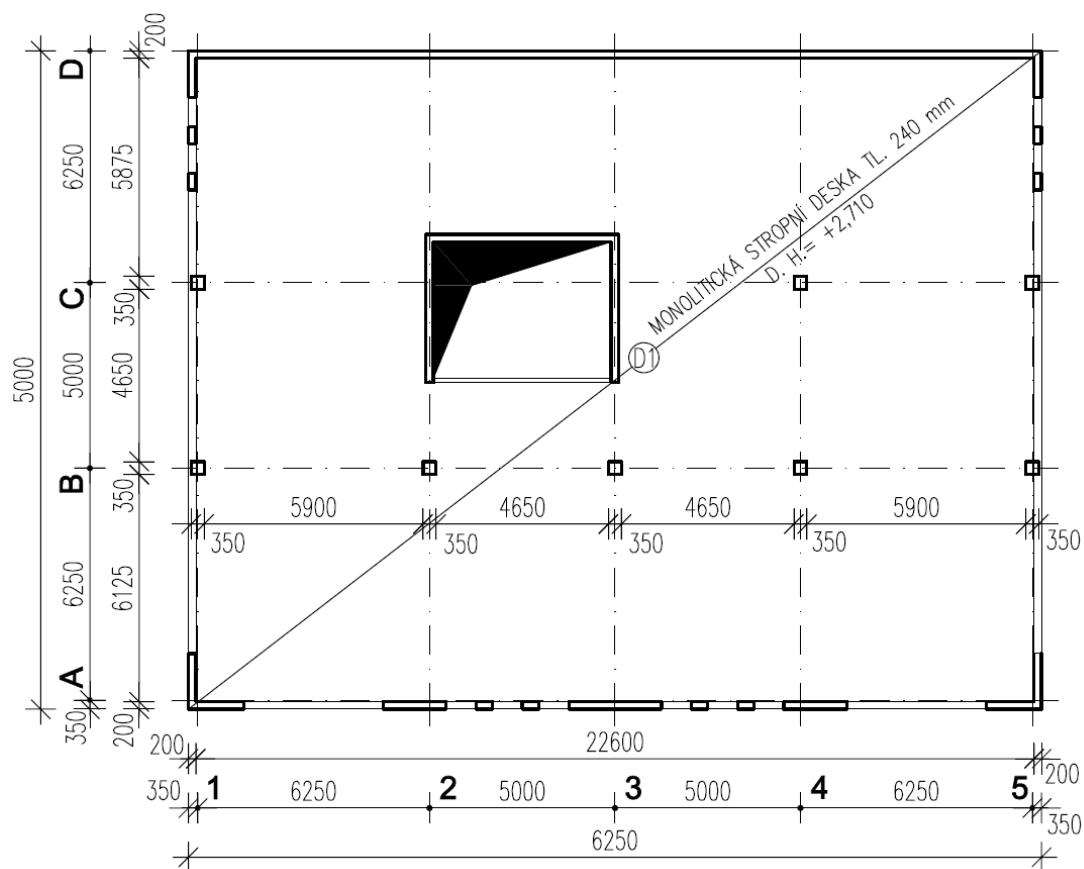
Obsah

1	Úvod.....	4
1.1	Geometrický tvar konstrukce.....	4
2	Zatížení.....	5
2.1	Stálé zatížení.....	5
2.2	Proměnné zatížení.....	6
2.2.1	Užitné zatížení.....	6
2.2.2	Zatížení sněhem	6
2.2.3	Zatížení větrem	6
3	Předběžný návrh rozměrů.....	7
3.1	Železobetonová stěna	7
3.2	Stropní deska	7
3.3	Železobetonové žebro	8
3.4	Železobetonový sloup	8
3.4.1	Stálé zatížení	8
3.4.2	Proměnné zatížení	9
3.4.3	Celkové zatížení na sloup	9
4	Výpočet vnitřních sil	11
4.1	Zatěžovací stavy	12
4.1.1	Stálé zatížení	12
4.1.2	Proměnné zatížení	15
4.2	Kombinace	19
4.3	Výsledky ohybových momentů (MSÚ).....	20
4.3.1	$m_x D$ –.....	20
4.3.2	$m_y D$ –.....	21

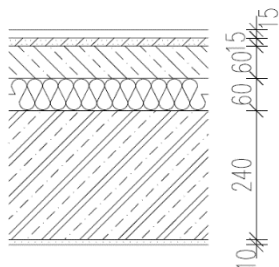
4.3.3	$mxD +$	22
4.3.4	$myD +$	23
5	Dimenzování na MSÚ	24
5.1	Materiálové charakteristiky	24
5.2	Stanovení krycí vrstvy	25
5.3	Návrh a posouzení výztuže na ohybový moment	25
5.3.1	$mxD -$	25
5.3.2	$myD -$	30
5.3.3	$mxD +$	36
5.3.4	$myD +$	41
5.4	Návrh a posouzení ztužujícího žebra	46
5.4.1	Návrh a posouzení dolní ohybové výztuže	47
5.4.2	Návrh a posouzení horní ohybové výztuže	48
5.4.3	Posouzení smykové únosnosti	49
5.5	Kotevní délky	51
5.6	Přesahy stykované výztuže	53
5.7	Výztuž proti řetězovému zřícení	54
5.8	Návrh a posouzení výztuže na protlačení	56
5.8.1	Posouzení pro maximální sílu	56
6	Posouzení na MSP	60

1 Úvod

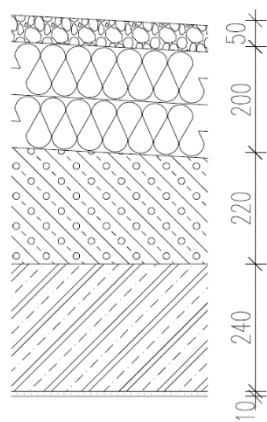
1.1 Geometrický tvar konstrukce



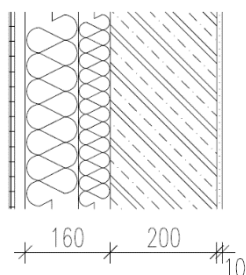
Obrázek 1: geometrický tvar konstrukce



Obrázek 2: skladba typického podlaží



Obrázek 3: skladba střechy



Obrázek 4: skladba obvodového pláště

2 Zatížení

2.1 Stálé zatížení

2.1.1.1 Skladba typického podlaží

vrstva	tloušťka [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m ²]
keramická dlažba	0.015	22	0.330
cementové lepidlo	0.015	23	0.345
betonová mazanina	0.060	23	1.380
extrudovaný polystyren	0.060	1.5	0.090
ŽB strop	-	25	-
cementová omítka	0.010	21	0.210
celkové zatížení běžného patra $g_{k,stp}$ [kN/m ²]			2.355

2.1.1.2 Skladba střechy

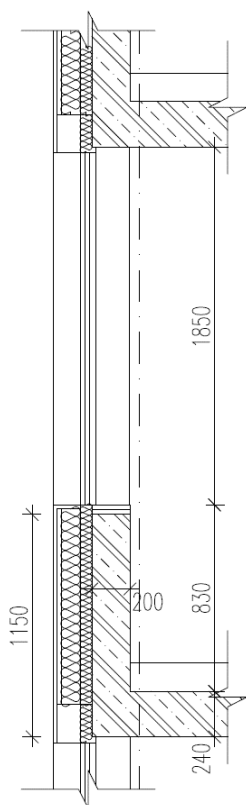
vrstva	tloušťka [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m ²]
kačírek	0.050	23	1.150
2x asfaltový pás typ S	-	-	0.100
pěnový polystyren	0.200	0.3	0.060
spádová vrstva, keramzit beton	0.220	12	2.640
ŽB strop	-	25	-
cementová omítka	0.010	21	0.210
celkové zatížení střešního pláště $g_{k,ss}$ [kN/m ²]			4.160

2.1.1.3 Skladba obvodového pláště

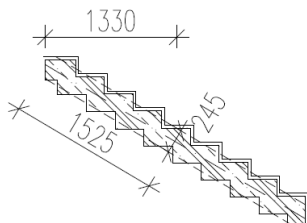
vrstva	tloušťka [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m ²]
plechový systém + rošt	-	-	0.600
minerální vata	0.160	1.5	0.240
ŽB Stěna	-	25	-
cementová omítka	0.010	21	0.210
celkové zatížení proskleného pláště $g_{k,sop}$ [kN/m ²]			1.050

2.1.1.4 Skladba proskleného pláště

vrstva	výška [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m]
výplň otvoru (0.5 kN/m ²)	1.850	-	0.925
ŽB žebro	-	25	-
celkové zatížení proskleného pláště $g_{k,spp}$ [kN/m]			0.925



Obrázek 5: řez proskleného obvodového pláště



Obrázek 6: řez schodišťovým ramenem

2.1.1.5 Prefabrikované schodiště

vrstva	tloušťka [m]	délka [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m]
keramická dlažba	0.015	2.110	22	0.696
cementové lepidlo	0.015	2.110	23	0.728
prefa. schodiště	0.245	1.525	25	9.341
omítka	0.010	1.863	1.5	0.028
celkové zatížení od schodiště $g_{k,sch}$ [kN/m]				10.793

2.1.1.6 Přemístitelné příčky

přemístitelné příčky: $q_{k,pp}=1,20 \text{ kN/m}^2$

2.2 Proměnné zatížení**2.2.1 Užité zatížení****2.2.1.1 Zatížení kanceláří a laboroří**

kategorie: B – kancelářské prostory: $q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$

2.2.1.2 Zatížení střechy

kategorie: H – nepřístupné střechy s výjimkou údržby, oprav: $q_{k,H}=0,750 \text{ kN/m}^2$

2.2.1.3 Zatížení schodiště

kategorie: A – schodiště: $q_{k,A}=3,000 \text{ kN/m}^2$

zatížení působí na délce 1,330 m

zatížení od schodiště: $q_{k,sch}=3,990 \text{ kN/m}$

2.2.2 Zatížení sněhem

sněhová oblast: IV – $s_k=2,0 \text{ kN/m}^2$

tlak sněhu na střechu:

$$s=\mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k=0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,0=1,600 \text{ kN/m}^2$$

2.2.3 Zatížení větrem

Je uvažováno, že zatížení větrem bude přeneseno betonovými stěnami.

3 Předběžný návrh rozměrů

3.1 Železobetonová stěna

tloušťka stěn: $t_s=200 \text{ mm}$

3.2 Stropní deska

vymežující tloušťka desky:

$$h_s \geq 1,21 \cdot h_{s,\text{lim}}$$

$$h_{s,\text{lim}} = l_{n,\text{max}} \cdot \frac{800+0,7 \cdot f_{yk}}{36+5 \cdot \varepsilon \cdot \eta}$$

maximální rozpětí ve směrech x a y:

$$l_x = 6250 \text{ mm}$$

$$l_y = 6400 \text{ mm}$$

maximální světlá délka rozpětí desky:

$$l_{n,\text{max}} = \max\{5900; 6125\} = 6125 \text{ mm}$$

$$\eta = \alpha_m - 0,5 \cdot (1 - \kappa) \cdot \left(1 + \frac{1}{\varepsilon}\right) \dots \text{ v intervalu } \langle 0; 1 + \kappa \rangle$$

průměrný součinitel ztužení ze všech čtyř stran deskového pole:

$$\alpha_m = 0$$

poměr součtu délek stran obdélníkového deskového pole, ve kterých je deska spojitá, k celkovému obvodu pole:

$$\kappa = \frac{l_x + l_y}{2 \cdot (l_x + l_y)} = \frac{6250 + 6400}{2 \cdot (6250 + 6400)} = 0,5$$

poměr delšího rozpětí ku kratšímu:

$$\varepsilon = \frac{l_x}{l_y} = \frac{6400}{6250} = 1,024$$

$$\eta = 0 - 0,5 \cdot (1 - 0,5) \cdot \left(1 + \frac{1}{1,024}\right) = -0,494 < 0 \rightarrow \eta = 0$$

$$h_{s,\text{lim}} = 6,125 \cdot \frac{800+0,7 \cdot 500}{36+5 \cdot 1,024 \cdot 0} = 195,660 \text{ mm}$$

$$h_s \geq 1,21 \cdot 195,660 = 236,749 \text{ mm}$$

$$h_s \geq \frac{l_{\max}}{35} = \frac{6400}{35} = 213,33 \text{ mm}$$

$$h_s \geq 1,11 \cdot \frac{l_x + l_y}{75} = 1,11 \cdot \frac{6250 + 6400}{75} = 187,22 \text{ mm}$$

tloušťka desky: **$h_s = 240 \text{ mm}$**

zatížení od stropní desky

vrstva	tloušťka [m]	γ [kN/m ³]	$g_{k,i}$ [kN/m ²]
stropní deska	0.240	25	6.000
celkové zatížení stropní desky $g_{k,sd}$ [kN/m ²] =			6.000

3.3 Železobetonové žebro

vymezující výška žebra:

$$h_t = \frac{l_{\max}}{15} \sim \frac{l_{\max}}{12}$$

maximální rozpětí:

$$l_{\max} = 6250 \text{ mm}$$

$$h_t = \frac{6250}{15} \sim \frac{6250}{12} = 416,667 \sim 520,833 \text{ mm}$$

výška žebra: **$h_t = 1150 \text{ mm}$**

šířka žebra: **$b_t = 200 \text{ mm}$**

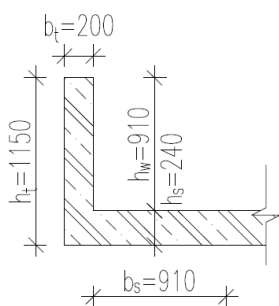
spolupůsobící šířka desky

$$b_s = \min(h_w; 4h_s) = \min(910; 960) = 910 \text{ mm}$$

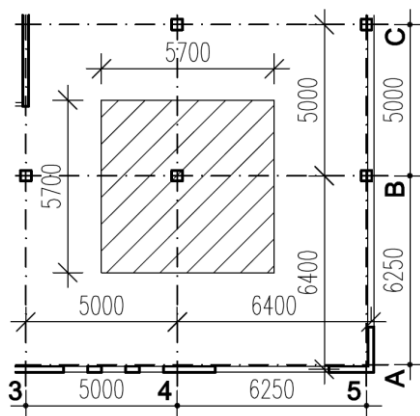
3.4 Železobetonový sloup

3.4.1 Stálé zatížení

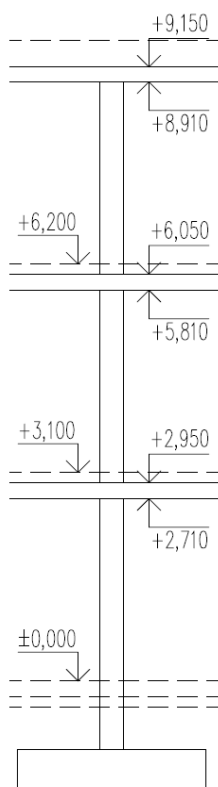
3.4.1.1 Plošná stálá zatížení



Obrázek 7: železobetonové žebro se spolupůsobící šířkou desky



Obrázek 8: schéma zatěžovací plochy



Obrázek 2: schématický řez objektem

3.4.1.2 Vlastní tíha sloupů

typ zatížení	zatížení [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	počet podlaží	zatížení G _{k,i} [kN]
skladba typ. podlaží g _{k,stp}	2.355	32.490	2	153.028
skladba střechy g _{k,ss}	4.160	32.490	1	135.158
stropní deska g _{k,sd}	6.000	32.490	3	584.820
přemístitelné příčky g _{k,pp}	1.200	32.490	2	77.976
celkové zatížení od plošného zatížení ΣG _{k,1} [kN]				950.982

vl. tíha betonu pro sloupy γ_c=25 kN/m³

typ zatížení	výška sloupu [m]	rozměr sloupu [mm]	počet podlaží	zatížení G _{k,i} [kN]
sloup 1.NP	3.840	350x350	1	11.760
Sloup 2. NP a 3. NP	3.100	350x350	2	18.988
celkové zatížení od sloupů ΣG _{k,2} [kN]				30.748

3.4.2 Proměnné zatížení**3.4.2.1 Užité zatížení**

typ zatížení	zatížení [kN/m ²]	zatěžovací plocha [m ²]	počet podlaží	zatížení Q _{k,i} [kN]
kat. B q _{k,B}	3.000	32.490	2	194.940
kat. H q _{k,H}	0.750	32.490	1	24.368
sníh s	1.600	32.490	1	51.984
celkové zatížení od plošného zatížení ΣQ _{k,1} [kN]				271.292

3.4.3 Celkové zatížení na sloup

typ zatížení	součinitel zatížení	charakteristická hodnota [kN]	návrhová hodnota [kN]
stálé - plošné ΣG _{k,1}	1.35	950.982	1283.826
stálé - sloupy ΣG _{k,2}	1.35	30.748	41.509
proměnné - plošné	1.50	271.292	406.937
návrhová hodnota zatížení působícího na sloup ΣN _{ed} [kN]			1732.272

beton použitý na sloup: C25/30

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

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa}$$

nerezová ocel použitá na sloup: 1.4301

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

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

návrhová síla působící na sloup: $N_{ed} = 1732,272 \text{ kN}$

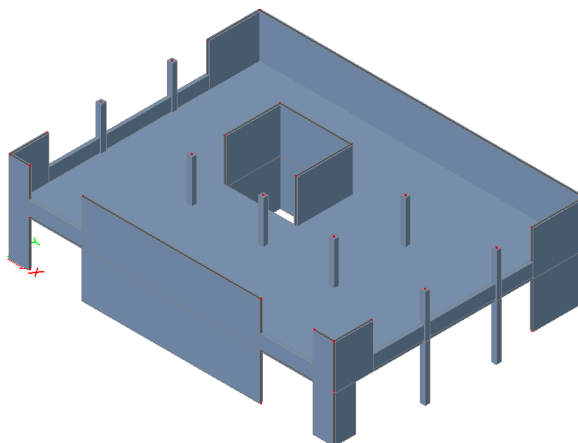
$$A_{min} = \frac{N_{ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + 0,01 \cdot f_{yd}} = \frac{1732,272}{0,8 \cdot f_{cd} + 0,01 \cdot f_{yd}} = 0,098 \text{ m}^2$$

navržený rozměr sloupu: **350x350 mm**

$$A_{prov} = 350 \cdot 350 = 0,123 \text{ m}^2$$

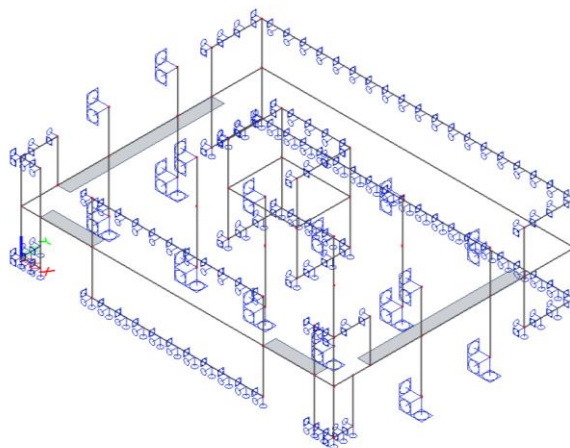
4 Výpočet vnitřních sil

V softwaru SCIA Engineer 20.0 byl vytvořen 3D model pro stanovení vnitřních sil. Model tvořila ŽB deska tl. 240 mm, sloupy 350x350 mm, ztužující žebra a ŽB stěny tl. 200 mm.



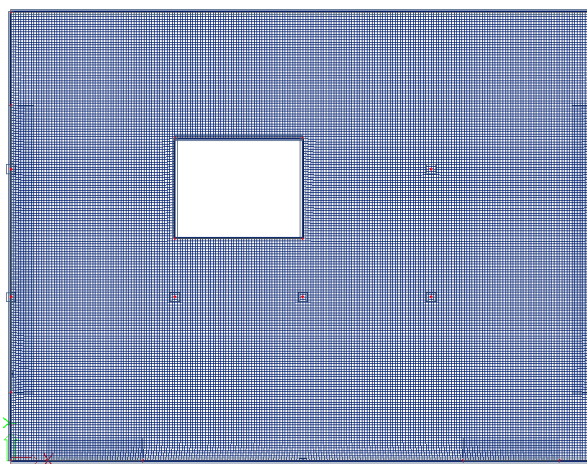
Obrázek 3: model konstrukce

V modelu byly použity pro sloupy bodové podpory a pro stěny liniové podpory. V patě sloupů bylo namodelováno vetknutí, kde bylo zamezeno pootočení a posunutí ve všech směrech. V hlavě sloupů bylo zamezeno pootočení a posunu ve směru osy X a Y, ve směru osy Z nebylo žádné omezení. V patě stěn bylo zabráněno posunutí ve všech směrech, potočení bylo zamezeno pouze v podélném směru stěny. V hlavě stěn bylo zabráněno posunutí ve směru X a Y a pootočení bylo zamezeno pouze v podélném směru stěny.



Obrázek 4: podepření modelu

Pro výpočet byla vygenerována síť o velikosti prvku 0,1 m.



Obrázek 5: vygenerována výpočetní síť

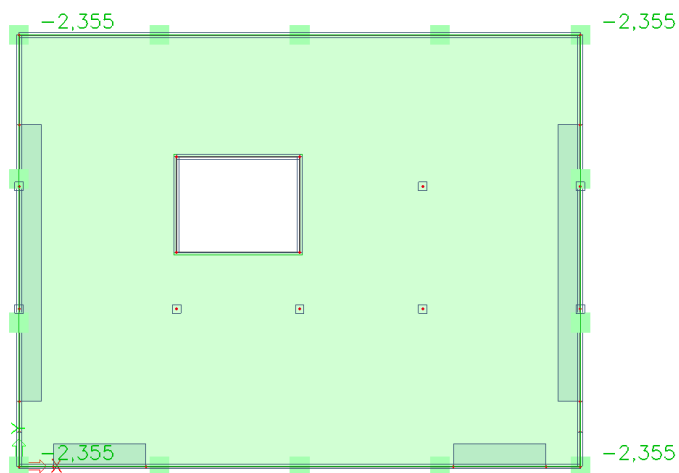
4.1 Zatěžovací stavy

4.1.1 Stálé zatížení

4.1.1.1 ZS1 – vlastní tíha

4.1.1.2 ZS2 – skladba typického podlaží

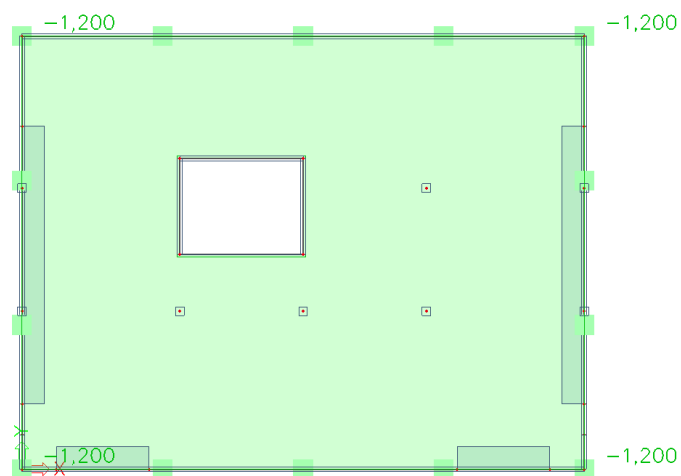
$$q_{k,stp}=2,355 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 6: zatěžovací stav 2

4.1.1.3 ZS3 – přemístitelné příčky

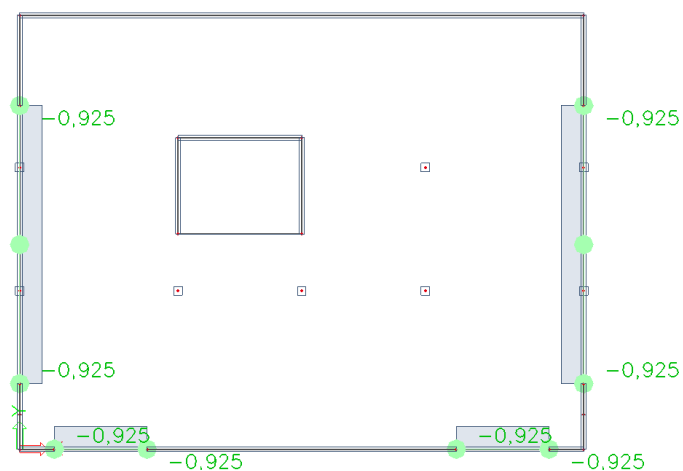
$$q_{k,pp}=1,200 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 7: zatěžovací stav 3

4.1.1.4 ZS4 – skladba proskleného pláště

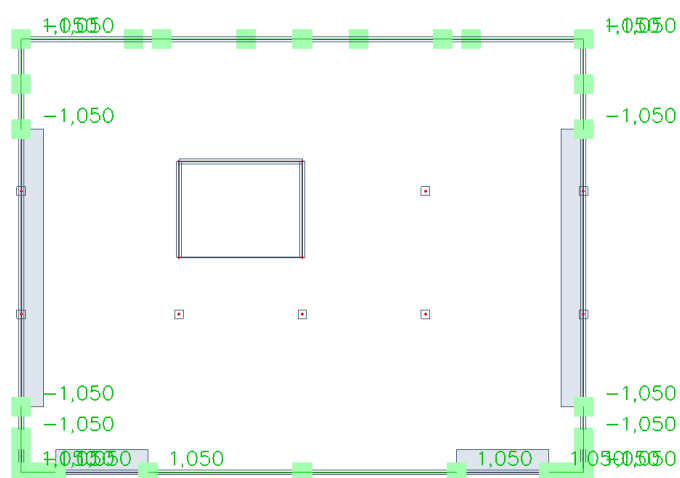
$$q_{k,spp}=0,925 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 8: zatěžovací stav 4

4.1.1.5 ZS5 – skladba obvodového pláště

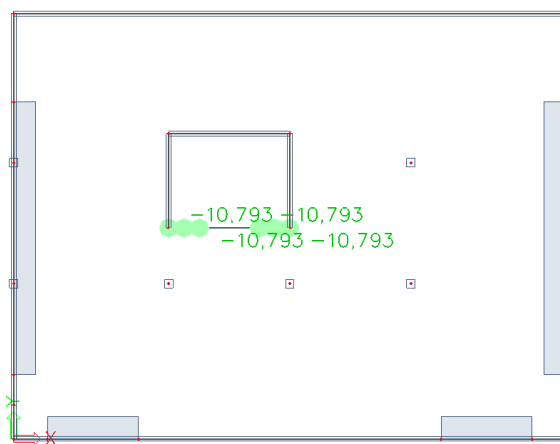
$$q_{k,sop}=1,050 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 9: zatěžovací stav 5

4.1.1.6 ZS6 – prefabrikované schodiště

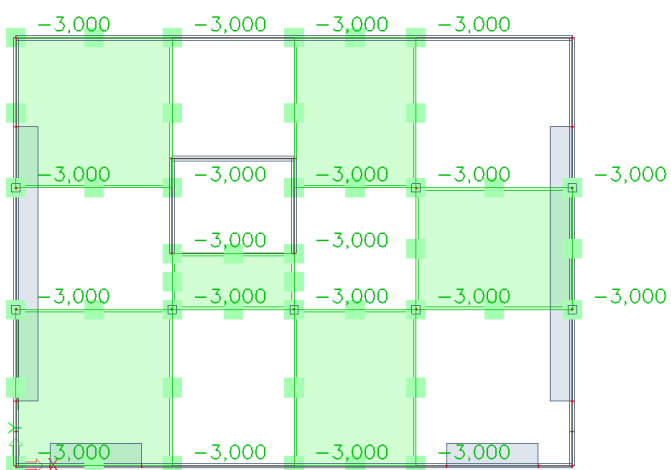
$$q_{k,sch}=10,793 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 10: zatěžovací stav 6

4.1.2 Proměnné zatížení**4.1.2.1 ZS7 – kategorie B – šach 1**

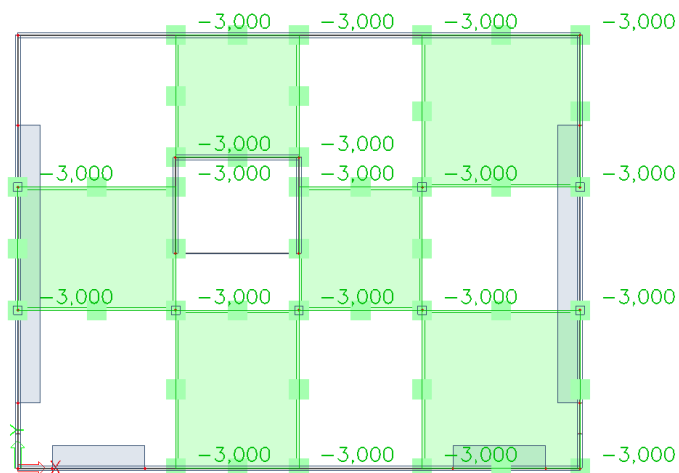
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 11: zatěžovací stav 7

4.1.2.2 ZS8 – kategorie B – šach 2

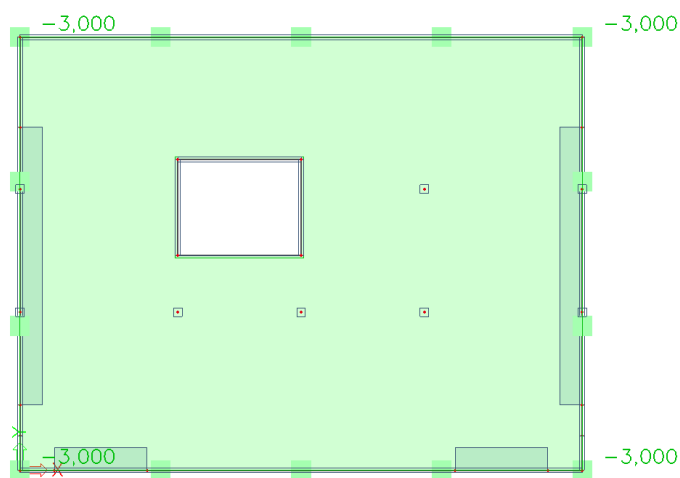
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 12: zatěžovací stav 8

4.1.2.3 ZS9 – kategorie B – plné

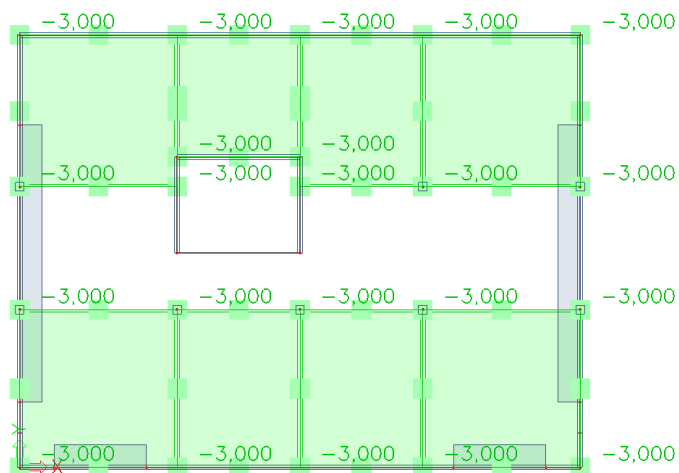
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 13: zatěžovací stav 9

4.1.2.4 ZS10 – kategorie B – pruh 1

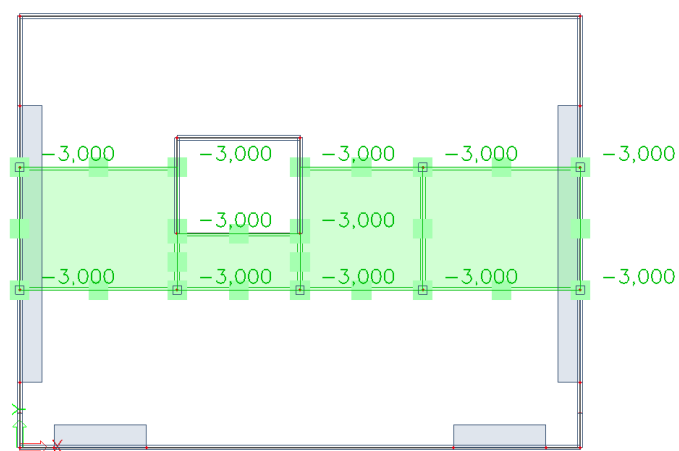
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 14: zatěžovací stav 10

4.1.2.5 ZS11 – kategorie B – pruh 2

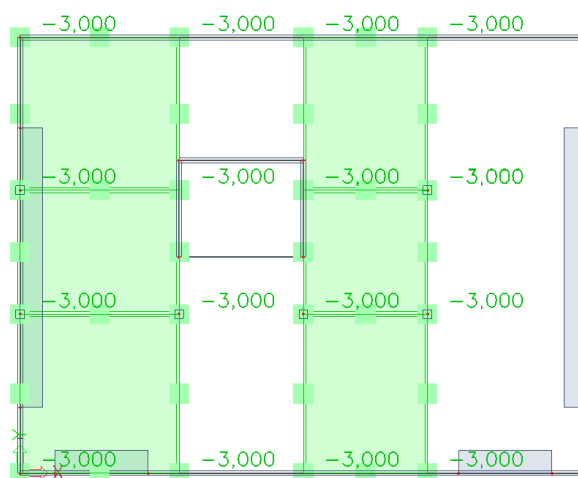
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 15: zatěžovací stav 11

4.1.2.6 ZS12 – kategorie B – pruh 3

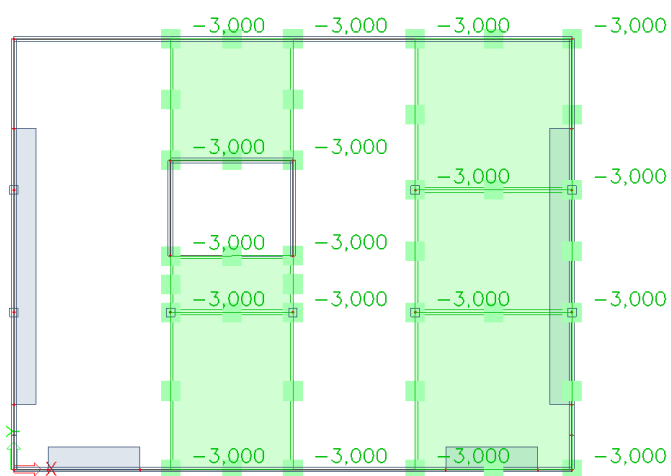
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 16: zatěžovací stav 12

4.1.2.7 ZS13 – kategorie B – pruh 4

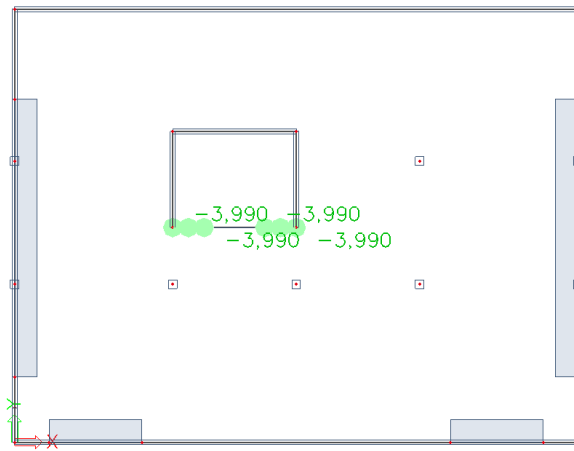
$$q_{k,B}=3,000 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 17: zatěžovací stav 13

4.1.2.8 ZS14 – schodiště

$$q_{k,sch} = 3,990 \text{ kN/m}$$



Obrázek 18: zatěžovací stav 14

4.2 Kombinace

pro kombinace jsou uvažovaný kombinační pravidla:

6.10a

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

6.10b

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

výpočet byl proveden pomocí programu SCIA Engineer

$$\gamma_G = 1,35; \gamma_Q = 1,50; \xi = 0,85$$

kategorie: B

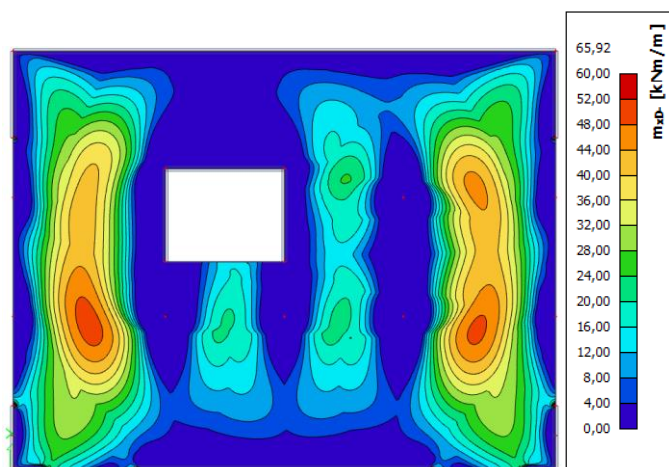
kancelářské plochy: $\psi_0 = 0,7$

kategorie: A

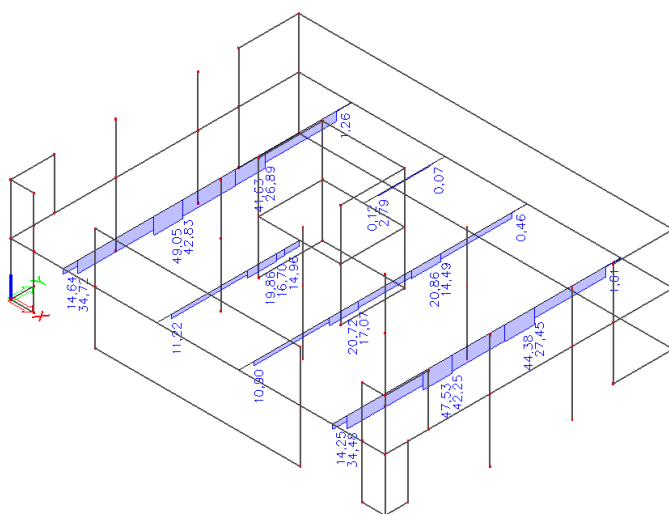
schodiště: $\psi_0 = 0,7$

4.3 Výsledky ohybových momentů (MSÚ)

4.3.1 m_{xD} –

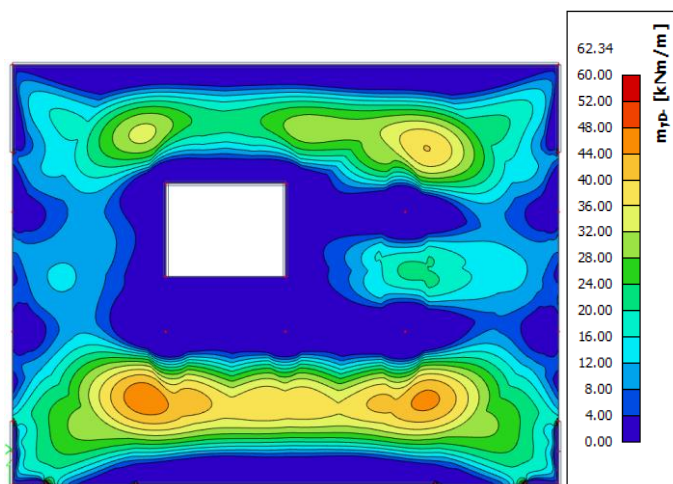


Obrázek 26: návrhový ohybový moment na dolním povrchu ve směru X – izopásma

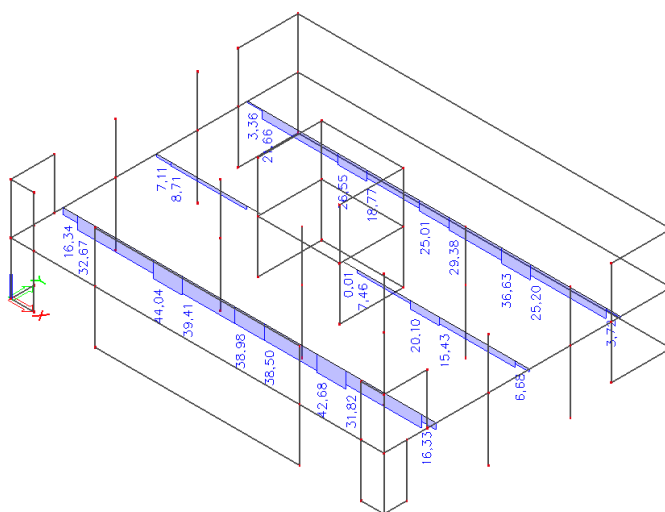


Obrázek 27: návrhový ohybový moment na dolním povrchu ve směru X – řezy

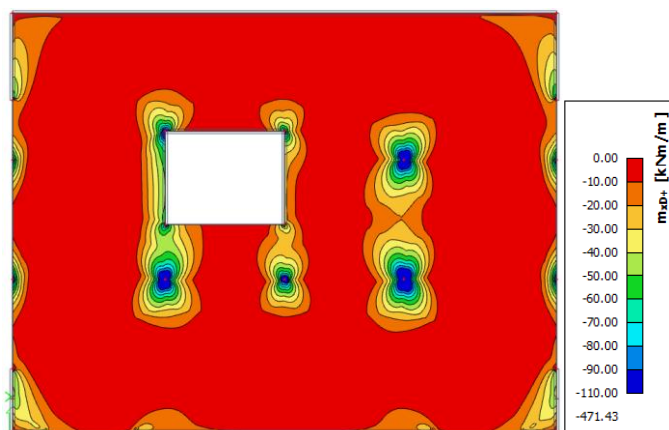
4.3.2 myD –



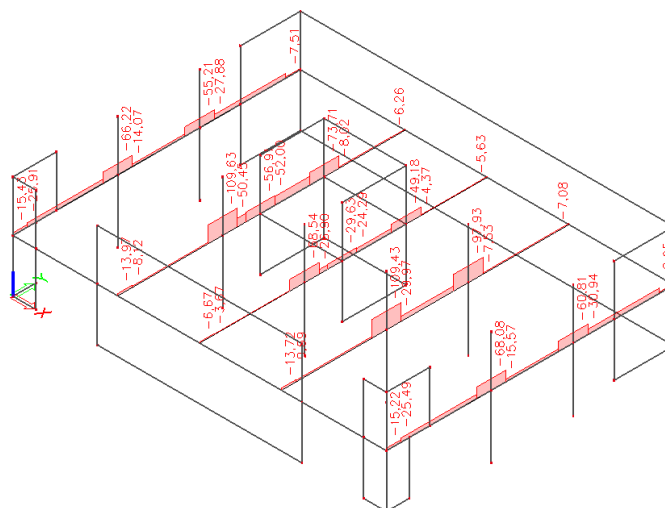
Obrázek 28: návrhový ohybový moment na dolním povrchu ve směru Y – izopásma



Obrázek 29: návrhový ohybový moment na dolním povrchu ve směru Y – řezy

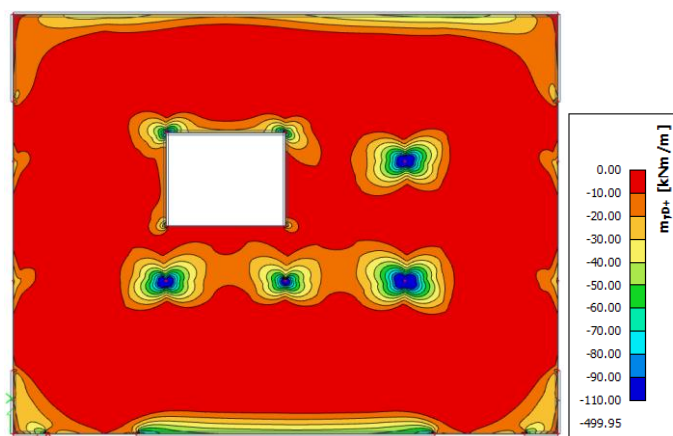
4.3.3 $m_x D +$ 

Obrázek 30: návrhový ohybový moment na horním povrchu ve směru X – izopásma

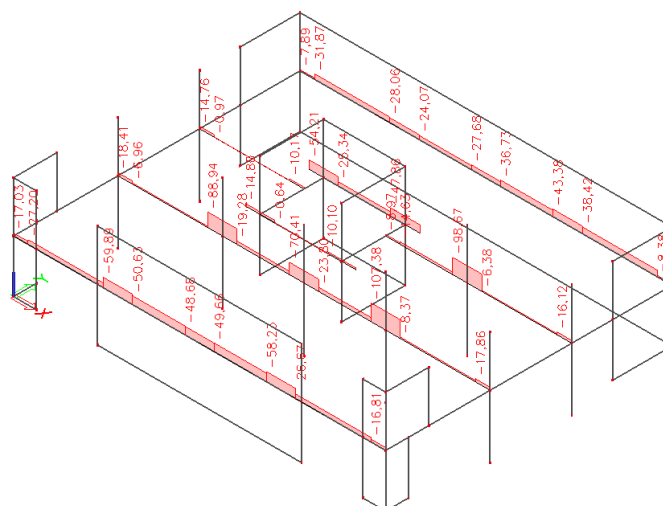


Obrázek 31: návrhový ohybový moment na horním povrchu ve směru X – řezy

4.3.4 myD +



Obrázek 32: návrhový ohybový moment na horním povrchu ve směru Y – izopásma



Obrázek 33: návrhový ohybový moment na horním povrchu ve směru X – řezy

5 Dimenzování na MSÚ

5.1 Materiálové charakteristiky

BETON: C25/30

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

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

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

$$f_{ctk;0,05} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 1,20 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

OCEL: 1.4301

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

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

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

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200 \cdot 10^3} = 2,174 \text{ ‰}$$

GFRP: Schöck Combar

$$f_{fk} = 1000 \text{ MPa}$$

$$f_{fk,1000h} = 950 \text{ MPa}$$

$$R_{10} = 15 \text{ ‰}$$

$$n = n_{mo} + n_T + n_{SL} + n_d = -1 + 0,5 + 2,7 + 0 = 2,2$$

$$\eta_{env,t} = \frac{f_{fk}}{f_{fk,1000h}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{100-R_{10}}{100}\right)^n}$$

$$= \frac{1000}{950} \cdot \frac{1}{\left(\frac{100-15}{100}\right)^{2,2}} = 1,51$$

$$f_{fd} = \frac{f_{fk}}{\eta_{env,t} \cdot \gamma_f} = \frac{1000}{1,51 \cdot 1,30} = 509,42 \text{ MPa}$$

$$E_f = 60 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{fd} = \frac{f_{fd}}{E_f} = \frac{509,42}{60 \cdot 10^3} = 8,49 \text{ ‰}$$

$$n_{mo} = -1 \text{ (prostředí XC1)}$$

$$n_T = 0,5 \text{ (teplota +15 až +25 °C)}$$

$$n_{SL} = 2,7 \text{ (životnost 50 let)}$$

$$n_d = 0,0 \text{ (zkoušený průměr)}$$

stupeň vlivu prostředí: XC1

třída konstrukce: S4

5.2 Stanovení krycí vrstvy

odhad výztuže: $\emptyset = 10 \text{ mm}$

OCELOVÉ TRŽMÍNKY

$$c \geq c_{\text{nom}}$$

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

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

$$c_{\text{min},b} = \emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min},\text{dur}} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{\text{dur},\gamma} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{\text{dur},\text{st}} = 0 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{\text{dur},\text{add}} = 0 \text{ mm}$$

$$c_{\text{min}} = \max \{ 10; 15; 10 \text{ mm} \}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

Navrhnuté krytí výztuže u spodního povrchu.

$$c_{\text{nom}} = 35 \text{ mm}$$

5.3 Návrh a posouzení výztuže na ohybový moment

5.3.1 mxD –

5.3.1.1 Základní uspořádání výztuže

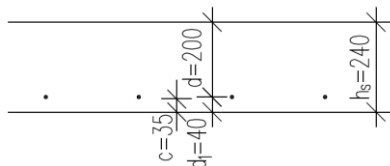
Maximální moment pro návrh základní výztuže.

$$M_{\text{Ed},x} = 20,86 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

$$\text{GFRP } \emptyset 10/500 \text{ mm}, A_{\text{sl},F} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{OCEL } \emptyset 10/500 \text{ mm}, A_{\text{sl},S} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



Obrázek 34: účinná výška d pro spodní povrch – směr X – základní

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} + A_{sl,S} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 35 + \frac{10}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 40 = 200 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrálné osy při balančním porušení

Předpokládá se, že v ocelové výztuži bude dosaženo stejného přetvoření jako v GFRP výztuži.

$$\varepsilon_{fd} = \varepsilon_{sd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 200 = 58 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,058 \cdot 1,0 = 778,40 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,S} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

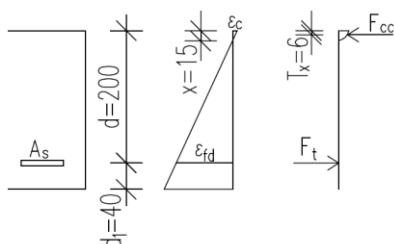
$$x = 0,015 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,015}{0,200 - 0,015} = 0,0007$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \Rightarrow 0 \leq 0,0007 \leq 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0007}{0,002} \right)^2 \right] = 9,68 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,015 = 0,006 \text{ m}$$



Obrázek 35: stanovení únosnosti pro spodní povrch – směr X – základní

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 9,68 \cdot 10^3 \cdot 0,015 \cdot 1,0 = 148,32 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} + F_{t,S} \Rightarrow 148,32 \text{ kN} = 80,02 + 68,30 = 148,32 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = (80,02 + 68,30) \cdot (0,200 - 0,006) = 28,75 \text{ kNm}$$

$$\underline{\underline{M_{Rd} = 28,75 \text{ kNm} > M_{Ed} = 20,86 \text{ kNm}}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{sl,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; \quad 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{tk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d \\ &= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,200; \quad 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,200 \\ &> 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,200 \\ &= 2,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; \quad 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{\underline{2,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}}$$

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{sl} \leq s_{sl,max} &= \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} = \\ &\min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{250 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

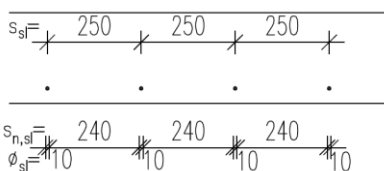
$$s_{n,sl} = 245 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max\{1,2 \cdot \phi_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

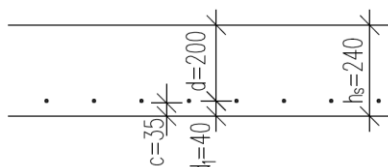
$$\max\{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{240 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm}}}$$



Obrázek 36: vzdálenosti výztuže pro spodní povrch – směr X – základní



Obrázek 37: účinná výška d pro spodní povrch – směr X – přídatná

5.3.1.2 Přídatná výztuž

Maximální moment pro návrh přídatné výztuže.

$$M_{Ed,x} = 49,05 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

ZÁKLADNÍ VÝZTUŽENÍ

$$\text{GFRP } \varnothing 10/500 \text{ mm, } A_{sl,F} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{OCEL } \varnothing 10/500 \text{ mm, } A_{sl,S} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

PŘÍDAVNÁ VÝZTUŽ

$$\text{GFRP } \varnothing 10/500 \text{ mm, } A_{sl,F1} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{OCEL } \varnothing 10/50 \text{ mm, } A_{sl,S1} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} + A_{sl,S} + A_{sl,F1} + A_{sl,S1} = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \frac{\varnothing_{sl}}{2} = 35 + \frac{10}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 40 = 200 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrální osy při balančním porušení

Předpokládá se, že v ocelové výztuži bude dosaženo stejného přetvoření jako v GFRP výztuži.

$$\varepsilon_{fd} = \varepsilon_{sd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 200 = 58 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,058 \cdot 1,0 = 778,40 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

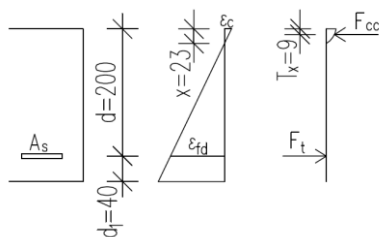
$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S1} = A_{sl,S1} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,S} + F_{t,F1} + F_{t,S1} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno



Obrázek 38: stanovení únosnosti pro spodní povrch – směr X – přídatná

maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x=0,023 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d-x} = \frac{0,0085 \cdot 0,023}{0,200-0,023} = 0,0011$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \Rightarrow 0 \leq 0,0011 \leq 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0011}{0,002} \right)^2 \right] = 13,14 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,023 = 0,009 \text{ m}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 13,14 \cdot 10^3 \cdot 0,023 \cdot 1,0 = 296,63 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S1} = A_{sl,S1} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} + F_{t,S} + F_{t,F1} + F_{t,S1} \Rightarrow$$

$$296,63 \text{ kN} = 80,02 + 68,30 + 80,02 + 68,30 = 296,63 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = (80,02 + 68,30 + 80,02 + 68,30) \cdot (0,200 - 0,009)$$

$$M_{Rd} = 56,65 \text{ kNm}$$

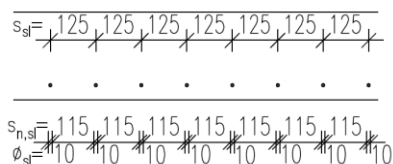
$$\underline{\underline{M_{Rd} = 56,65 \text{ kNm} > M_{Ed} = 49,05 \text{ kNm}}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; \quad 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,200; \quad 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,200$$



Obrázek 39: vzdálenosti výztuže pro spodní povrch – směr X – přídatná

$$> 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,200$$

$$= 2,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{2,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 125 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} = \min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$\underline{125 \text{ mm} < 300 \text{ mm}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 115 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max\{1,2 \cdot \phi_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{115 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm}}$$

Přehled výztuže u dolního povrchu ve směru X.

rozmezí M_{Ed} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	základní výztuž	přídatná výztuž
0 - 20.86	28.75	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500	
20.86 - 49.05	56.65	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500

5.3.2 myD –

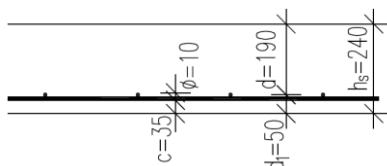
5.3.2.1 Základní uspořádání výztuže

Maximální moment pro návrh základní výztuže.

$$M_{Ed,y} = 20,10 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

$$\text{GFRP } \phi 10/500 \text{ mm}, A_{sl,F} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



Obrázek 40: účinná výška d pro spodní povrch – směr Y – základní

$$\text{OCEL } \varnothing 10/500 \text{ mm, } A_{sI,S} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sI} = A_{sI,F} + A_{sI,S} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \frac{\varnothing_{sl}}{2} = 35 + 10 + \frac{10}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 50 = 190 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrálné osy při balančním porušení

Předpokládá se, že v ocelové výztuži bude dosaženo stejného přetvoření jako v GFRP výztuži.

$$\varepsilon_{fd} = \varepsilon_{sd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 190 = 55 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,055 \cdot 1,0 = 739,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sI,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sI,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,S} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

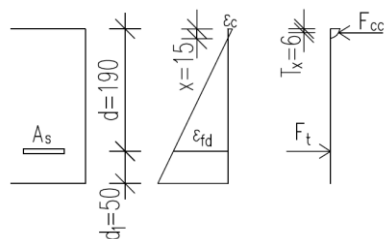
Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x = 0,015 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,015}{0,190 - 0,015} = 0,0007$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \Rightarrow 0 \leq 0,0007 \leq 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0007}{0,002} \right)^2 \right] = 9,91 \text{ MPa}$$



Obrázek 41: stanovení únosnosti pro spodní povrch – směr Y – základní

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,015 = 0,006 \text{ m}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 9,91 \cdot 10^3 \cdot 0,015 \cdot 1,0 = 148,32 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} + F_{t,S} \Rightarrow 148,32 \text{ kN} = 80,02 + 68,30 = 148,32 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = (80,02 + 68,30) \cdot (0,190 - 0,006) = 27,29 \text{ kNm}$$

$$\underline{\underline{M_{Rd} = 27,29 \text{ kNm} > M_{Ed} = 20,10 \text{ kNm}}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,190; 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,190$$

$$> 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,190$$

$$= 2,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{\underline{2,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}}$$

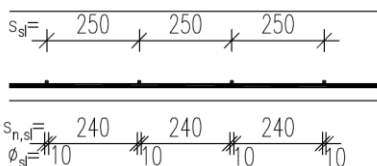
Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{250 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}}}$$



Obrázek 42: vzdálenosti výztuže pro spodní povrch – směr Y – základní

Minimální světla vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max \{1,2 \cdot \phi_1; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = \\ \max \{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = \\ \max \{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{240 \text{ mm} > 20 \text{ mm}}$$

5.3.2.2 Přídavná výztuž

Maximální moment pro návrh přídavné výztuže.

$$M_{Ed,y} = 44,04 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

ZÁKLADNÍ VÝZTUŽENÍ

$$\text{GFRP } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,F} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{OCEL } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,S} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

PŘÍDAVNÁ VÝZTUŽ

$$\text{GFRP } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,F1} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{OCEL } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,S1} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} + A_{sl,S} + A_{sl,F1} + A_{sl,S1} = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c_{nom} + \phi_{sl} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 35 + 10 + \frac{10}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 50 = 190 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrálné osy při balančním porušení

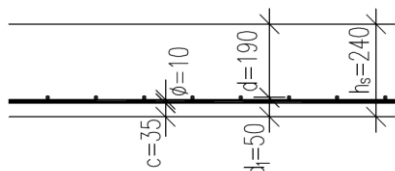
Předpokládá se, že v ocelové výztuži bude dosaženo stejného přetvoření jako v GFRP výztuži.

$$\varepsilon_{fd} = \varepsilon_{sd} = 0,0085$$

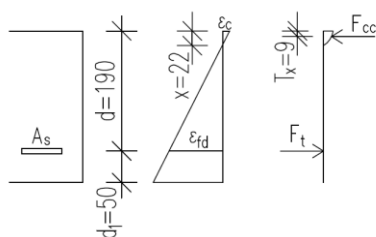
$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 190 = 55 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,055 \cdot 1,0 = 739,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$



Obrázek 43: účinná výška d pro spodní povrch – směr Y – přídavná



Obrázek 44: stanovení únosnosti pro spodní povrch – směr Y – přídavná

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S1} = A_{sl,S1} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,S} + F_{t,F1} + F_{t,S1} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ϵ_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ϵ_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x = 0,022 \text{ m}$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,022}{0,190 - 0,022} = 0,0011$$

$$0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2} \Rightarrow 0 \leq 0,0011 \leq 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0011}{0,002} \right)^2 \right] = 13,42 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,022 = 0,009 \text{ m}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 13,42 \cdot 10^3 \cdot 0,022 \cdot 1,0 = 296,63 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S} = A_{sl,S} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 80,02 \text{ kN}$$

$$F_{t,S1} = A_{sl,S1} \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} + F_{t,S} + F_{t,F1} + F_{t,S1} \Rightarrow$$

$$296,63 \text{ kN} = 80,02 + 68,30 + 80,02 + 68,30 = 296,63 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = (80,02 + 68,30 + 80,02 + 68,30) \cdot (0,190 - 0,009) =$$

$$M_{Rd} = 53,74 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 53,74 \text{ kNm} > M_{Ed} = 44,04 \text{ kNm}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{sl, \min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d; \quad 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk/\eta_{env,t}}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d \\ &= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,190; \quad 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,190 \\ &> 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,190 \\ &= 2,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; \quad 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sl, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl, \min} \leq A_{sl} \leq A_{sl, \max}$$

$$\underline{2,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{sl} \leq s_{sl, \max} &= \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} = \\ &= \min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

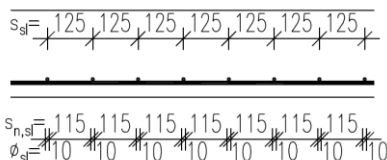
$$\underline{125 \text{ mm} < 300 \text{ mm}}$$

Minimální světla vzdálenost výztuže

$$s_{n, sl} = 115 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{n, sl} \geq s_{n, sl, \min} &= \max\{1,2 \cdot \phi_1; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = \\ &= \max\{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = \\ &= \max\{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{115 \text{ mm} > 20 \text{ mm}}$$



Obrázek 45: vzdálenosti výztuže pro spodní povrch – směr Y – přídatná

Přehled výztuže u dolního povrchu ve směru Y

rozmezí M_{Ed} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	základní výztuž	přídavná výztuž
0 - 20.1	27.29	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500	
20.1 - 44.04	53.74	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500	Combar 10/ 500 1.4301 10/ 500

5.3.3 mxD +**5.3.3.1 Základní uspořádání výztuže**

Základní uspořádání výztuže je navrženo na minimální plochu vyztužení.

Návrh výztuže:

GFRP $\emptyset 10/250$ mm, $A_{sl,F}=3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

CELKEM: $A_{sl} = A_{sl,F}=3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$d_l = c_{nom} + \frac{\emptyset_{sl}}{2} = 25 + \frac{10}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - d_l = 240 - 30 = 210 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,210 > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,210$$

$$= 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

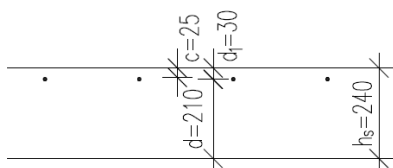
$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{2,73 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

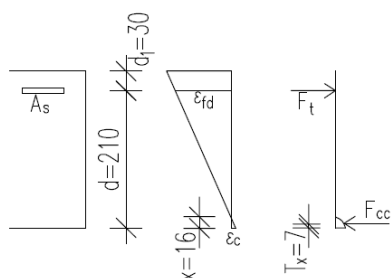
Posouzení únosnosti:*Poloha neutrálné osy při balančním porušení*

$$\varepsilon_{fd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 210 = 61 \text{ mm}$$



Obrázek 46: účinná výška d pro horní povrch – směr X – základní



Obrázek 47: stanovení únosnosti pro horní povrch – směr X – základní

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,061 \cdot 1,0 = 817,32 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x = 0,016 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,016}{0,215 - 0,016} = 0,0007$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \Rightarrow 0 \leq 0,0007 \leq 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0007}{0,002} \right)^2 \right] = 9,80 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,016 = 0,007 \text{ m}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 9,80 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 1,0 = 160,04 \text{ kN}$$

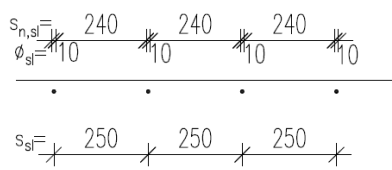
$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} \Rightarrow 160,04 \text{ kN} = 160,04 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = 160,04 \cdot (0,210 - 0,007) = 32,56 \text{ kNm}$$

$$\underline{\underline{M_{Rd} = 32,56 \text{ kNm}}}$$



Obrázek 48: vzdálenosti výztuže pro horní povrch – směr X – základní

Konstrukční zásady:*Maximální vzdálenosti výztuže*

$$s_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} = \min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$\underline{250 \text{ mm} < 300 \text{ mm}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max\{1,2 \cdot \phi_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{240 \text{ mm} > 20 \text{ mm}}$$

5.3.3.2 Přídavná výztuž

Návrh přídavné výztuže v místě maximálního momentu.

$$M_{Ed,x} = 109,63 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:**ZÁKLADNÍ VYZTUŽENÍ**

$$\text{GFRP } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,F} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

PŘÍDAVNÁ VÝZTUŽ

$$\text{GFRP } \phi 18/250 \text{ mm}, A_{sl,F1} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} + A_{sl,F1} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_{1,F} = c_{nom} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + \frac{10}{2} = 30 \text{ mm}$$

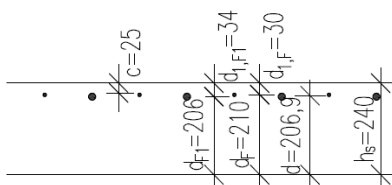
$$d_F = h - d_{1,F} = 240 - 30 = 210 \text{ mm}$$

$$d_{1,F1} = c_{nom} + \frac{\phi_{sl,1}}{2} = 25 + \frac{18}{2} = 34 \text{ mm}$$

$$d_{F1} = h - d_{1,F1} = 240 - 34 = 206 \text{ mm}$$

$$d = \frac{A_{sl,F} \cdot d_F + A_{sl,F1} \cdot d_{F1}}{A_{sl,F} + A_{sl,F1}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 210 + 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 206}{3,14 \cdot 10^{-4} + 1,02 \cdot 10^{-3}} =$$

$$d = 206,9 \text{ mm}$$



Obrázek 49: účinná výška d pro horní povrch – směr X – přídavná

Posouzení únosnosti:*Poloha neutrálné osy při balančním porušení*

$$\varepsilon_{fd}=0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 206,9 = 60 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,060 \cdot 1,0 = 805,42 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

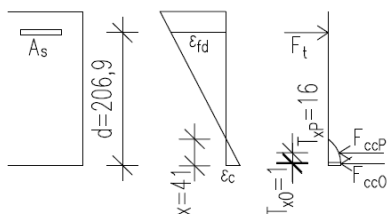
$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 442,55 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,F1} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.



Obrázek 50: stanovení únosnosti pro horní povrch – směr X – přídavná

$$x=0,041 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,041}{0,2069 - 0,041} = 0,0021$$

$$\varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \Rightarrow 0,002 \leq 0,0021 \leq 0,0035$$

$$\sigma_c = f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$x_p = \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_c} = \frac{0,002 \cdot 0,041}{0,0021} = 0,039 \text{ m}$$

$$T_{xp} = \frac{2}{5} \cdot x_p = \frac{2}{5} \cdot 0,039 = 0,016 \text{ m}$$

$$x_O = x - x_p = 0,041 - 0,039 = 0,002 \text{ m}$$

$$T_{xO} = \frac{1}{2} \cdot x_O = \frac{1}{2} \cdot 0,002 = 0,001 \text{ m}$$

$$F_{cO} = \sigma_c \cdot x_O \cdot b = 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,002 \cdot 1,0 = 25,96 \text{ kN}$$

$$F_{cP} = \sigma_c \cdot x_p \cdot b = 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,039 \cdot 1,0 = 652,62 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 518,53 \text{ kN}$$

$$F_{cO} + F_{cP} = F_{t,F} + F_{t,F1} \Rightarrow$$

$$25,96 + 652,62 = 678,57 \text{ kN} = 160,04 + 518,53 = 678,57 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + \sum F_c \cdot \left(\frac{h}{2} - T_x\right)$$

$$M_{Rd} = (160,04 + 518,53) \cdot \left(0,2069 - \frac{0,240}{2}\right) +$$

$$+ 25,96 \cdot \left(\frac{0,240}{2} - 0,001\right) +$$

$$+ 652,62 \cdot \left(\frac{0,240}{2} - 0,016 - 0,002\right) = 129,17 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 129,17 \text{ kNm} > M_{ed} = 109,63 \text{ kNm}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$= 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,2069 > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,2069$$

$$= 2,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{2,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 < 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

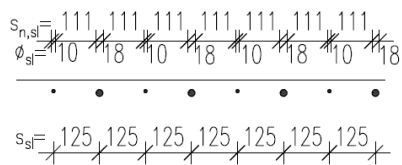
Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 125 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$\underline{125 \text{ mm} < 300 \text{ mm}}$$



Obrázek 51: vzdálenosti výztuže pro horní povrch – směr X – přídatná

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 111 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max \{1,2 \cdot \phi_1; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max \{1,2 \cdot 18; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max \{21,6 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 21,6 \text{ mm}$$

$$\underline{111 \text{ mm} > 21,6 \text{ mm}}$$

Přehled výztuže u horního povrchu ve směru X.

Zde byl rozepsán postup pro maximální moment, pro který bylo nutné navrhnout přídavnou výztuž. Pro ostatní místa, kde bylo nutné navrhnout přídavnou výztuž byl postup obdobný.

rozmezí M_{Ed} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	základní výztuž	přídavná výztuž
0 - 30.94	32.56	Combar 10/ 250	
30.94 - 68.54	77.54	Combar 10/ 250	Combar 12/ 250
68.54 - 109.63	129.17	Combar 10/ 250	Combar 18/ 250

5.3.4 myD +**5.3.4.1 Základní uspořádání výztuže**

Základní uspořádání výztuže je navrženo na minimální plochu vyztužení.

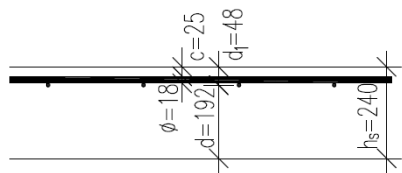
Návrh výztuže:

$$\text{GFRP } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,F} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d_1 = c_{nom} + \phi_{sl} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + 18 + \frac{10}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 240 - 48 = 192 \text{ mm}$$

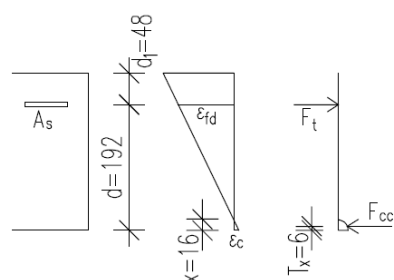


Obrázek 52: účinná výška d pro horní povrch – směr Y – základní

Minimální plocha výztuže

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,192 > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,192$$



Obrázek 53: stanovení únosnosti pro horní povrch – směr Y – základní

$$= 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \leq 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrálné osy při balančním porušení

$$\varepsilon_{fd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 192 = 56 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,056 \cdot 1,0 = 747,26 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x = 0,016 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,016}{0,192 - 0,016} = 0,0008$$

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \Rightarrow 0 \leq 0,0008 \leq 0,002$$

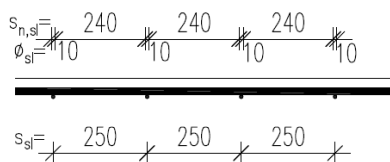
$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cu2}} \right)^n \right] = 16,67 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{0,0008}{0,002} \right)^2 \right] = 10,21 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{2}{5} \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 0,016 = 0,006 \text{ m}$$

$$F_c = \sigma_c \cdot x \cdot b = 10,21 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 1,0 = 160,04 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$$F_c = F_{t,F} \Rightarrow 160,04 \text{ kN} = 160,04 \text{ kN}$$



Obrázek 54: vzdálenosti výztuže pro horní povrch – směr Y – základní

$$M_{Rd} = \sum F_t \cdot (d - T_x)$$

$$M_{Rd} = 160,04 \cdot (0,192 - 0,006) = 29,72 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 29,72 \text{ kNm}}$$

Konstrukční zásady:

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} = \min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$$

$$\underline{250 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max\{1,2 \cdot \phi_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{1,2 \cdot 10; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max\{12 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 20 \text{ mm}$$

$$\underline{240 \text{ mm} > 20 \text{ mm}}$$

5.3.4.2 Přídavná výztuž

Návrh přídavné výztuže v místě maximálního momentu.

$$M_{Ed,y} = 107,38 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

ZÁKLADNÍ VÝZTUŽENÍ

$$\text{GFRP } \phi 10/250 \text{ mm}, A_{sl,F} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

PŘÍDAVNÁ VÝZTUŽ

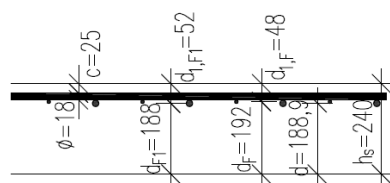
$$\text{GFRP } \phi 18/250 \text{ mm}, A_{sl,F1} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{CELKEM: } A_{sl} = A_{sl,F} + A_{sl,F1} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_{1,F} = c_{nom} + \phi_{sl} + \frac{\phi_{sl}}{2} = 25 + 18 + \frac{10}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$d_F = h - d_{1,F} = 240 - 48 = 192 \text{ mm}$$

$$d_{1,F1} = c_{nom} + \phi_{sl} + \frac{\phi_{sl,1}}{2} = 25 + 18 + \frac{18}{2} = 52 \text{ mm}$$



Obrázek 55: účinná výška d pro horní povrch – směr Y – přídavná

$$d_{F1} = h - d_{1,F1} = 240 - 52 = 188 \text{ mm}$$

$$d = \frac{A_{sl,F} \cdot d_F + A_{sl,F1} \cdot d_{F1}}{A_{sl,F} + A_{sl,F1}} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 192 + 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 188}{3,14 \cdot 10^{-4} + 1,02 \cdot 10^{-3}} =$$

$$d = 188,9 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti:

Poloha neutrálné osy při balančním porušení

$$\varepsilon_{fd} = 0,0085$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{fd}} \cdot d = \frac{0,00035}{0,00035 + 0,0085} \cdot 188,9 = 55 \text{ mm}$$

$$F_{cc} = \lambda \cdot f_{cd} \cdot x_{bal} \cdot b = 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,055 \cdot 1,0 = 735,37 \text{ kN}$$

$$F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$$

$$F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 442,55 \text{ kN}$$

$F_{cc} > F_{t,F} + F_{t,F1} \Rightarrow$ Předpokládá se porušení vlivem přetržením výztuže.

Moment na mezi únosnosti

Předpokládá se porušení výztuže a je tedy uvažováno maximální přetvoření GFRP výztuže ε_{fd} , v betonu nedojde k limitnímu přetvoření betonu ε_{cu2} , průběh napětí nelze nahradit obdélníkem a pro výpočet je tak použit parabolicko-rektangulární diagram betonu.

Poloha neutrálné osy x byla spočtena iteračně pomocí MS Excel.

$$x = 0,041 \text{ m}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{fd} \cdot x}{d - x} = \frac{0,0085 \cdot 0,041}{0,1889 - 0,041} = 0,0023$$

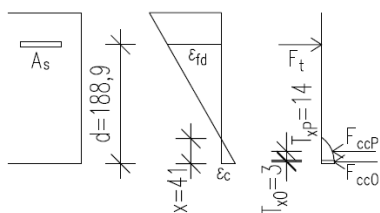
$$\varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \Rightarrow 0,002 \leq 0,0023 \leq 0,0035$$

$$\sigma_c = f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

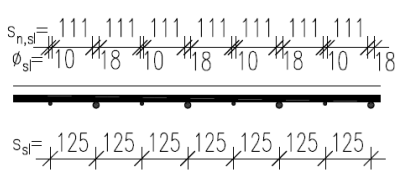
$$x_p = \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_c} = \frac{0,002 \cdot 0,041}{0,0023} = 0,035 \text{ m}$$

$$T_{xp} = \frac{2}{5} \cdot x_p = \frac{2}{5} \cdot 0,035 = 0,014 \text{ m}$$

$$x_O = x - x_p = 0,041 - 0,035 = 0,006 \text{ m}$$



Obrázek 56: stanovení únosnosti pro horní povrch – směr Y – přídatná

 <p>Obrázek 57: vzdálenosti výztuže pro horní povrch – směr Y – přídatná</p>	$T_{xO} = \frac{1}{2} \cdot x_O = \frac{1}{2} \cdot 0,006 = 0,003 \text{ m}$ $F_{cO} = \sigma_c \cdot x_O \cdot b = 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,006 \cdot 1,0 = 96,62 \text{ kN}$ $F_{cP} = \sigma_c \cdot x_P \cdot b = 16,67 \cdot 10^3 \cdot 0,035 \cdot 1,0 = 581,95 \text{ kN}$ $F_{t,F} = A_{sl,F} \cdot f_{fd} = 3,14 \cdot 10^{-4} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 160,04 \text{ kN}$ $F_{t,F1} = A_{sl,F1} \cdot f_{fd} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 509,42 \cdot 10^3 = 518,53 \text{ kN}$ $F_{cO} + F_{cP} = F_{t,F} + F_{t,F1} \Rightarrow$ $96,62 + 581,95 = 678,57 \text{ kN} = 160,04 + 518,53 = 678,57 \text{ kN}$ $M_{Rd} = \sum F_t \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + \sum F_c \cdot \left(\frac{h}{2} - T_x\right)$ $M_{Rd} = (160,04 + 518,53) \cdot \left(0,1889 - \frac{0,240}{2}\right) +$ $+ 96,62 \cdot \left(\frac{0,240}{2} - 0,003\right) +$ $+ 581,95 \cdot \left(\frac{0,240}{2} - 0,015 - 0,006\right) = 116,43 \text{ kNm}$ <p><u>$M_{Rd} = 116,43 \text{ kNm} > M_{ed} = 107,38 \text{ kNm}$</u></p> <p>Konstrukční zásady:</p> <p><i>Minimální plocha výztuže</i></p> $A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{fk}/\eta_{env,t}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$ $= 0,26 \cdot \frac{2,6}{1000/1,51} \cdot 1,0 \cdot 0,1889 > 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,1889$ $= 1,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ $A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,240 = 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ $A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$ <p><u>$2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 < 9,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$</u></p> <p><i>Maximální vzdálenosti výztuže</i></p> $s_{sl} = 125 \text{ mm}$ $s_{sl} \leq s_{sl,max} = \min\{2 \cdot h; 300 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 240; 300 \text{ mm}\} =$ $\min\{480 \text{ mm}; 300 \text{ mm}\} = 300 \text{ mm}$ <p><u>$125 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$</u></p>
---	--

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 111 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max \{1,2 \cdot \phi_1; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max \{1,2 \cdot 18; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} =$$

$$\max \{21,6 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\} = 21,6 \text{ mm}$$

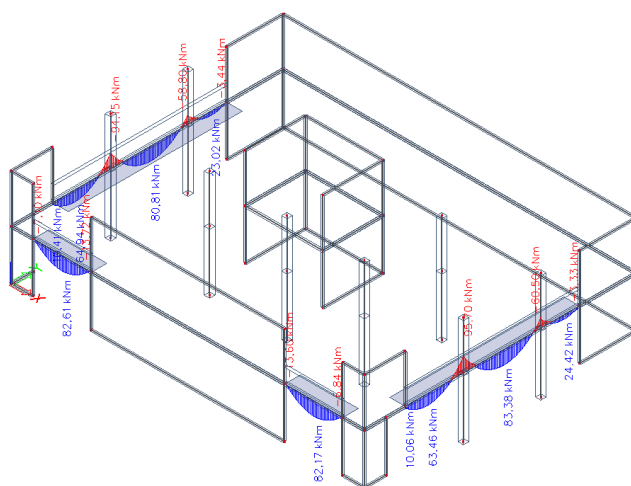
$$\underline{111 \text{ mm} > 21,6 \text{ mm}}$$

Přehled výztuže u horního povrchu ve směru Y.

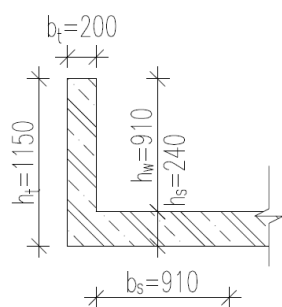
Zde byl rozepsán postup pro maximální moment, pro který bylo nutné navrhnout přídavnou výztuž. Pro ostatní místa, kde bylo nutné navrhnout přídavnou výztuž byl postup obdobný.

rozmezí M_{Ed} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	základní výztuž	přídavná výztuž
0 - 28.06	29.72	Combar 10/ 250	
28.06 - 50.63	58.48	Combar 10/ 250	Combar 10/ 250
50.63 - 70.41	84.68	Combar 10/ 250	Combar 14/ 250
70.41 - 107.38	116.43	Combar 10/ 250	Combar 18/ 250

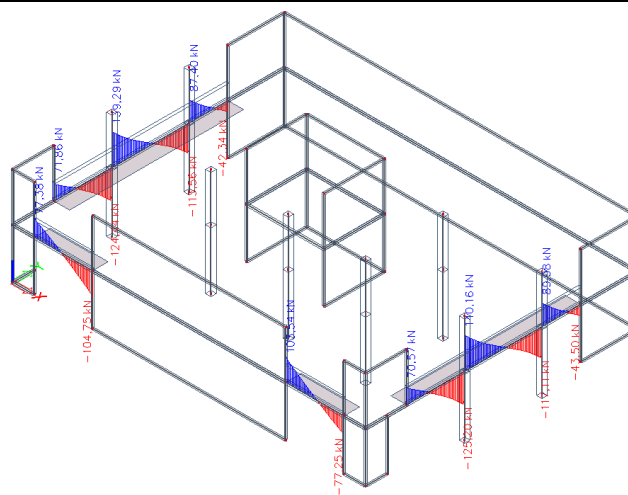
5.4 Návrh a posouzení ztužujícího žebra



Obrázek 58: ohybové momenty ztužujících žebra



Obrázek 60: železobetonové žebro se spolupůsobící šířkou desky



Obrázek 59: posouvající síly ztužujících žebor

Pro ruční výpočet se bude zjednodušeně uvažovat vodorovná neutrální osa.

$$h_t = 1150 \text{ mm}$$

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

$$c_{\text{nom}} = 35 \text{ mm}$$

5.4.1 Návrh a posouzení dolní ohybové výztuže

$$M_{\text{ed}} = 83,38 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:

třmínky: OCEL $\varnothing 8 \text{ mm}$

podélná výztuž: OCEL $3\varnothing 18 \text{ mm}$, $A_{\text{sl}} = 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$d_1 = c_{\text{nom}} + \varnothing_{\text{tr}} + \frac{\varnothing_{\text{sl}}}{2} = 35 + 8 + \frac{18}{2} = 52 \text{ mm}$$

$$d = h_t - d_1 = 1150 - 52 = 1098 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{\text{yd}}}{\lambda \cdot b_t \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,200 \cdot 16,67 \cdot 10^3} = 0,124 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{\text{cu}2}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,124} \cdot (1,098 - 0,124) = 0,0274$$

$$\varepsilon_s = 0,0274 > \varepsilon_{\text{yd}} = 0,0022$$

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 1,098 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,124 = 1,048 \text{ m}$$

$$M_{\text{Rd}} = A_{\text{sl}} \cdot f_{\text{yd}} \cdot z_c = 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,048 = 347,92 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd}=347,92 \text{ kNm} > M_{ed}=83,38 \text{ kNm}}$$

Konstrukční zásady:*Minimální plocha výztuže*

$$A_{sl,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 0,390 \cdot 1,097 > 0,0013 \cdot 0,390 \cdot 1,097$$

$$= 5,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 5,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,390 \cdot 1,150 = 1,79 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{sl,min} \leq A_{sl} \leq A_{sl,max}$$

$$\underline{5,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 1,79 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}$$

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 47 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl,max} = 200 \text{ mm}$$

$$\underline{47 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n,sl} = 30 \text{ mm}$$

$$s_{n,sl} \geq s_{n,sl,min} = \max \{ 1,2 \cdot \varnothing_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} =$$

$$\max \{ 1,2 \cdot 18; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} =$$

$$\max \{ 21,6 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 21,6 \text{ mm}$$

$$30 \text{ mm} \geq 21,6 \text{ mm}$$

5.4.2 Návrh a posouzení horní ohybové výztuže

$$M_{ed} = 95,70 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže:třmínky: OCEL $\varnothing 8 \text{ mm}$ podélná výztuž: OCEL 3 $\varnothing 18 \text{ mm}$, $A_{sl} = 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$d_l = c_{nom} + \varnothing_{tr} + \frac{\varnothing_{sl}}{2} = 35 + 8 + \frac{18}{2} = 52 \text{ mm}$$

$$d = h_t - d_l = 1150 - 52 = 1098 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{cd}} = \frac{7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,100 \cdot 16,67 \cdot 10^3} = 0,022 \text{ m}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu2}}{x} \cdot (d-x) = \frac{0,0035}{0,022} \cdot (1,098 - 0,022) = 0,1679$$

$$\varepsilon_s = 0,1679 > \varepsilon_{yd} = 0,0022$$

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 1,098 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1,098 = 1,089 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_{sl} \cdot f_{yd} \cdot z_c = 7,63 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,089 = 361,47 \text{ kNm}$$

$$\underline{\underline{M_{Rd} = 361,47 \text{ kNm} > M_{ed} = 95,70 \text{ kNm}}}$$

Konstrukční zásady:

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{sl, \min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d > 0,0013 \cdot b \cdot d \\ &= 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 0,390 \cdot 1,098 > 0,0013 \cdot 0,390 \cdot 1,098 \\ &= 5,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > 5,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sl, \max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 0,390 \cdot 1,150 = 1,79 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{sl, \min} \leq A_{sl} \leq A_{sl, \max}$$

$$\underline{\underline{5,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < 1,79 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}}$$

Maximální vzdálenosti výztuže

$$s_{sl} = 47 \text{ mm}$$

$$s_{sl} \leq s_{sl, \max} = 200 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{47 \text{ mm} < 200 \text{ mm}}}$$

Minimální světlá vzdálenost výztuže

$$s_{n, sl} = 30 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{n, sl} \geq s_{n, sl, \min} &= \max \{ 1,2 \cdot \phi_l; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = \\ &= \max \{ 1,2 \cdot 20; 11 + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = \\ &= \max \{ 24 \text{ mm}; 16 \text{ mm}; 20 \text{ mm} \} = 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{30 \text{ mm} > 24 \text{ mm}}}$$

5.4.3 Posouzení smykové únosnosti

$$V_{Ed} = 140,16 \text{ kN}$$

Únosnost bez smykové výztuže:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd,cmin} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d$$

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

$$k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0,15 \cdot 0 = 0$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1098}} = 1,427 \leq 2,00$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} = \frac{7,63 \cdot 10^{-4}}{0,200 \cdot 1,097} = 0,0035 \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,427^{\frac{3}{2}} \cdot 25^{\frac{1}{2}} = 0,298 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,427 \cdot (100 \cdot 0,0035 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \cdot 0,200 \cdot 1,098 \cdot 10^3$$

$$= 77,30 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cmin} = (0,298 \cdot 10^3 + 0) \cdot 0,200 \cdot 1,098 = 65,50 \text{ kN}$$

$$\underline{V_{Rd,c} = 77,30 \text{ kN} < V_{Rd,cmin} = 65,50 \text{ kN}}$$

$$\underline{V_{Rd,cmin} = 65,50 \text{ kN} < V_{Ed} = 140,16 \text{ kN}} \Rightarrow \text{návrh smykové výztuže}$$

Posouzení tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,540$$

$$\cot(\theta) = \cot(35) = 1,428$$

$$\tan(\theta) = \tan(35) = 0,700$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1 \cdot 0,200 \cdot 1,048 \cdot 0,540 \cdot 16,67 \cdot 10^3}{1,428 + 0,700} = 886,50 \text{ kN}$$

$$\underline{V_{Rd,max} = 886,50 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 140,16 \text{ kN}}$$

Konstrukční zásady:

NAVRŽENO: DVOJSTŘIŽNÝ TŘMÍNEK

$$\text{OCEL } \emptyset 8, n_{st} = 2, A_{sw} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta) \Rightarrow s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot(\theta)$$

$$s = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{140,16} \cdot 1,048 \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 1,428 = 0,467 \text{ m} \Rightarrow 250 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost třmínek

$$s = 250 \text{ mm}$$

$$s \leq s_{\max} = \min\{0,75 \cdot d; 400 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{0,75 \cdot 1098; 400 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{824 \text{ mm}; 400 \text{ mm}\} = 400 \text{ mm}$$

$$\underline{250 \text{ mm} < 400 \text{ mm}}$$

Osová vzdálenost větví třmínek

$$s_t = b_w - 2 \cdot c - \emptyset_{st} = 200 - 2 \cdot 35 - 8 = 122 \text{ mm}$$

$$s_t \leq s_{t,\max} = \min\{0,75 \cdot d; 600 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{0,75 \cdot 1098; 600 \text{ mm}\} =$$

$$\min\{824 \text{ mm}; 600 \text{ mm}\} = 600 \text{ mm}$$

$$\underline{122 \text{ mm} < 600 \text{ mm}}$$

Míra vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,200 \cdot 0,200} = 0,0025$$

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

$$\underline{\rho_w = 0,0025 > \rho_{w,\min} = 0,0008}$$

5.5 Kotevní délky

Ocelová výztuž:

Výztuž v poli u dolního okraje: $\emptyset 10 \text{ mm}$

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

$$\eta_1 = 1,0; h < 0,6 \text{ m}$$

$$\eta_2 = 1,0; \emptyset < 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,20 = 2,70 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí

kotveno na plné napětí

$$\sigma_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,70} = 403 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

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

$$\alpha_1 = 1,0$$

$$\alpha_2 = 0,7$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,7 \geq 0,7$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 403 = 282 \text{ mm} \Rightarrow l_{bd} = 285 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{bd,min} &= \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 403; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) \\ &= \max(121; 100; 100) = 121 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{l_{bd} = 285 \text{ mm} > 121 \text{ mm}}$$

GFRP výztuž:

Výztuž v poli u dolního okraje: $\varnothing 10 \text{ mm}$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti vychází z doporučení výrobce, dobré podmínky kotvení $h < 250 \text{ mm}$.

$$f_{fbd} = 2,26 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí

kotveno na plné napětí

$$\sigma_{fd} = 509,42 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{fd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{509,42}{2,26} = 564 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_1 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 564 = 564 \text{ mm} \Rightarrow l_{bd} = 565 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{bd,min} &= \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 564; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) \\ &= \max(169; 100; 100) = 169 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{l_{bd} = 565 \text{ mm} > 169 \text{ mm}}$$

Přehled kotevních délek.

typ v.	ϕ [mm]	$l_{b,rqd}$ [mm]	l_{bd} [mm]	návrh l_{bd} [mm]	$l_{bd,min}$ [mm]
OCEL	10	403	282	285	121
GFRP	10	564	564	565	169
GFRP	12	676	676	680	203
GFRP	14	789	789	790	237
GFRP	18	1014	1014	1015	304

5.6 Přesahy stykované výztuže

Ocelová výztuž:

Výztuž v poli u dolního okraje: $\phi 10$ mm

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

$\alpha_6 = 1,4$ střídavé stykování – 50 % v průřezu stykováno přesahem

$$l_0 = 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 403 = 395 \text{ mm} \Rightarrow l_0 = 395 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 200 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 1,4 \cdot 403; 15 \cdot 10; 200 \text{ mm}) \\ &= \max(169; 150; 200) = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_0 = 395 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

GFRP výztuž:

Výztuž v poli u dolního okraje: $\emptyset 10$ mm

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

$\alpha_6 = 1,4$ střídavé stykování – 50 % v průřezu stykováno přesahem

$$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 564 = 789 \text{ mm} \Rightarrow l_0 = 790 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 200 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 1,4 \cdot 564; 15 \cdot 10; 200 \text{ mm}) \\ &= \max(237; 150; 200) = 237 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\underline{l_{bd} = 790 \text{ mm} > 237 \text{ mm}}$$

Přehled přesahů stykovaných výztuží.

typ v.	ϕ [mm]	$l_{bd,rqd}$ [mm]	l_0 [mm]	návrh l_0 [mm]	$l_{0,min}$ [mm]
OCEL	10	403	395	395	200
GFRP	10	564	789	790	237
GFRP	12	676	947	950	284
GFRP	14	789	1105	1105	331
GFRP	18	1014	1420	1425	426

5.7 Výztuž proti řetězovému zřícení

$$f = \max\{\sum q_d; 2 \sum g_d\} = \max\{3 \cdot 1,5; 2 \cdot (6 + 2,355 + 1,2) \cdot 1,35\}$$

$$f = \max\{4,50; 12,90\} = 12,90 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{sd,x} = \frac{f \cdot L_{n,x} \cdot L_y}{2,5} = \frac{12,90 \cdot 5,7 \cdot 5,7}{2,5} = 167,64 \text{ kN}$$

$$N_{sd,y} = \frac{f \cdot L_{n,y} \cdot L_x}{2,5} = \frac{12,90 \cdot 5,7 \cdot 5,7}{2,5} = 167,64 \text{ kN}$$

$$A_{s,x} = \frac{N_{sd,x}}{f_{yd}} = \frac{167,64}{434,78 \cdot 10^3} = 3,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,y} = \frac{N_{sd,y}}{f_{yd}} = \frac{167,64}{434,78 \cdot 10^3} = 3,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH:

směr X: OCEL 2Ø18, $A_s=5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

směr Y: OCEL 2Ø18, $A_s=5,09 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Kotevní délka:

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

$$\eta_1 = 1,0; h < 0,6 \text{ m}$$

$$\eta_2 = 1,0; \varnothing < 32 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,20 = 2,70 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí

kotveno na plné napětí

$$\sigma_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,78}{2,70} = 725 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka

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

$$\alpha_1 = 1,0$$

$$\alpha_2 = 0,7$$

$$\alpha_3 = 1,0$$

$$\alpha_4 = 1,0$$

$$\alpha_5 = 1,0$$

$$\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,7 \geq 0,7$$

$$l_{bd} = 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 725 = 507 \text{ mm} \Rightarrow l_{bd} = 510 \text{ mm}$$

$$l_{bd,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm})$$

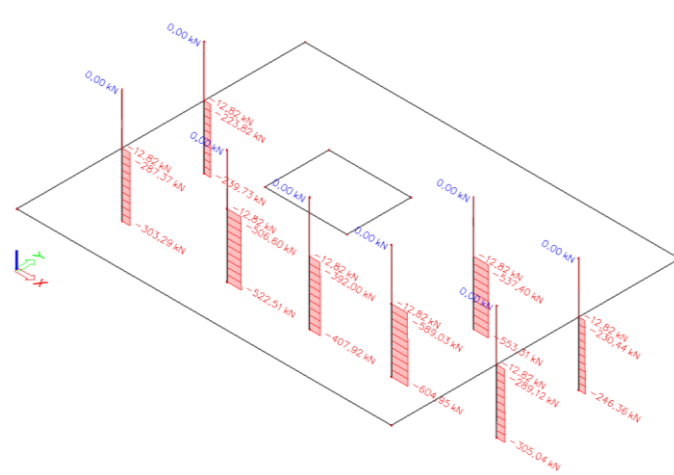
$$= \max(0,3 \cdot 725; 10 \cdot 18; 100 \text{ mm})$$

$$= \max(217; 180; 100) = 217 \text{ mm}$$

$$\underline{l_{bd} = 510 \text{ mm} > 217 \text{ mm}}$$

5.8 Návrh a posouzení výztuže na protlačení

Podrobný výpočet je uveden pouze místo podepření s maximální posouvající silou.



Obrázek 61: posouvající síly v místě lokálního podepření

5.8.1 Posouzení pro maximální sílu

$$V_{Ed,max}=589,03 \text{ kN}$$

Sousední pole se neliší o více než 25 %, je možné použít součinitel β pro vnitřní sloup.

$$\beta=1,15$$

Smyková únosnost na obvodu sloupu:

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,2069 + 0,1889}{2} = 0,1979 \text{ m}$$

$$u_0 = 2 \cdot (c_x + c_y) = 2 \cdot (0,350 + 0,350) = 1,400 \text{ m}$$

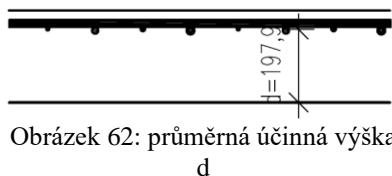
$$v_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{589,03}{1,400 \cdot 0,1979} = 2,444 \text{ MPa}$$

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

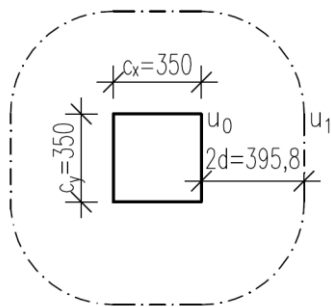
$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{25,0}{250} \right] = 0,54$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,54 \cdot 16,67 = 3,600 \text{ MPa}$$

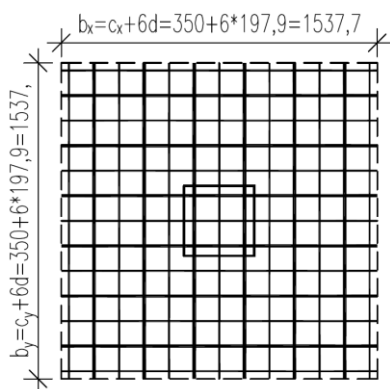
$$\underline{\underline{v_{Rd,max} = 3,600 \text{ MPa} > v_{Ed,0} = 2,444 \text{ MPa}}}$$



Obrázek 62: průměrná účinná výška d



Obrázek 63: rozměry sloupu a kontrolované obvody



Obrázek 64: uspořádání výztuže pro výpočet stupně výztužení

Posouzení prvního kontrolního obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot (c_x + c_y) + 2 \cdot \pi \cdot d = 2 \cdot (0,350 + 0,350) + 2 \cdot \pi \cdot 0,1979$$

$$u_1 = 3,8874 \text{ m}$$

$$v_{Ed,1} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{589,03}{3,8874 \cdot 0,1979} = 0,880 \text{ MPa}$$

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \Rightarrow 1 + \sqrt{\frac{200}{0,1979}} = 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{(\rho_{x,l} + \rho_{x,p}) \cdot (\rho_{y,l} + \rho_{y,p})}$$

$$\rho_{x,l} = \frac{A_{fx,l}}{b_y \cdot d_{x,l}} = \frac{5,50 \cdot 10^{-4}}{1,5377 \cdot 0,210} = 0,00170$$

$$\rho_{x,p} = \frac{A_{fx,p}}{b_y \cdot d_{x,p}} = \frac{1,53 \cdot 10^{-3}}{1,5377 \cdot 0,206} = 0,00482$$

$$\rho_{y,l} = \frac{A_{fy}}{b_x \cdot d_{y,l}} = \frac{5,50 \cdot 10^{-4}}{1,5377 \cdot 0,192} = 0,00186$$

$$\rho_{y,p} = \frac{A_{fy}}{b_x \cdot d_{y,p}} = \frac{1,53 \cdot 10^{-3}}{1,5377 \cdot 0,188} = 0,00528$$

$$\rho_l = \sqrt{(0,00170 + 0,00482) \cdot (0,00186 + 0,00528)} = 0,00683$$

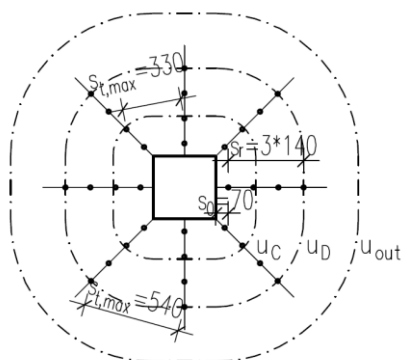
$$c_{FRP} = \frac{E_f}{E_s} \cdot \frac{\epsilon_{f,LT}}{\epsilon_y} = \frac{60}{200} \cdot \frac{0,005}{0,00217} = 0,690$$

$$v_{Rd,c,FRP} = 0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00683 \cdot 0,690 \cdot 25,0)^{\frac{1}{3}} = 0,546 \text{ MPa}$$

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

$$v_{Rd,c,FRP} = 0,546 \text{ MPa} \geq v_{min} = 0,495 \text{ MPa}$$

$v_{Rd,c,FRP} = 0,546 \text{ MPa} < v_{Ed,1} = 0,880 \text{ MPa} \Rightarrow$ nutný návrh smykové výztuže



Obrázek 65: návrh a uspořádání smykových trnů

Návrh smykové výztuže:

$$k \cdot v_{Rd,c,FRP} = 1,45 \cdot 0,546 = 0,792 \text{ MPa} < v_{Ed,1} = 0,880 \text{ MPa} \Rightarrow$$

Z provedených zkoušek v teoretické části této diplomové práce je u GFRP třmínků významné omezení vlivem drcení tlačенých betonových vzpěr. Jako smyková výztuž jsou navrženy smykové ocelové trny.

Obvod, ve kterém není nutná smyková výztuž

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c,FRP} \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{589,03}{546 \cdot 0,1979} = 6,267 \text{ m}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 2 \cdot (c_1 + c_2)}{2\pi} = \frac{6,267 - 2 \cdot (0,350 + 0,350)}{2\pi} = 0,775 \text{ m}$$

Stanovení oblasti (C)

$$r_c = 1,125 \cdot d = 1,125 \cdot 0,1979 = 0,223 \text{ m}$$

$$u_c = 2 \cdot (c_x + c_y) + 2 \cdot \pi \cdot r_c = 2 \cdot (0,350 + 0,350) + 2 \cdot \pi \cdot 0,223 = 2,799 \text{ m}$$

Stanovení oblasti (D)

$$r_d > r_{out} - 1,5 \cdot d = 0,775 - 1,5 \cdot 0,1979 = 0,478 \text{ m}$$

$$r_d > 0,478 \text{ m} \Rightarrow r_d = 0,490 \text{ m}$$

$$u_d = 2 \cdot (c_x + c_y) + 2 \cdot \pi \cdot r_d = 2 \cdot (0,350 + 0,350) + 2 \cdot \pi \cdot 0,490 = 4,479 \text{ m}$$

Konstrukční zásady:

První řada od líce sloupu

$$0,35 \cdot d < s_0 < 0,5 \cdot d \Rightarrow 0,35 \cdot 0,1979 < s_0 < 0,5 \cdot 0,1979$$

$$0,069 \text{ m} < s_0 < 0,099 \text{ m} \Rightarrow s_0 = 0,070 \text{ m}$$

Radiální vzdálenost trnů

$$s_r < 0,75 \cdot d \Rightarrow s_r < 0,75 \cdot 0,1979$$

$$s_r < 0,148 \text{ m} \Rightarrow s_r = 0,140 \text{ m}$$

Maximální tangenciální vzdálenost trnů

do vzdálenosti 1,0d:

$$s_{t,max,1d} = 1,7 \cdot d = 1,7 \cdot 0,1979 = 0,337 \text{ m}$$

v oblasti D:

$$s_{t,max} = 3,5 \cdot d = 3,5 \cdot 0,1979 = 0,693 \text{ m}$$

Návrh počtu trnů a řad:*Počet lišt*

délka obvodu ve vzdálenosti $1,0d$ od líce sloupu:

$$u_{1d} = 2 \cdot (c_x + c_y) + 2 \cdot \pi \cdot d = 2 \cdot (0,350 + 0,350) + 2 \cdot \pi \cdot 0,1979 = 2,643 \text{ m}$$

$$m_c = \frac{u_{1d}}{s_{t,\max,1d}} = \frac{2,643}{0,337} = 7,86 \Rightarrow 8 \text{ řad v oblasti (C)}$$

Počet trnů v jedné řadě v oblasti (C)

$$n_c = 1 + \frac{r_c - s_0}{s_r} = 1 + \frac{0,223 - 0,070}{0,140} = 2,09 \Rightarrow 2 \text{ trny v oblasti (C)}$$

Ověření únosnosti:

Počet trnů v řadě v oblasti (C): $n_c = 2$ trny

Počet řad v oblasti (C): $m_c = 8$ řad

Průměr trnů: $\emptyset = 12 \text{ mm}$

Faktor účinné výšky: $\eta = 1,0$

Minimální počet trnů v celé řadě

$$n_c = 1 + \frac{r_d - s_0}{s_r} = 1 + \frac{0,490 - 0,070}{0,140} = 4,00 \Rightarrow 4 \text{ trnů v řadě}$$

Únosnost desky se smykovou výztuží

$$V_{Rd,sy} = m_c \cdot n_c \cdot \frac{d_A^2 \cdot \pi \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_s \cdot \eta} = 8 \cdot 2 \cdot \frac{0,012^2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 10^3}{4 \cdot 1,15 \cdot 1,0} = 786,76 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,\max} = 1,96 \cdot V_{Rd,c,FRP} \cdot u_1 \cdot d = 1,96 \cdot 0,546 \cdot 3,3887 \cdot 0,1979$$

$$V_{Rd,\max} = 823,49 \text{ kN}$$

$$\beta \cdot V_{ed} = 1,1 \cdot 589,03 = 647,93 \text{ kN}$$

$$\beta \cdot V_{ed} = 647,93 \text{ kN} < V_{Rd,sy} = 786,76 \text{ kN} < V_{Rd,\max} = 823,49 \text{ kN}$$

6 Posouzení na MSP

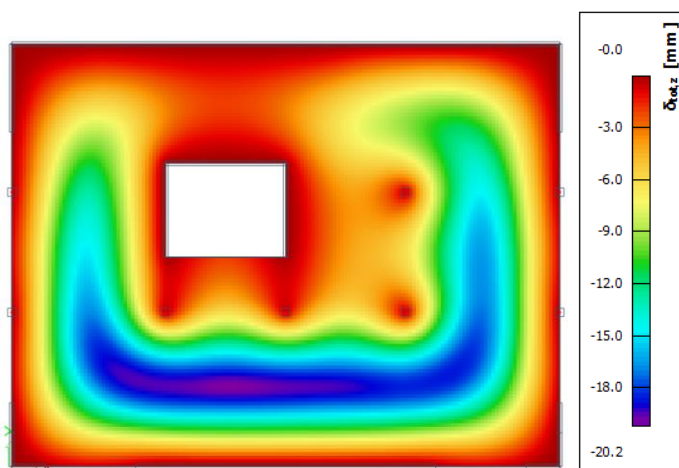
Maximální dlouhodobý průhyb konstrukce byl zjištěn pomocí softwaru SCIA Engineer 20.0.

návrhová životnost stavby: 50 let

součinitel dotvarování pro $t_0=28$ dní: $\varphi(\infty;t_0)=2,5$

maximální hodnota celkového průhybu

$$f_{\max} = \frac{L_{\max}}{250} = \frac{6400}{250} = 25,6 \text{ mm}$$



Obrázek 66: dlouhodobý průhyb

$$\underline{f=20,2 \text{ mm} < f_{\max}=25,6 \text{ mm}}$$