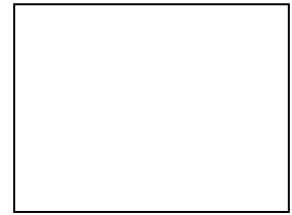
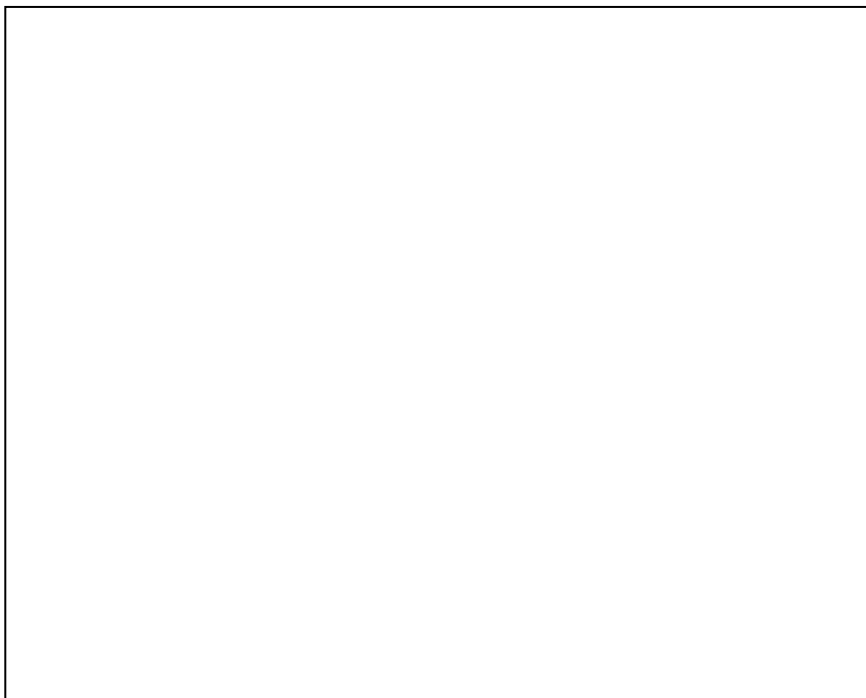


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



**KONSTRUKČNÍ NÁVRH SKOŘEPINY RODINNÉHO
DOMU**

OPTIMALIZACE SKOŘEPINY



Vypracovala:
Vedoucí diplomové práce
Studijní program:
Studijní obor:
Akademický rok:

Bc. Bára Beštová
Ing. Hana Hanzlová, CSc.
Stavební inženýrství
Konstrukce pozemních staveb
2016/2017

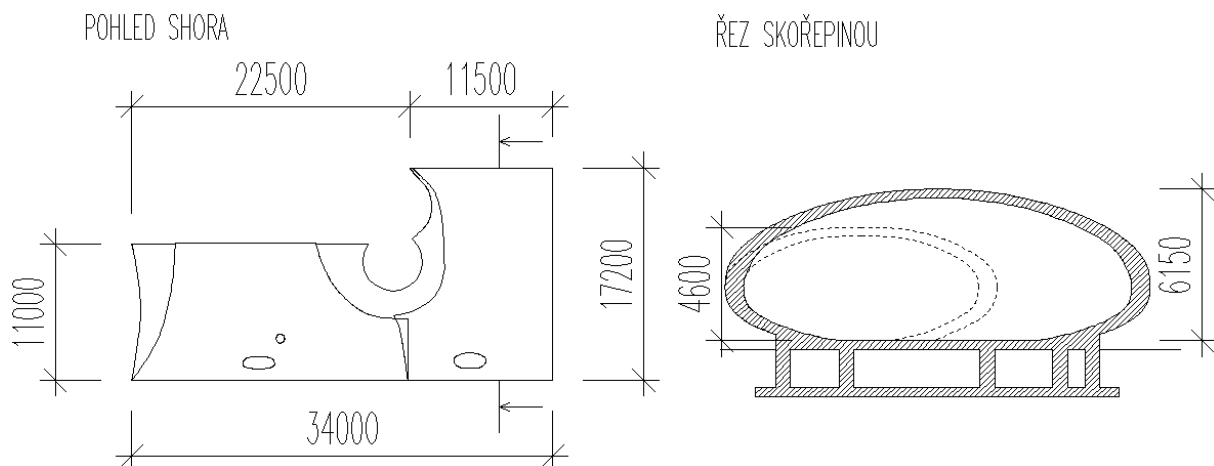
Vzhledem tomu, že nebylo možné získat souhlas autorů použitých obrázků, nejsou obrázky zveřejněny. Verze práce i s obrázky a příslušnými odkazy na zdroje je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí.

Obsah

1. Úvod	1
2. Optimalizace - Železobetonová skořepina	2
2.1 Úvod	2
2.2 Optimalizace tloušťky	2
2.2.1 Návrh a posouzení podle MSÚ a MSP skořepina tl.200mm	2
2.2.2 Kontrola průhybů	5
2.2.2.1 Kontrola průhybu skořepiny tl.200mm	5
2.2.2.2 Kontrola průhybu skořepiny tl.250mm	7
2.2.2.3 Kontrola průhybu skořepiny tl.300mm	9
2.3 Schéma vyztužení železobetonové varianty tl.200mm	12
3. Optimalizace - Drátkobetonová skořepina	14
3.1 FRC 50/60	14
3.1.1 Úvod	14
3.1.2 Materiálové charakteristiky	14
3.1.3 Sestavení interakčního diagramu	14
3.1.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ	16
3.1.5 Kontrola průhybu	19
3.2 FRC 33/37	20
3.2.1 Úvod	20
3.2.2 Materiálové charakteristiky	20
3.2.3 Sestavení interakčního diagramu	20
3.2.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ	21
3.2.5 Kontrola průhybu	26
4. Drátkobeton v kombinaci s betonářskou výztuží	27
4.1 Úvod	27
4.2 Materiálové charakteristiky	27
4.3 Sestavení interakčního diagramu	27
4.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ	31
4.5 Kontrola skořepiny z hlediska MSP	35
4.5.1 Kontrola průhybu	35
4.5.2 Kontrola šířky trhliny	36
4.6 Schéma vyztužení DB skořepiny v kombinaci s bet. výztuží	38
5. Vyhodnocení navrhovaných variant	40
6. Zdroje	45

1. Úvod

Ve statickém výpočtu byla podrobně dimenzována železobetonová skořepina, jejíž rozměry byly převzaty z architektonické studie. Na bocích měla skořepina 750mm a ve spodní části a ve vrchlíku 350mm. Pro zjednodušení dimenzování bylo vybráno 10 typických průřezů, podle kterých byla navržena výztuž po celé konstrukci. Pro vyztužení byly použity $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$ při obou površích. Kde tato výztuž nestačila, byla zesílena na $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$. Celý postup viz svazek Statický výpočet.



Obrázek 1 – Pohled shora a řez skořepinou

Dominantním zatížením skořepiny je její vlastní tíha. Podle architektonické studie působí skořepina až zbytečně masivně. V následujících kapitolách bude optimalizována tloušťka skořepiny. Optimalizací by se dalo docílit snížení vlastní tíhy, tenčího průřezu skořepiny a tudíž snížení spotřeby betonu.

Optimalizace je provedena v následujících materiálových variantách:

- Železobetonová skořepina
- Drátkobetonová skořepina FRC 50/60
- Drátkobetonová skořepina FRC 33/37
- Drátkobeton v kombinaci s betonářskou výztuží

Jednotlivé materiálové varianty jsou v poslední kapitole vyhodnoceny podle cen.

Poznámka: V dalších kapitolách může být popsáno srovnání dané varianty s variantou původní. Původní variantou se myslí skořepina řešená ve statickém výpočtu – s rozměry dle architektonické studie.

2. Optimalizace - Železobetonová skořepina

2.1 Úvod

Oproti původnímu návrhu bude nosná konstrukce skořepiny pozměněna. Bude hledán průřez konstantní tloušťky, nikoliv proměnné, který vyhoví na MSÚ a MSP. Hlavním materiálem zůstává beton třídy C25/30- $\text{XC4-XF2-Cl0,2-Dmax22-SF3}$ [5] a betonářská výztuž typu B500B. Ve 3D modelu bude pozměněna tloušťka skořepiny. Rozměry vnitřních a základových konstrukcí nebudou změněny.

Jako ve svazku Statický výpočet, kde byla navržena a posouzena původní varianta podle architektonické studie, bude počítáno s limitním průhybem $L/250$, přičemž L je osová vzdálenost boků skořepin. Bude posuzována pouze menší ze skořepin, kde vzniká největší průhyb.

2.2 Optimalizace tloušťky

2.2.1 Návrh a posouzení podle MSÚ a MSP skořepina tl.200mm

Pro první iterační krok byl vybrán průřez o výšce 200mm. Návrh a posouzení výztuže na MSÚ a MSP bude proveden stejně jako v kapitole 4.3 Statického výpočtu, kde bylo využito deseti typických průřezů pro zjednodušení procesu dimenzování. Opět bude uvažována výztuž po celé konstrukci v obou směrech $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$. Pokud někde nebude stačit, bude průměr výztuže zvětšen na 14 nebo 16mm. V posledním sloupci tabulky č. 2 je doporučená výztuž z hlediska minimální konstrukční výztuže. Výztuž ve směru X je v podélném a výztuž Y v příčném směru. Schéma typických průřezů č. 1-10 viz obrázky 67-75 na stránce 39-40 ve svazku Statický výpočet.

Tabulka 1 – Návrh výztuže dle MSÚ ve směru Y

		x	z	mRd	\geq	mEd
		[m]	[m]	[kNm]	[-]	[kNm]
1.	10 po 100mm	0,0106	0,075	39,13	OK	27
2.	10 po 100mm	0,0236	0,075	54,06	NEVYHOVÍ	90
3.	10 po 100mm	0,0106	0,075	39,13	NEVYHOVÍ	45
4.	10 po 100mm	0,0236	0,075	54,06	OK	10
5.	10 po 100mm	0,0203	0,075	50,52	OK	30
6.	10 po 100mm	0,0188	0,075	48,83	NEVYHOVÍ	59
7.	10 po 100mm	0,0211	0,055	44,53	OK	40
8.	10 po 100mm	0,0233	0,055	46,99	NEVYHOVÍ	62
9.	10 po 100mm	0,0166	0,055	39,43	NEVYHOVÍ	87
10.	10 po 100mm	0,0222	0,055	45,77	OK	35

Tabulka 2 – Kontrola minimálního vyztužení ve směru Y

$A_{s,y}$	\geq	$A_{s,min}$	$A_{s,y,prov}$	VÝZTUŽ
[mm ²]	[-]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
785	OK	232,5	785	10 po 100mm
785	OK	232,5	785	10 po 100mm
785	OK	232,5	785	10 po 100mm
785	OK	232,5	785	10 po 100mm

Tabulka 3 – Šířka trhliny v průřezech ve směru Y

Wk	≤	Wmax
[m]		[m]
0,000255	OK	0,0004
0,000483	NEVYHOVÍ	0,0004
0,000333	OK	0,0004
0,000093	OK	0,0004
0,000222	OK	0,0004
0,000354	NEVYHOVÍ	0,0002
0,000364	NEVYHOVÍ	0,0002
0,000555	NEVYHOVÍ	0,0002
0,000656	NEVYHOVÍ	0,0002
0,000302	NEVYHOVÍ	0,0002

První byla řešena výztuž ve směru Y. V tabulkách 1 a 3 je vidět, že pět průřezů nevyhovělo na MSÚ a šest průřezů nevyhovělo na MSP. Změna oproti původní skořepině je zřejmá v tabulce 2. Skořepina již není tak silná, a proto požadavek na konstrukční výztuž je splněn ve všech průřezech. V tabulkách 4 až 6 je rekapitulace posouzení průřezů na MSÚ a MSP s vyhovující výztuží.

Tabulka 4 – Návrh výztuže dle MSÚ ve směru Y

		x	z	mRd	≥	mEd
		[m]	[m]	[kNm]	[-]	[kNm]
1.	10 po 100mm	0,0106	0,075	39,13	OK	27
2.	14 po 100mm	0,0482	0,073	100,69	OK	90
3.	14 po 100mm	0,0352	0,073	89,16	OK	45
4.	14 po 100mm	0,0482	0,073	100,69	OK	10
5.	10 po 100mm	0,0203	0,075	50,52	OK	30
6.	14 po 100mm	0,0434	0,073	96,70	OK	59
7.	14 po 100mm	0,0457	0,053	85,25	OK	40
8.	16 po 100mm	0,0633	0,052	108,51	OK	62
9.	18 po 100mm	0,0740	0,051	125,89	OK	87
10.	14 po 100mm	0,0468	0,053	86,19	OK	35

Tabulka 5 – Kontrola minimálního vyztužení ve směru Y

As,y	≥	As,min	As,y,prov	VÝZTUŽ
[mm2]	[-]	[mm2]	[mm2]	[mm2]
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
1539	OK	259,5	1539	14 po 100mm
1539	OK	259,5	1539	14 po 100mm
1539	OK	259,5	1539	14 po 100mm
785	OK	262,5	785	10 po 100mm
1539	OK	259,5	1539	14 po 100mm
1539	OK	229,5	1539	14 po 100mm
2011	OK	228	2011	16 po 100mm
2545	OK	226,5	2545	18 po 100mm
1539	OK	229,5	1539	14 po 100mm

Tabulka 6 – Šířka trhliny v průřezech ve směru Y

Wk [m]	≤	Wmax [m]
0,000255	OK	0,0004
0,000223	OK	0,0004
0,000153	OK	0,0004
0,000046	OK	0,0004
0,000222	OK	0,0004
0,000167	OK	0,0002
0,000170	OK	0,0002
0,000191	OK	0,0002
0,000170	OK	0,0002
0,000139	OK	0,0002

V průřezech 2, 3, 4, 6, 7 a 10 budou $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$ a v průřezech 1 a 5 budou $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$. V průřezech 8 a 9 by výztuž $\varnothing 14$ po 100mm nestačila na MSP, z toho důvodu byl průměr výztuže zvětšen na 16mm.

Návrh výztuže ve směru X postupoval obdobně. V tabulkách 7 a 8 je vyztužení nastavené tak, aby průřezy vyhověly všem požadavkům.

Tabulka 7 - Návrh výztuže dle MSÚ ve směru X

		$A_{s,x}$ [m ²]	x [m]	z [m]	mRd [kNm]	≥	mEd [kNm]
1.	14 po 100mm	0,001539	0,0352	0,065	40,31	OK	27
2.	14 po 100mm	0,001539	0,0457	0,059	49,78	OK	30
3.	16 po 100mm	0,002011	0,0553	0,059	57,42	OK	50
4.	10 po 100mm	0,000785	0,0241	0,059	29,03	OK	5
5.	14 po 100mm	0,001539	0,0374	0,065	42,44	OK	35
6.	16 po 100mm	0,002011	0,0570	0,059	58,64	OK	50
7.	14 po 100mm	0,001539	0,0427	0,059	47,20	OK	38
8.	14 po 100mm	0,001539	0,0356	0,056	40,74	OK	18
9.	14 po 100mm	0,001539	0,0442	0,053	48,50	OK	20
10.	14 po 100mm	0,001539	0,0457	0,059	49,78	OK	40

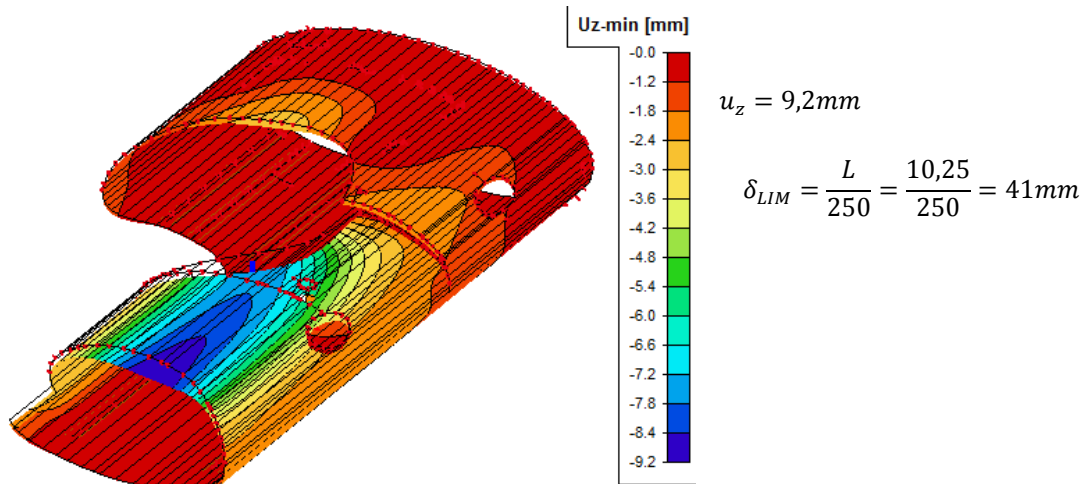
Tabulka 8 – Kontrola minimálního vyztužení a šířky trhliny

VÝZTUŽ [mm ²]	$A_{s,x,prov}$ [mm ²]	≥	$0,2 \cdot A_{s,y,prov}$ [mm ²]	Wk [m]	≤	Wmax [m]
14 po 100mm	1539	OK	157	0,00011	OK	0,0004
14 po 100mm	1539	OK	307,8	0,00009	OK	0,0004
16 po 100mm	2011	OK	307,8	0,00011	OK	0,0004
10 po 100mm	785	OK	307,8	0,00004	OK	0,0004
14 po 100mm	1539	OK	157	0,00011	OK	0,0004
16 po 100mm	2011	OK	307,8	0,00011	OK	0,0002
14 po 100mm	1539	OK	307,8	0,00016	OK	0,0002
14 po 100mm	1539	OK	402,2	0,00018	OK	0,0002
14 po 100mm	1539	OK	509	0,00008	OK	0,0002
14 po 100mm	1539	OK	307,8	0,00003	OK	0,0002

Jako u dimenzování ve směru Y i zde v některých místech nestačí výztuž $\varnothing 14$ po 100mm, proto jsou průřezy 3 a 6 vyztuženy $\varnothing 16$ po 100mm. Návrh příčné výztuže – spon zůstává stejný jako u první varianty.

2.2.2 Kontrola průhybů

2.2.2.1 Kontrola průhybu skořepiny tl.200mm



Obrázek 2 – Pružný průhyb skořepiny tl.200mm

Vliv dotvarování a smrštění betonu:

Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

1. $t_0 = 28$ dní ... stáří betonu v době zatížení

2. cement N

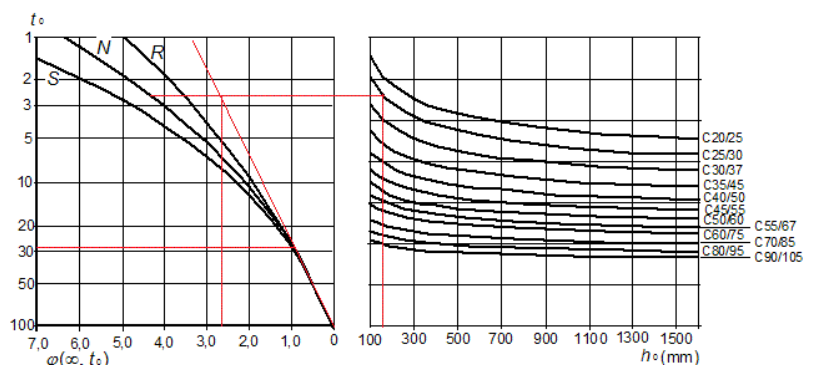
$$3. h_0 = \frac{A_c \cdot 2}{u} = \frac{0,2 \cdot 1,0 \cdot 2}{2 \cdot (0,2 + 1,0)} = 0,1667 \text{ m}$$

...jmenovitý rozměr příčného řezu

$$\phi(\infty; t_0) = 2,75 (-)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty; t_0)} = \frac{30,5}{1 + 2,75} = 8,13 \text{ GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{8,13} = 3,75 (-)$$



Obrázek 3 – Schéma odečtení součinitele dotvarování a.

V tabulce 9 odečítáme hodnoty momentů setrvačnosti ideálního průřezu a průřezu s trhlinou. Tato tabulka má ve svých výpočtech pracovní součinitel $\alpha_{e,eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$, protože posuzujeme průhyb konstrukce při působení dlouhodobého zatížení.

Tabulka 9 – Momenty setrvačnosti v průřezu ideálním a v průřezu s trhlinou

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
			HORNÍ			DOLNÍ					
Ai [m2]	agi [m]	li [m4]	σ_2 [MPa]	\leq	fct,k [MPa]	σ_1 [MPa]	\leq	fct,k [MPa]	Air [m2]	agir [m]	lir [m4]
0,23	0,10	8,52E-04	-1,031	OK	1,8	2,490	KO	1,8	0,0352	0,0937	1,98E-04
0,25	0,10	9,26E-04	-7,132	OK	1,8	6,901	KO	1,8	0,0977	0,0725	5,41E-04
0,25	0,10	9,26E-04	-4,151	OK	1,8	4,485	KO	1,8	0,0655	0,0932	4,79E-04
0,25	0,10	9,26E-04	-0,645	OK	1,8	1,082	OK	1,8	0,0534	0,1123	3,02E-04
0,23	0,10	8,52E-04	-2,388	OK	1,8	3,246	KO	1,8	0,0383	0,0862	2,44E-04
0,25	0,11	8,80E-04	-4,889	OK	1,8	5,110	KO	1,8	0,0663	0,0972	4,56E-04
0,25	0,10	8,49E-04	-3,319	OK	1,8	3,983	KO	1,8	0,0601	0,0898	3,22E-04
0,26	0,10	8,70E-04	-4,943	OK	1,8	5,633	KO	1,8	0,0737	0,0937	3,96E-04
0,27	0,11	8,90E-04	-7,491	OK	1,8	7,115	KO	1,8	0,1305	0,0775	5,57E-04
0,25	0,10	8,49E-04	-3,400	OK	1,8	3,666	KO	1,8	0,0698	0,0792	3,86E-04

Napětí bylo odečteno z tabulky 10, kde je užíván pracovní součinitel $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$, který má podstatně menší hodnotu a dává větší napětí v krajních vláknech. Pracovní součinitel α_e je užíván pro posouzení šířky trhliny a kontrolu krajních napětí.

Tabulka 10 – Kontrola krajních napětí v betonu s $f_{ct,k}$ - výpočet s $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
Ai [m2]	agi [m]	li [m4]	HORNÍ			DOLNÍ			Air [m2]	agir [m]	lir [m4]
			σ_2 [MPa]	\leq	fct,k [MPa]	σ_1 [MPa]	\leq	fct,k [MPa]			
0,21	0,10	7,16E-04	-1,281	OK	1,8	2,910	KO	1,8	0,0105	0,0832	5,43E-05
0,21	0,10	7,36E-04	-8,715	OK	1,8	8,938	KO	1,8	0,0292	0,0578	1,82E-04
0,21	0,10	7,36E-04	-5,085	OK	1,8	5,778	KO	1,8	0,0195	0,0818	1,38E-04
0,21	0,10	7,36E-04	-0,801	OK	1,8	1,372	OK	1,8	0,0160	0,0997	8,41E-05
0,21	0,10	7,16E-04	-2,874	OK	1,8	3,832	KO	1,8	0,0114	0,0764	6,70E-05
0,21	0,10	7,25E-04	-5,711	OK	1,8	6,431	KO	1,8	0,0198	0,0853	1,34E-04
0,21	0,10	7,15E-04	-3,890	OK	1,8	4,778	KO	1,8	0,0179	0,0793	9,14E-05
0,22	0,10	7,21E-04	-5,804	OK	1,8	6,953	KO	1,8	0,0220	0,0826	1,15E-04
0,22	0,10	7,27E-04	-8,833	OK	1,8	9,041	KO	1,8	0,0390	0,0614	2,02E-04
0,21	0,10	7,15E-04	-3,985	OK	1,8	4,405	KO	1,8	0,0208	0,0688	1,16E-04

Z tabulky 10 je zřejmé, že dojde k překročení charakteristické pevnosti betonu téměř ve všech průřezech. Průřez č. 2 je zásadní. Je to místo nad podporami v malé skořepině, které poklesem tuhosti jistě ovlivní i místo s největším průhybem – vrchlík malé skořepiny.

Vliv poklesu tuhosti konstrukce:

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) = 1 - 0,5 \left(\frac{1,8}{8,938} \right) = 0,899$$

$$I_{vysl} = \frac{I_i * I_{ir}}{I_i * \zeta + (1 - \zeta) * I_{ir}} = \frac{9,26 * 10^{-4} * 5,41 * 10^{-4}}{9,26 * 10^{-4} * 0,899 + (1 - 0,899) * 5,41 * 10^{-4}} = 5,65 * 10^{-4}$$

$$\text{vliv tuhosti} = \frac{\frac{1}{12} * b * h^3}{I_{vysl}} = \frac{\frac{1}{12} * 1,0 * 0,2^3}{5,65 * 10^{-4}} = 1,18(-)$$

$$\delta_{skutečný} = \delta_z * \text{vliv tuhosti} * \text{vliv dotvarování/smrštění} = 9,2 * 1,18 * 3,75 = 40,71 \text{ mm}$$

$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} \geq \delta_{skutečný} = 40,71 \text{ mm}$$

SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB

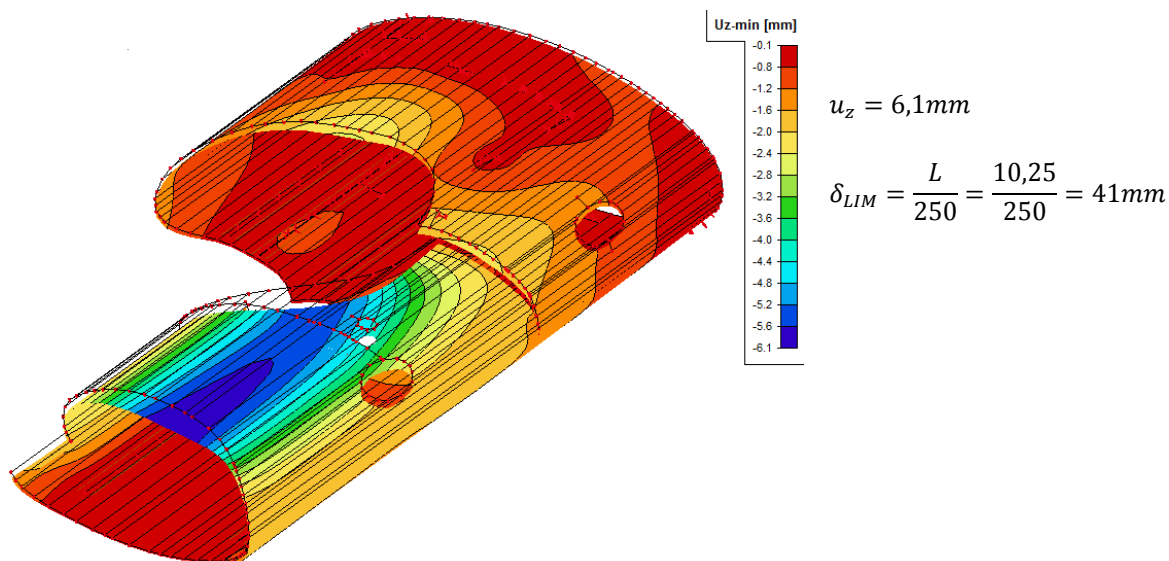
Skořepina o tloušťce 200mm má téměř limitní průhyb. Tenčí skořepina by určitě na MSP nevyhověla. Pro optimalizaci bude spočten průhyb pro průřezy o výšce 250 a 300mm.

2.2.2.2 Kontrola průhybu skořepiny tl.250mm

Vyztužení skořepiny tl.250mm proběhlo obdobně jako v kapitole 2.2.2.1. Posuzované místo průhybu je opět průřez č. 2.

Vyztužení průřezu č. 2:

- ve směru Y: $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$ - tažená výztuž
 $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$ - tlačená výztuž
- ve směru X: $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$ - tažená výztuž
 $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$ - tlačená výztuž



Obrázek 4 - Pružný průhyb skořepiny tl.250mm

Vliv dotvarování a smrštění betonu:

Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

$$\phi_{(\infty; t_0)} = 2,75(-)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi_{(\infty; t_0)}} = \frac{30,5}{1 + 2,75} = 8,13\text{GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{8,13} = 3,75(-)$$

V tabulce 11 odečítáme hodnoty momentů setrvačnosti ideálního průřezu a průřezu s trhlinou. Tato tabulka má ve svých výpočtech pracovní součinitel $\alpha_{e,eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$, protože posuzujeme průhyb konstrukce při působení dlouhodobého zatížení.

Tabulka 11 - Momenty setrvačnosti v průřezu ideálním a v průřezu s trhlinou

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
			HORNÍ			DOLNÍ					
Ai [m2]	agi [m]	li [m4]	oc2 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	oc1 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	Air [m2]	agir [m]	lir [m4]
0,28	0,13	1,63E-03	-0,548	OK	1,8	1,750	OK	1,8	0,0347	0,1186	3,37E-04
0,30	0,13	1,77E-03	-4,612	OK	1,8	4,573	KO	1,8	0,1091	0,0852	9,64E-04
0,28	0,13	1,63E-03	-2,747	OK	1,8	3,383	KO	1,8	0,0439	0,0947	5,05E-04
0,28	0,13	1,63E-03	-0,387	OK	1,8	0,839	OK	1,8	0,0357	0,1154	3,63E-04
0,28	0,13	1,63E-03	-1,485	OK	1,8	2,192	KO	1,8	0,0387	0,1068	4,29E-04
0,30	0,13	1,71E-03	-3,048	OK	1,8	3,399	KO	1,8	0,0690	0,1174	8,36E-04
0,30	0,13	1,66E-03	-2,053	OK	1,8	2,614	KO	1,8	0,0617	0,1138	6,25E-04
0,31	0,13	1,71E-03	-3,051	OK	1,8	3,679	KO	1,8	0,0761	0,1189	7,78E-04
0,31	0,13	1,71E-03	-4,765	OK	1,8	4,746	KO	1,8	0,1206	0,0886	9,36E-04
0,30	0,13	1,66E-03	-2,143	OK	1,8	2,373	KO	1,8	0,0744	0,0973	7,50E-04

Napětí bylo odečteno z tabulky 12, kde je užíván pracovní součinitel $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$, který má podstatně menší hodnotu a dává větší napětí v krajních vláknech. Pracovní součinitel α_e je užíván pro posouzení šířky trhliny a kontrolu krajních napětí.

Tabulka 12 – Kontrola krajních napětí v betonu s $f_{ct,k}$ – výpočet s $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
Ai [m2]	agi [m]	li [m4]	HORNÍ			DOLNÍ			Air [m2]	agir [m]	lir [m4]
			oc2 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	oc1 [MPa]	≤	fct,k [MPa]			
0,26	0,13	1,39E-03	-0,692	OK	1,8	2,007	KO	1,8	0,0104	0,1053	9,21E-05
0,26	0,13	1,43E-03	-5,572	OK	1,8	5,813	KO	1,8	0,0326	0,0666	3,19E-04
0,26	0,13	1,39E-03	-3,251	OK	1,8	3,946	KO	1,8	0,0131	0,0835	1,40E-04
0,26	0,13	1,39E-03	-0,472	OK	1,8	0,967	OK	1,8	0,0107	0,1025	9,90E-05
0,26	0,13	1,39E-03	-1,773	OK	1,8	2,546	KO	1,8	0,0115	0,0947	1,17E-04
0,26	0,13	1,41E-03	-3,575	OK	1,8	4,219	KO	1,8	0,0206	0,1029	2,43E-04
0,26	0,13	1,40E-03	-2,412	OK	1,8	3,133	KO	1,8	0,0184	0,1005	1,76E-04
0,27	0,13	1,41E-03	-3,599	OK	1,8	4,549	KO	1,8	0,0227	0,1048	2,23E-04
0,27	0,13	1,41E-03	-5,612	OK	1,8	5,901	KO	1,8	0,0360	0,0701	3,20E-04
0,26	0,13	1,40E-03	-2,512	OK	1,8	2,854	KO	1,8	0,0222	0,0842	2,23E-04

Z tabulky 12 je zřejmé, že dojde k překročení charakteristické pevnosti betonu téměř ve všech průřezech. Průřez č. 2 je zásadní. Je to místo nad podporami v malé skořepině, které poklesem tuhosti jistě ovlivní i místo s největším průhybem – vrchlík malé skořepiny.

Vliv poklesu tuhosti konstrukce:

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) = 1 - 0,5 \left(\frac{1,8}{5,813} \right) = 0,845$$

$$I_{výsl} = \frac{I_i * I_{ir}}{I_i * \zeta + (1 - \zeta) * I_{ir}} = \frac{1,77 * 10^{-3} * 9,64 * 10^{-4}}{1,77 * 10^{-4} * 0,845 + (1 - 0,845) * 9,64 * 10^{-4}} = 1,04 * 10^{-3}$$

$$\text{vliv tuhosti} = \frac{\frac{1}{12} * b * h^3}{I_{výsl}} = \frac{\frac{1}{12} * 1,0 * 0,25^3}{1,04 * 10^{-3}} = 1,26(-)$$

$$\delta_{skutečný} = \delta_z * \text{vliv tuhosti} * \text{vliv dotvarování/smrštění} = 6,1 * 1,26 * 3,75 = 28,82 \text{ mm}$$

$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} \geq \delta_{skutečný} = 28,82 \text{ mm}$$

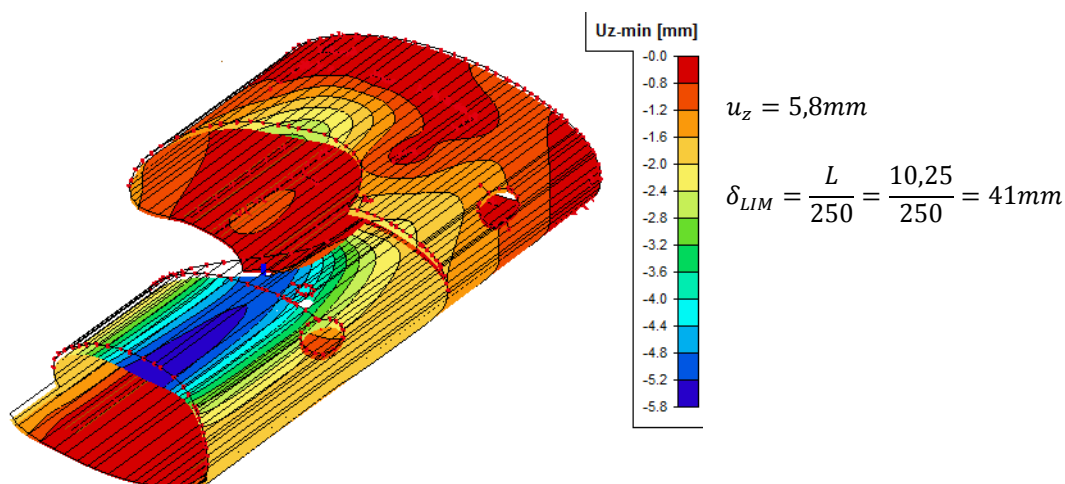
SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB

2.2.2.3 Kontrola průhybu skořepiny tl.300mm

Vyztužení skořepiny tl.250mm proběhlo obdobně jako v kapitole 2.2.2.1. Posuzované místo průhybu je opět průřez č. 2.

Vyztužení průřezu č. 2:

- ve směru Y: $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$ – tažená výztuž
 $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$ – tlačená výztuž
- ve směru X: $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$ – tažená výztuž
 $\varnothing 10$ po 100mm, $A_s = 785\text{mm}^2$ – tlačená výztuž



Obrázek 5 – Pružný průhyb skořepiny tl.300mm

Vliv dotvarování a smrštění betonu:

Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

$$\phi_{(\infty;t_0)} = 2,75(-)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\phi_{(\infty;t_0)}} = \frac{30,5}{1+2,75} = 8,13\text{GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{8,13} = 3,5(-)$$

V tabulce 13 odečítáme hodnoty momentů setrvačnosti ideálního průřezu a průřezu s trhlinou. Tato tabulka má ve svých výpočtech pracovní součinitel $\alpha_{e,eff} = \frac{Es}{E_{c,eff}}$, protože posuzujeme průhyb konstrukce při působení dlouhodobého zatížení.

Tabulka 13 – Momenty setrvačnosti v průřezu ideálním a v průřezu s trhlinou

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
			HORNÍ			DOLNÍ					
Ai [m ²]	agi [m]	li [m ⁴]	oc2 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	oc1 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	Air [m ²]	agir [m]	Iir [m ⁴]
0,33	0,15	2,76E-03	-0,303	OK	1,8	1,324	OK	1,8	0,0340	0,1453	4,95E-04
0,35	0,16	2,99E-03	-3,242	OK	1,8	3,290	KO	1,8	0,1200	0,0967	1,52E-03
0,33	0,15	2,76E-03	-1,900	OK	1,8	2,440	KO	1,8	0,0451	0,1108	7,90E-04
0,33	0,15	2,76E-03	-0,242	OK	1,8	0,626	OK	1,8	0,0352	0,1405	5,43E-04
0,33	0,15	2,76E-03	-1,002	OK	1,8	1,602	OK	1,8	0,0387	0,1278	6,62E-04
0,35	0,16	2,91E-03	-2,082	OK	1,8	2,461	KO	1,8	0,0712	0,1371	1,34E-03
0,35	0,15	2,85E-03	-1,387	OK	1,8	1,881	KO	1,8	0,0628	0,1377	1,03E-03
0,35	0,15	2,85E-03	-2,082	OK	1,8	2,768	KO	1,8	0,0639	0,1357	1,05E-03
0,35	0,15	2,85E-03	-3,343	OK	1,8	3,510	KO	1,8	0,1066	0,0950	1,28E-03
0,33	0,15	2,69E-03	-1,512	OK	1,8	1,835	KO	1,8	0,0495	0,0955	7,15E-04

Napětí bylo odečteno z tabulky 14, kde je užíván pracovní součinitel $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$, který má podstatně menší hodnotu a dává větší napětí v krajních vláknech. Pracovní součinitel α_e je užíván pro posouzení šířky trhliny a kontrolu krajních napětí.

Tabulka 14 – Kontrola krajních napětí v betonu s $f_{ct,k}$ – výpočet s $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$

IDEÁLNÍ PRŮŘEZ			2. KONTROLA KRAJNÍCH NAPĚTÍ						PRŮŘEZ S TRHLINOU		
Ai [m2]	agi [m]	li [m4]	HORNÍ			DOLNÍ			Air [m2]	agir [m]	lir [m4]
			oc2 [MPa]	≤	fct,k [MPa]	oc1 [MPa]	≤	fct,k [MPa]			
0,31	0,15	2,39E-03	-0,392	OK	1,8	1,493	OK	1,8	0,0102	0,1290	1,35E-04
0,31	0,15	2,45E-03	-3,868	OK	1,8	4,101	KO	1,8	0,0358	0,0742	4,95E-04
0,31	0,15	2,39E-03	-2,223	OK	1,8	2,806	KO	1,8	0,0135	0,0977	2,18E-04
0,31	0,15	2,39E-03	-0,296	OK	1,8	0,710	OK	1,8	0,0105	0,1248	1,48E-04
0,31	0,15	2,39E-03	-1,185	OK	1,8	1,832	KO	1,8	0,0116	0,1134	1,80E-04
0,31	0,15	2,43E-03	-2,435	OK	1,8	3,005	KO	1,8	0,0213	0,1201	3,85E-04
0,31	0,15	2,41E-03	-1,625	OK	1,8	2,236	KO	1,8	0,0188	0,1216	2,88E-04
0,31	0,15	2,41E-03	-2,438	OK	1,8	3,292	KO	1,8	0,0191	0,1197	2,95E-04
0,31	0,15	2,41E-03	-3,891	OK	1,8	4,204	KO	1,8	0,0318	0,0758	4,15E-04
0,31	0,15	2,37E-03	-1,736	OK	1,8	2,067	KO	1,8	0,0148	0,0835	2,01E-04

Z tabulky 14 je zřejmé, že dojde k překročení charakteristické pevnosti betonu téměř ve všech průřezech. Průřez č. 2 je zásadní. Je to místo nad podporami v malé skořepině, které poklesem tuhosti jistě ovlivní i místo s největším průhybem – vrchlík malé skořepiny.

Vliv poklesu tuhosti konstrukce:

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) = 1 - 0,5 \left(\frac{1,8}{4,101} \right) = 0,781$$

$$I_{výsl} = \frac{I_i * I_{ir}}{I_i * \zeta + (1 - \zeta) * I_{ir}} = \frac{2,99 * 10^{-3} * 1,52 * 10^{-3}}{2,99 * 10^{-3} * 0,781 + (1 - 0,781) * 1,52 * 10^{-3}} = 1,703 * 10^{-3}$$

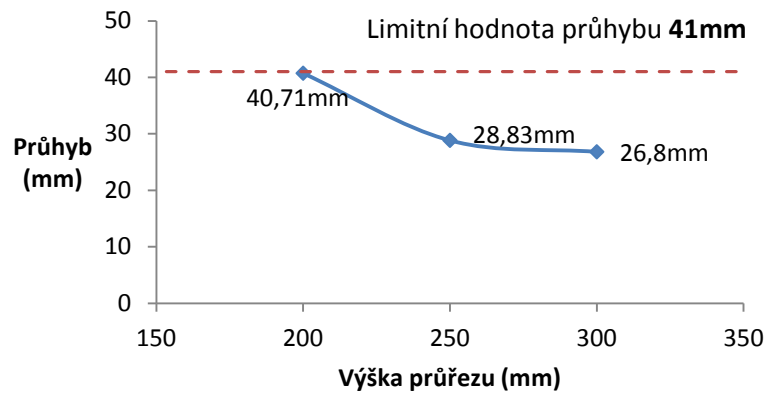
$$\text{vliv tuhosti} = \frac{\frac{1}{12} * b * h^3}{I_{výsl}} = \frac{\frac{1}{12} * 1,0 * 0,3^3}{1,703 * 10^{-3}} = 1,32(-)$$

$$\delta_{skutečný} = \delta_z * \text{vliv tuhosti} * \text{vliv dotvarování/smrštění} = 5,8 * 1,32 * 3,5 = 26,8 \text{ mm}$$

$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} \geq \delta_{skutečný} = 26,8 \text{ mm}$$

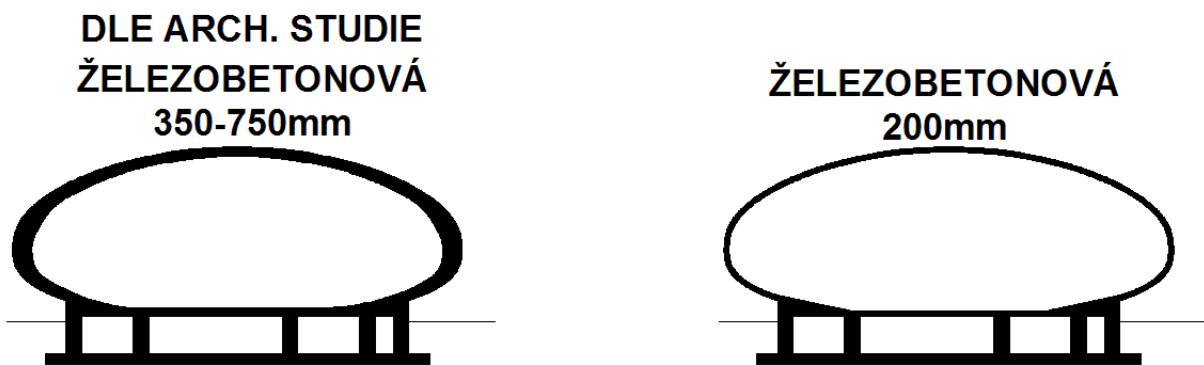
SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB

Vyhodnocení průhybu železobetonových skořepin 200, 250 a 300mm:



Obrázek 6 – Graf snížení průhybu skořepiny při zvětšování výšky průřezu

Ačkoliv skořepina o tl.200mm vyhoví na průhyb s velmi malou rezervou, je brána jako neoptimálnější železobetonová varianta.

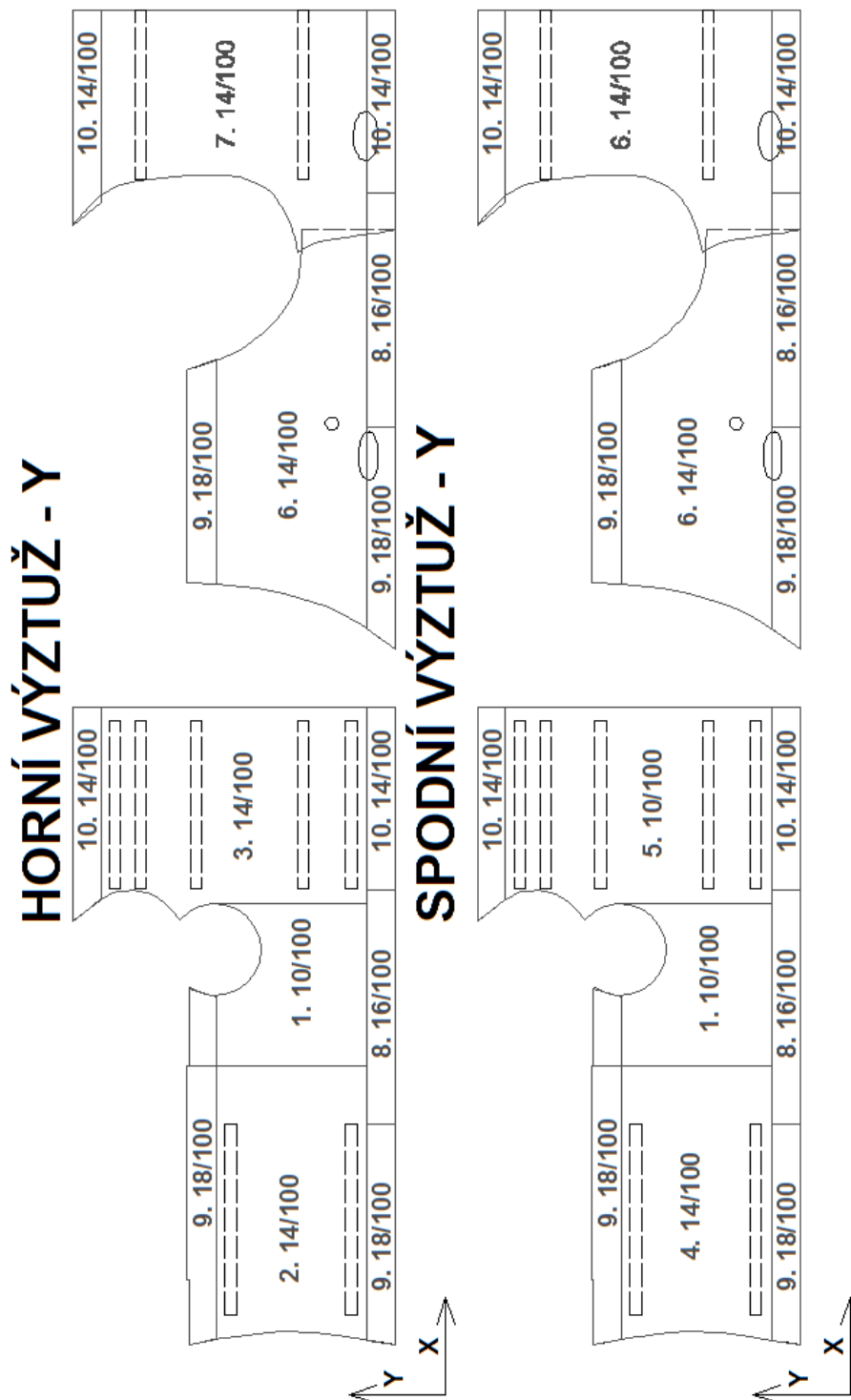


Obrázek 7 – Srovnání původního architektonického návrhu s optimalizovaným návrhem skořepiny

2.4 Schéma vyztužení železobetonové varianty tl.200mm

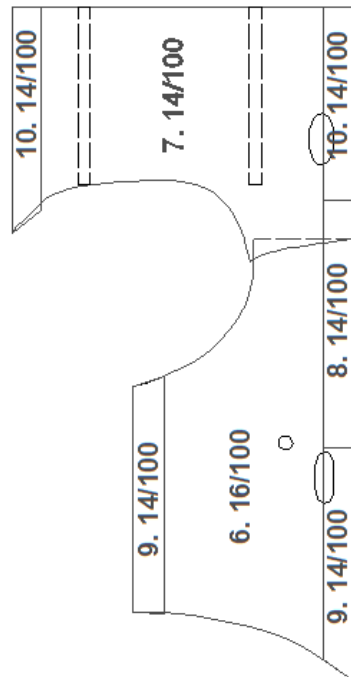
Na schématech konstrukce jsou vidět oblasti s typem výztuže.

Značení: (číslo průřezu). (průměr prutu)/ (vzdálenost prutů)

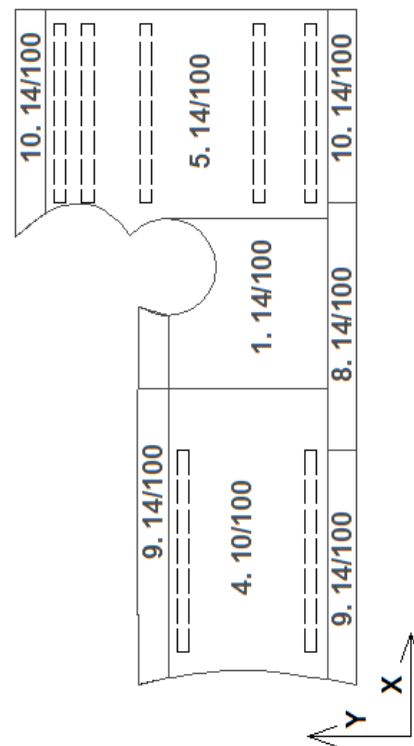
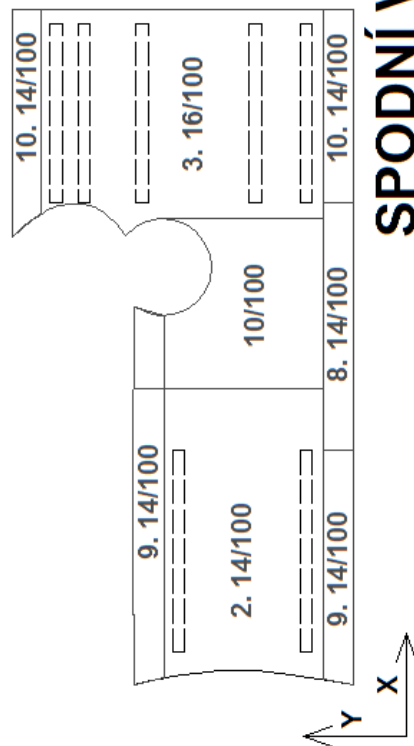
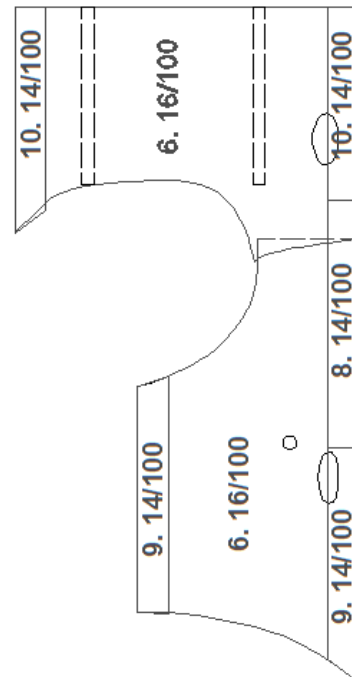


Obrázek 8 – Schéma vyztužení skořepiny ve směru Y

HORNÍ VÝZTUŽ - X



SPODNÍ VÝZTUŽ - X



Obrázek 9 – Schéma vyztužení skořepiny ve směru Y

3. Optimalizace - Drátkobetonová skořepina

3.1 FRC 50/60

3.1.1 Úvod

Hlavním materiálem bude vláknobeton, přesněji drátkobeton (dále jen DB), jelikož se jedná pouze o ocelové drátky. Bude hledána tloušťka průřezu, při které nedojde k překročení tahové pevnosti DB, tzn. tahová pevnost při vzniku makrotrhliny. Ve výpočtech bude uvažována třída betonu C50/60, FRC 4,0/3,2/2,4, bez přidané betonářské výztuže. Ve 3D modelu bude pozměněna tloušťka skořepiny. Rozměry vnitřních a základových konstrukcí nebudou změněny.

3.1.2 Materiálové charakteristiky

Specifikace DB: C50/60-FRC 4,0/3,2/2,4 XC4;XF2-Cl0,4-Dmax22-S3
Tato specifikace byla navržena po dohodě s Ing. Vladimírem Veselým z firmy BETOTECH – Akreditované zkušební laboratoře. Specifikace je sestavena v souladu s ČSN P 73 2450 – Vláknobeton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Pevnost v tlaku: $f_{FRC,d} = \frac{50}{1,5} = 33MPa$

Pevnost v dostředném tahu – vznik makrotrhliny:

$$f_{FRCT,d} = \frac{4,0}{1,5} = 2,67MPa$$

Pevnost v dostředném tahu – při dohodnuté deformaci 3,5mm:

$$f_{FRCT,d} = \frac{2,4}{1,35} = 1,78MPa *$$

* ... Součinitel spolehlivosti pro napětí DB v tahu může být 1,35 (menší než u pevnosti v tlaku a pevnosti v dostředném tahu při vzniku makrotrhliny), protože v tomto případě rozhodují pouze drátky, nikoliv beton.

3.1.3 Sestavení interakčního diagramu

V této kapitole budou obecně představeny jednotlivé body interakčního diagramu. Podle těchto bodů byl sestaven interakční diagram v Excelu, který bude v následující kapitole využíván pro ověření únosnosti průřezů.

Interakční diagram byl sestaven za 2 předpokladů. Za prvního předpokladu rozhoduje o porušení průřezu tlakem beton (uvažuje se zplastizovaná tlačena zóna průřezu). Tento předpoklad platí pro body 0-2b a vytváří parabolou. Za prvního předpokladu je momentová únosnost průřezu nulová, což neodpovídá skutečnosti. Body spodní části interakčního diagramu budou spočteny za druhého předpokladu. Bod 3 bude spočten jako únosnost v prostém ohybu a bod 5 jako dostředný tah.

BOD 0: „CELÝ PRŮŘEZ TLAČENÝ“

$$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd,0} = b * h * f_{FRC,d}$$

$$e_d = 0 \text{ m}$$

BOD 1: „0,75 NÁSOBEK HODNOTY $N_{Rd,0}$ “

$$N_{Rd,1} = 0,75 * N_{Rd,0} \quad \text{Podmínka: } N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$e_d = 0,5 * h(1 - N_{Rd,1}/N_{Rd,0})$$

$$M_{Rd,1} = N_{Rd,1} * e_d$$

BOD 2: „0,5 NÁSOBEK HODNOTY $N_{Rd,0}$ “

$$N_{Rd,2} = 0,5 * N_{Rd,0} \quad \text{Podmínka: } N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$e_d = 0,5 * h(1 - N_{Rd,2}/N_{Rd,0})$$

$$M_{Rd,2} = N_{Rd,2} * e_d$$

BOD 2a: „0,25 NÁSOBEK HODNOTY $N_{Rd,0}$ “

$$N_{Rd,2a} = 0,25 * N_{Rd,0} \quad \text{Podmínka: } N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$e_d = 0,5 * h(1 - N_{Rd,2a}/N_{Rd,0})$$

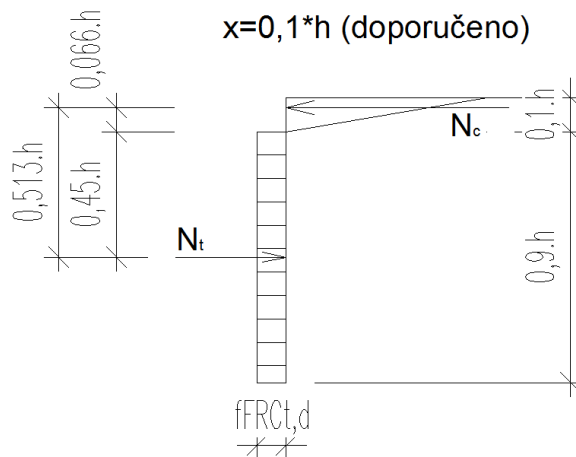
$$M_{Rd,2a} = N_{Rd,2a} * e_d$$

BOD 2b: „0,1 NÁSOBEK HODNOTY $N_{Rd,0}$ “

$$N_{Rd,2b} = 0,1 * N_{Rd,0} \quad \text{Podmínka: } N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$e_d = 0,5 * h(1 - N_{Rd,2b}/N_{Rd,0})$$

$$M_{Rd,2b} = N_{Rd,2b} * e_d$$

BOD 3: „ČISTĚ OHÝBANÝ PRŮŘEZ“

Obrázek 10 – Rozdělení napětí po průřezu

$$N_t = N_c = 0,9 * h * b * f_{FRCT,d}$$

$$M_{Rd,3} = N_t * e_d$$

BOD 5: „CELÝ PRŮŘEZ TAŽENÝ“

$$M_{Rd,5} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd,5} = b * h * f_{FRCT,d}$$

V tomto případě nechceme, aby byl průřez porušen trhlinou. Ve 3. a 5. bodě interakčního diagramu bude počítáno s hodnotou $f_{FRct,d} = \frac{4,0}{1,5} = 2,67 \text{MPa}$.

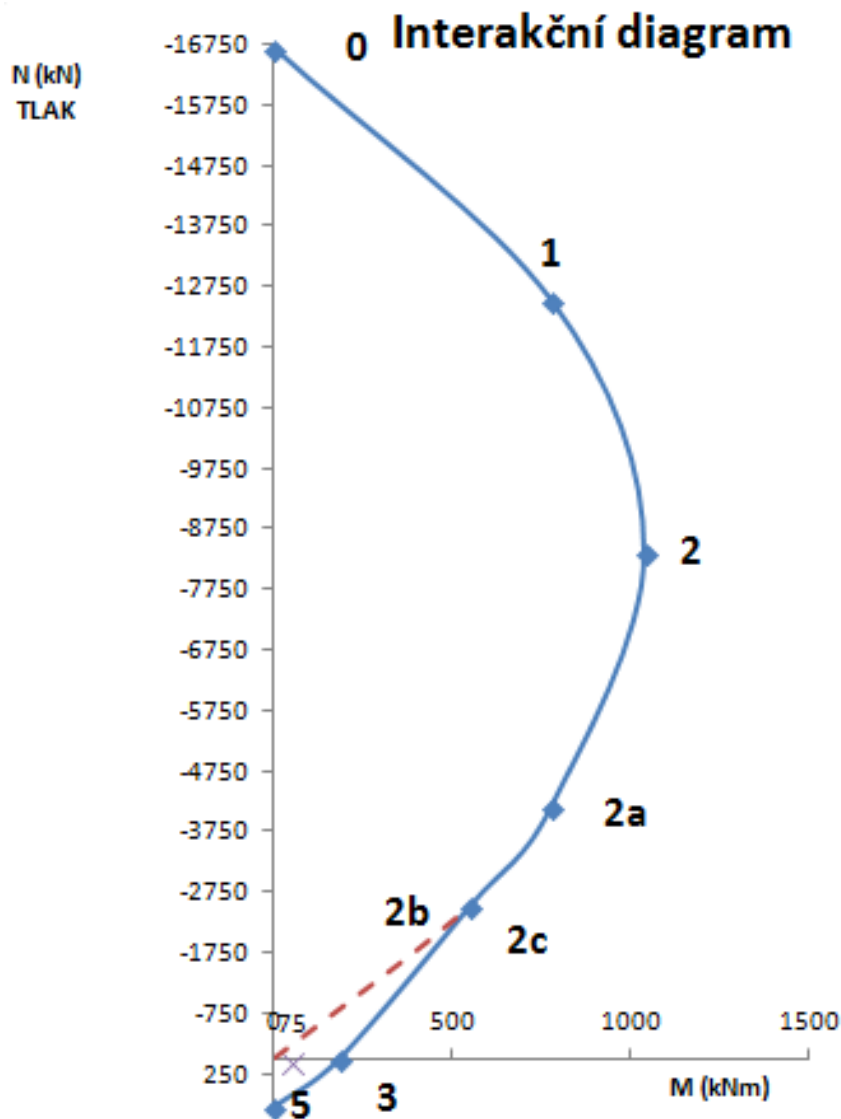
3.1.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ

Cílem této kapitoly je nalézt tloušťku průřezu skořepiny tak, aby všechny typické průřezy (č. 1-10) vyhověly bez použití betonářské výztuže. Za pomoci interakčního diagramu bude navržena minimální tloušťka skořepiny.

Pro zjednodušení byly vybrány pouze dva z typických průřezů, které jsou nejvíce namáhány. Je to průřez 8 - bok ve spojení obou skořepin bez podpor a 2 - v malé skořepině nad podporami. Pomocí průřezu 8 bude zjištěna minimální tloušťka skořepiny na bocích. Průřez 2 bude zastupovat všechna ostatní místa po konstrukci, protože má velký ohybový moment a poměrně velkou normálovou sílu.

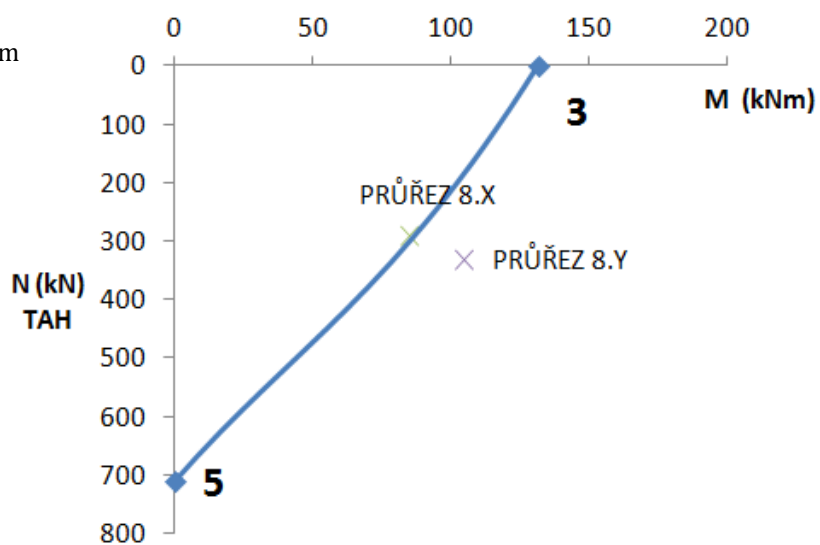
Průřez č. 2: $N_{y,Ed}=75\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=85\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=63\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=30\text{kNm/m}$
Průřez č. 8: $N_{y,Ed}=330\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=105\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=290\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=85\text{kNm/m}$

Na obrázku 11 jsou vidět všechny body interakčního diagramu. Jelikož oba posuzované body jsou namáhány ohybem a tahovou silou, budou další grafy (obrázky 12-15) zobrazovat pouze spodní část pod vodorovnou osou.



Obrázek 11 – Interakční diagram – přehled všech bodů FRC 50/60

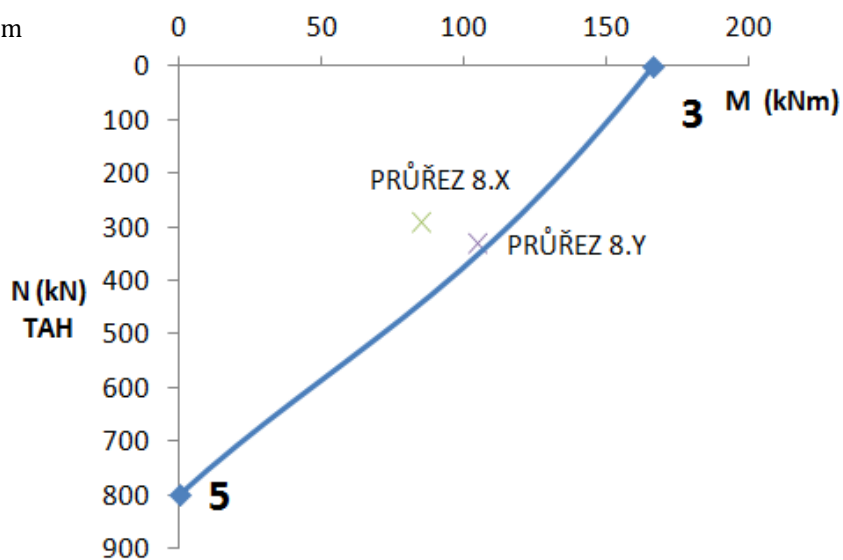
Průřez č. 8:
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 400mm



Obrázek 12 – Interakční diagram – skořepina tl.400mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 450mm

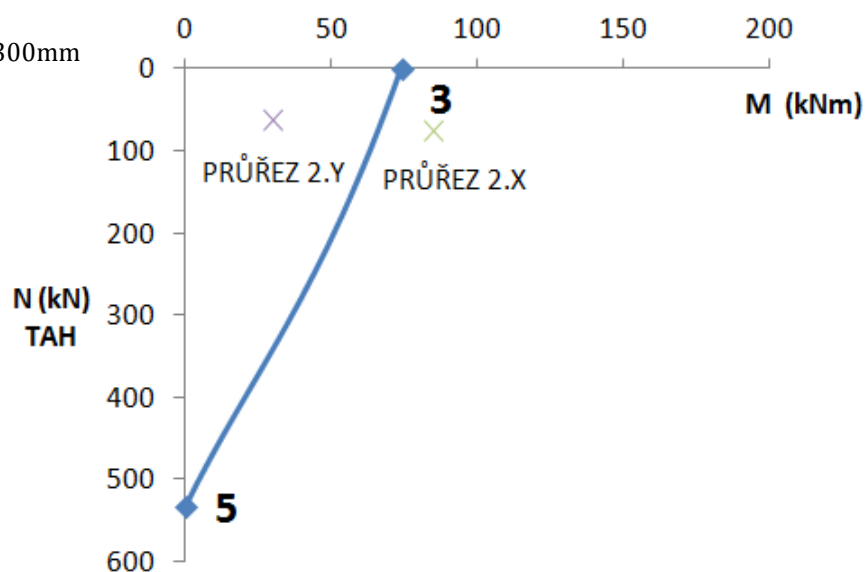


Obrázek 13 – Interakční diagram – skořepina tl.450mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

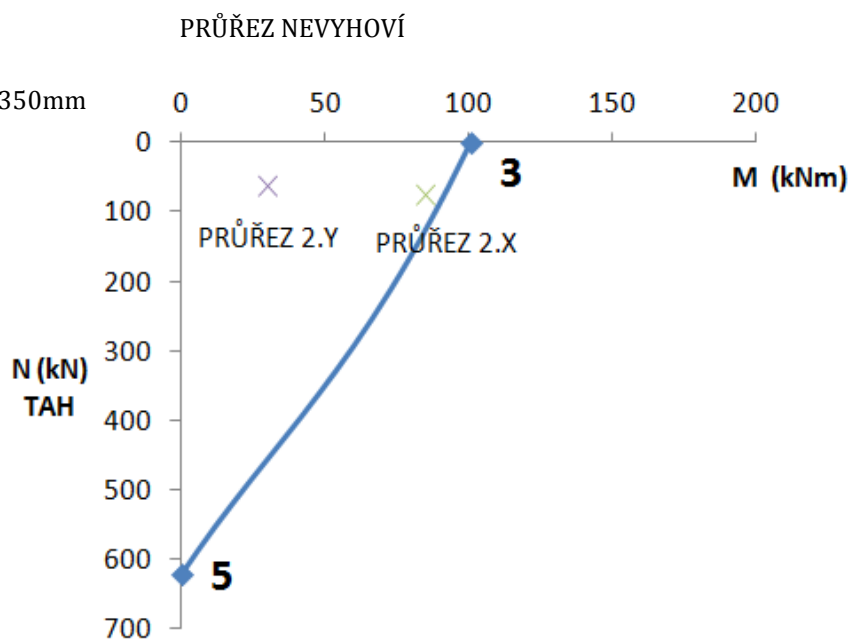
Průřez č. 2:

1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 300mm



Obrázek 14 – Interakční diagram – skořepina tl.300mm

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 350mm

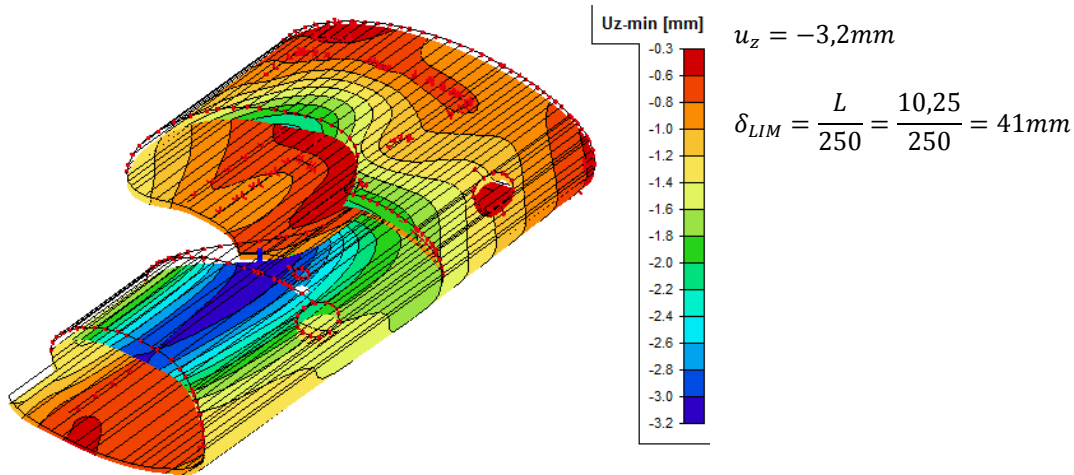


Obrázek 15 – Interakční diagram – skořepina tl.350mm

Skořepina bude mít na bocích tloušťku průřezu 450mm a ve vrchlíku a spodní části 350mm. Přechod tloušťky průřezu bude pozvolný jako u původní varianty.

3.1.5 Kontrola průhybu

Vzhledem tomu, že na DB skořepině nevznikají trhliny, uvažuje se vliv poklesu tuhosti konstrukce hodnotou 1. Vliv dotvarování a smrštění bude oproti 1. variantě malý, protože třída pevnosti DB dosahuje mnohem větších pevností.



Obrázek 16 – Schéma pružného průhybu

Vliv dotvarování a smrštění betonu:

Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

1. $t_0 = 28 \text{ dní}$

... stáří betonu v době zatížení

2. cement R

$$3. h_0 = \frac{A_c \cdot 2}{u} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 2}{2 \cdot (0,5 + 1,0)} = 0,33 \text{ m}$$

jmenovitý rozměr příčného řezu

$$\phi(\infty; t_0) = 1,5(-)$$

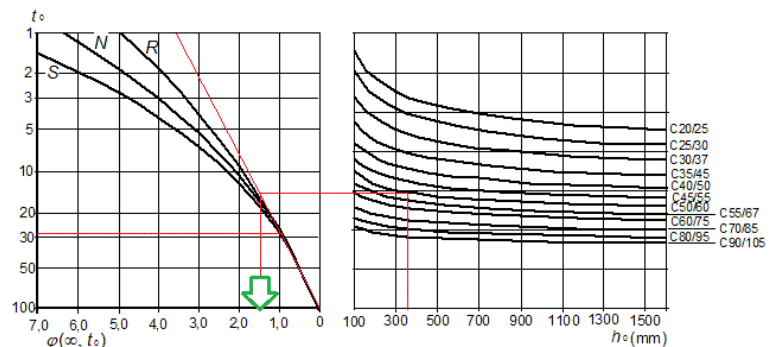
$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty; t_0)} = \frac{30,5}{1 + 1,5} = 12,2 \text{ GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{12,2} = 2,5(-)$$

$$\delta_{skutečný} = \delta_z \cdot \text{vliv tuhosti} \cdot \text{vliv dotvarování/smrštění} = 3,2 \cdot 1 \cdot 2,5 = 8 \text{ mm}$$

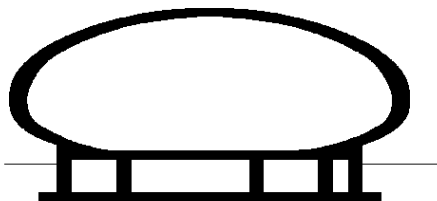
$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} < \delta_{skutečný} = 8 \text{ mm}$$

SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB

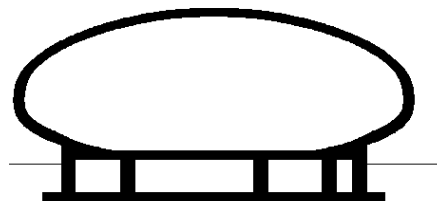


Obrázek 17 – Schéma odečtení součinitele dotvarování

**DLE ARCH. STUDIE
ŽELEZOBETONOVÁ
350-750mm**



**DRÁTKOBETONOVÁ FRC50/60
350-450mm**



Obrázek 18 – Srovnání původního architektonického návrhu s optimalizovaným návrhem skořepiny

3.2 FRC 33/37

3.2.1 Úvod

V kapitole 3.1 Drátkobetonová skořepina FRC 50/60 byl využíván materiál s vysokými pevnostmi. Díky tomu bylo dosaženo relativně tenkých průřezů. Aby bylo možné srovnat variantu drátkobetonu s původním architektonickým návrhem, bude v této kapitole uvažován materiál s podobnými pevnostmi. Bude hledán průřez, při kterém nedojde k překročení tahové pevnosti DB, tzn. tahová pevnost při vzniku makrotrhliny. Ve výpočtech bude uvažována třída betonu C33/37,FRC 3,2/2,8/0,8, bez přidané betonářské výztuže. Ve 3D modelu bude změněna pouze tloušťka skořepiny. Tvar i tloušťka základových či vnitřních konstrukcí nebude změněna.

3.2.2 Materiálové charakteristiky

Specifikace DB: C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8 XC4;XF2-Cl0,4-Dmax16-S4 – STEELCRETE V [5]

Pevnost v tlaku: $f_{FRC,d} = \frac{33}{1,5} = 22MPa$

Pevnost v dostředném tahu – vznik makrotrhliny:

$$f_{FRCT,d} = \frac{3,2}{1,5} = 2,13MPa$$

Pevnost v dostředném tahu – při deformaci 3,5mm:

$$f_{FRCT,d} = \frac{0,8}{1,35} = 0,59MPa *$$

V tomto případě nechceme, aby byl průřez porušen trhlinou, ve 3. a 5. bodě Interakčního diagramu bude počítáno s hodnotou $f_{FRCT,d} = \frac{3,2}{1,5} = 2,13MPa$.

* ... Součinitel spolehlivosti pro napětí DB v tahu může být 1,35 (menší než u pevnosti v tlaku a pevnosti v dostředném tahu při vzniku makrotrhliny), protože v tomto případě rozhodují pouze drátky, nikoliv beton.

3.2.3 Sestavení interakčního diagramu

Sestavení interakčního diagramu odpovídá kapitole 3.1.3 Sestavení interakčního diagramu. Budou změněny pouze pevnosti drátkobetonu.

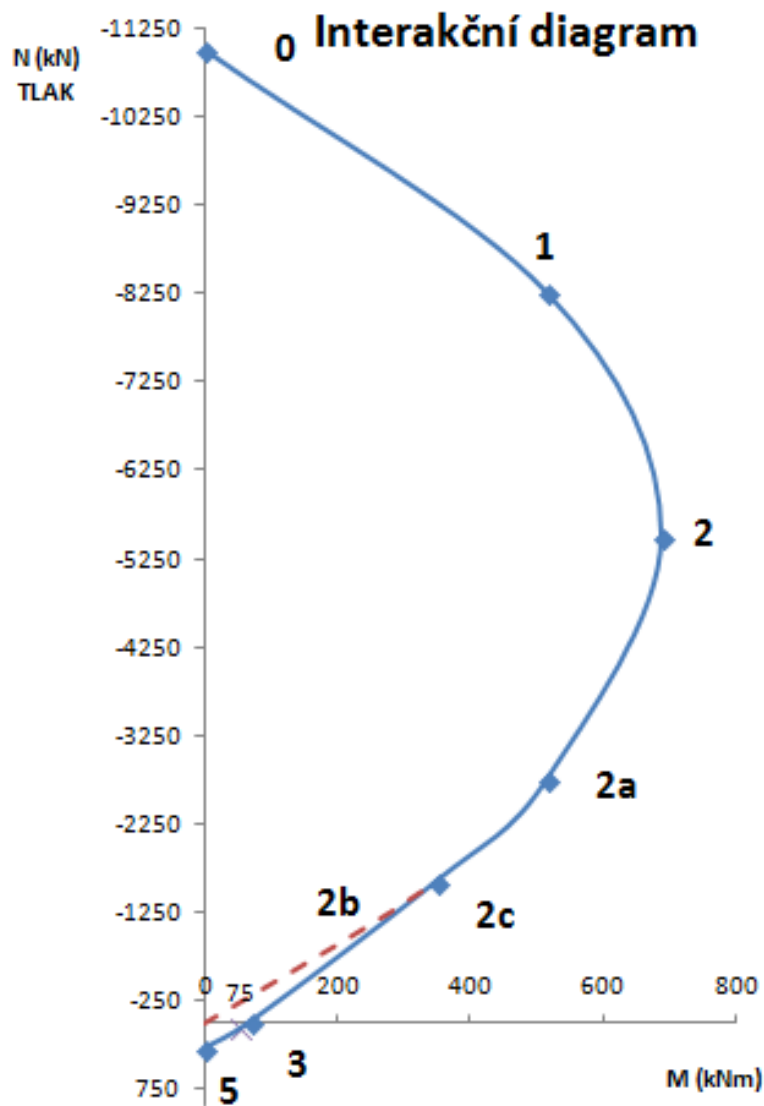
3.2.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ

Cílem této kapitoly je nalézt tloušťku průřezu skořepiny tak, aby všechny typické průřezy (č. 1-10) vyhověly bez použití betonářské výztuže. Za pomoci interakčního diagramu bude navržena minimální tloušťka skořepiny.

Pro zjednodušení byly vybrány dva z typických průřezů, které jsou nejvíce namáhány. Je to průřez 8 - bok ve spojení obou skořepin bez podpor a 2 - v malé skořepině nad podporami. Pomocí průřezu 8 bude zjištěna minimální tloušťka skořepiny na bocích. Průřez č. 2 zastupuje všechna ostatní místa po konstrukci, protože má velký ohybový moment a poměrně velkou normálovou sílu.

Průřez č. 2: $N_{y,Ed}=75\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=85\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=63\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=30\text{kNm/m}$
Průřez č. 8: $N_{y,Ed}=330\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=105\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=290\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=85\text{kNm/m}$

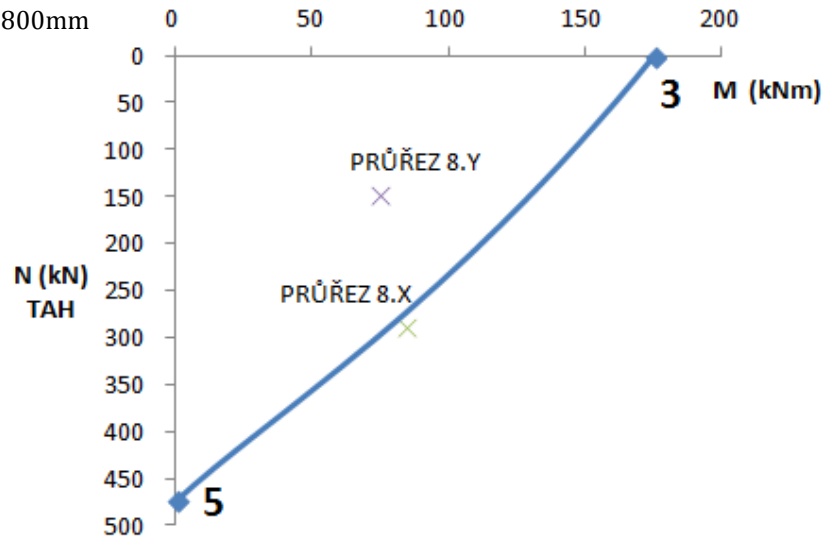
Na obrázku 19 jsou vidět všechny body interakčního diagramu. Jelikož oba posuzované body jsou namáhány ohybem a tahovou silou, budou další grafy (obrázky 20-23) zobrazovat pouze spodní část pod vodorovnou osou.



Obrázek 19 – Interakční diagram – přehled všech bodů FRC 33/37

Průřez č. 8:

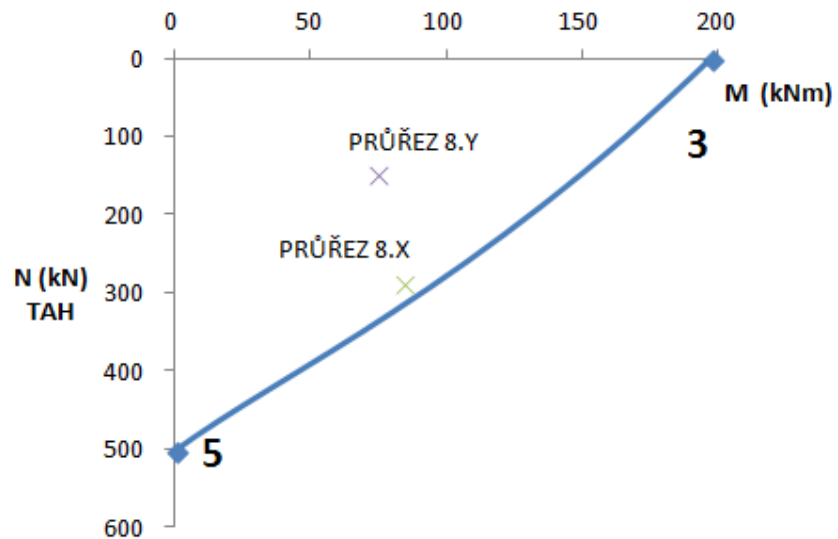
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 800mm



Obrázek 20 – Interakční diagram – skořepina tl.800mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 850mm

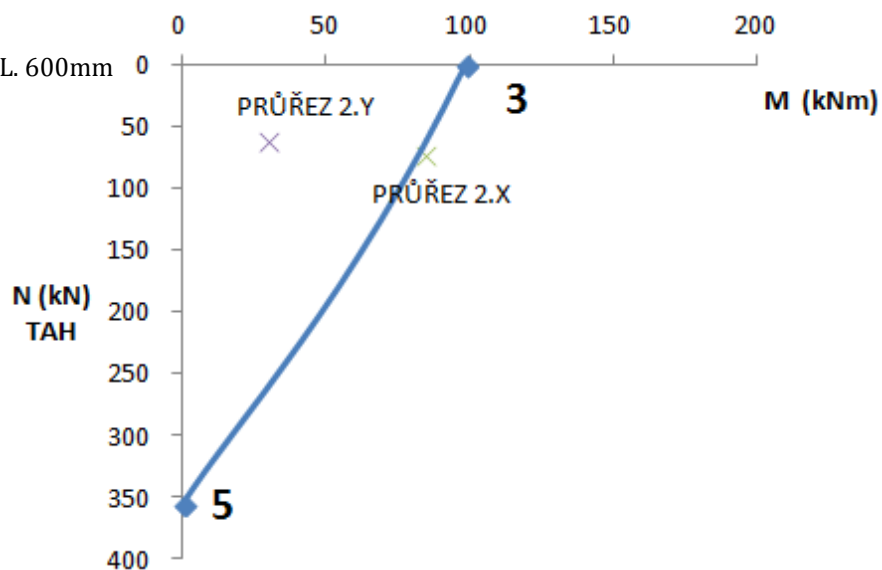


Obrázek 21 – Interakční diagram – skořepina tl.850mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Průřez č. 2:

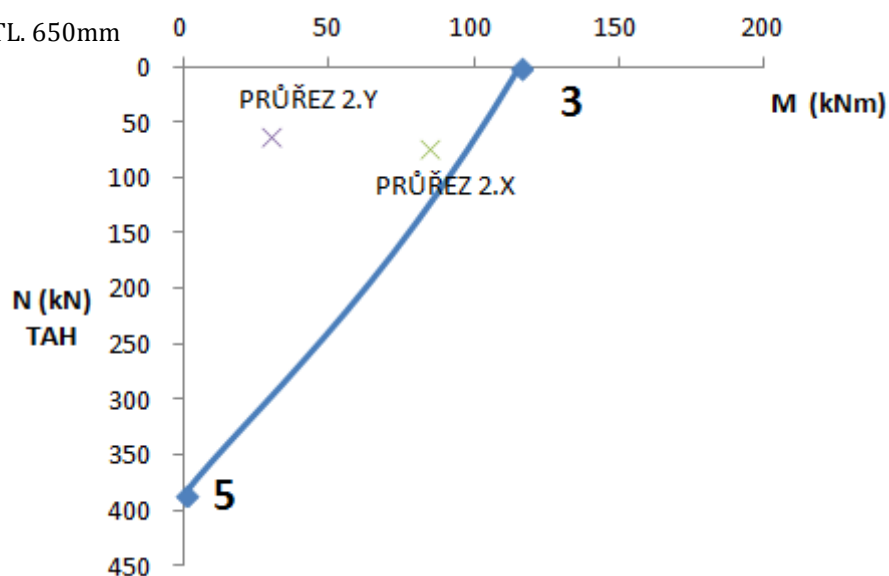
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 600mm



Obrázek 22 – Interakční diagram – skořepina tl.600mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 650mm



Obrázek 23 – Interakční diagram – skořepina tl.650mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Pro návrh skořepiny byly použity vnitřní síly, které byly zjištěny na původní variantě, která měla po obvodě tloušťku 350-750mm. Tloušťka skořepiny z materiálu FRC 33/37 vychází 650-850mm, tzn., že se oproti původní variantě zvýší vlastní tíha konstrukce, která tvoří dominantní zatížení skořepiny. Z tohoto důvodu je potřeba zjistit nové vnitřní síly v průřezu 2 a 8 a přeprojektovat únosnost skořepiny.

Nové vnitřní síly:

Průřez č. 2: $N_{y,Ed}=85\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=80\text{kNm/m}$

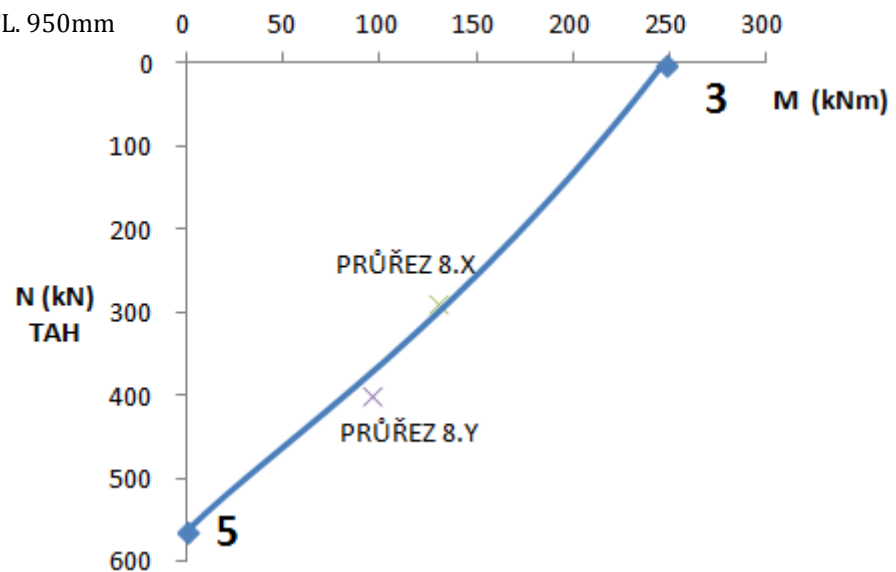
$N_{x,Ed}=80\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=40\text{kNm/m}$

Průřez č. 8: $N_{y,Ed}=400\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=96\text{kNm/m}$

$N_{x,Ed}=360\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=130\text{kNm/m}$

Průřez č. 8:

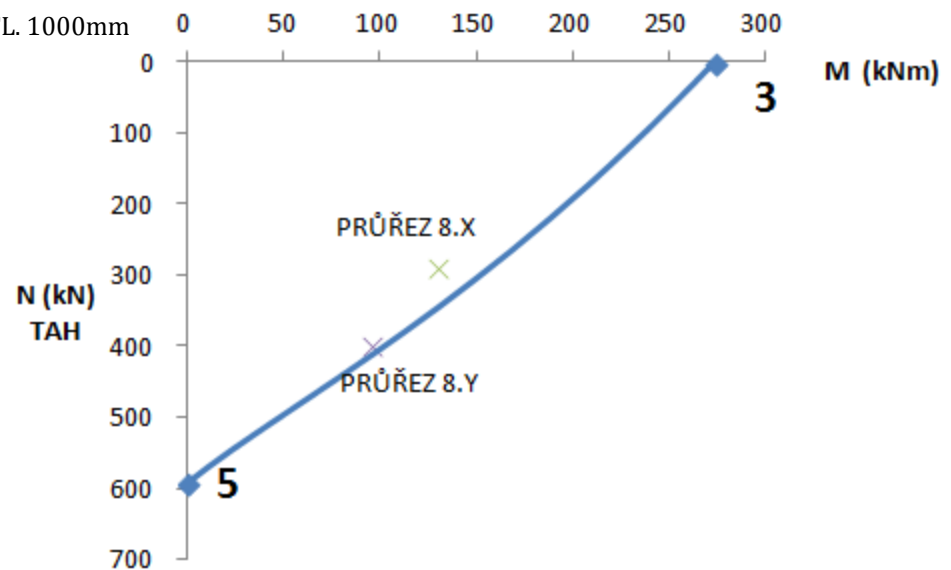
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 950mm



Obrázek 24 – Interakční diagram – skořepina tl.950mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 1000mm

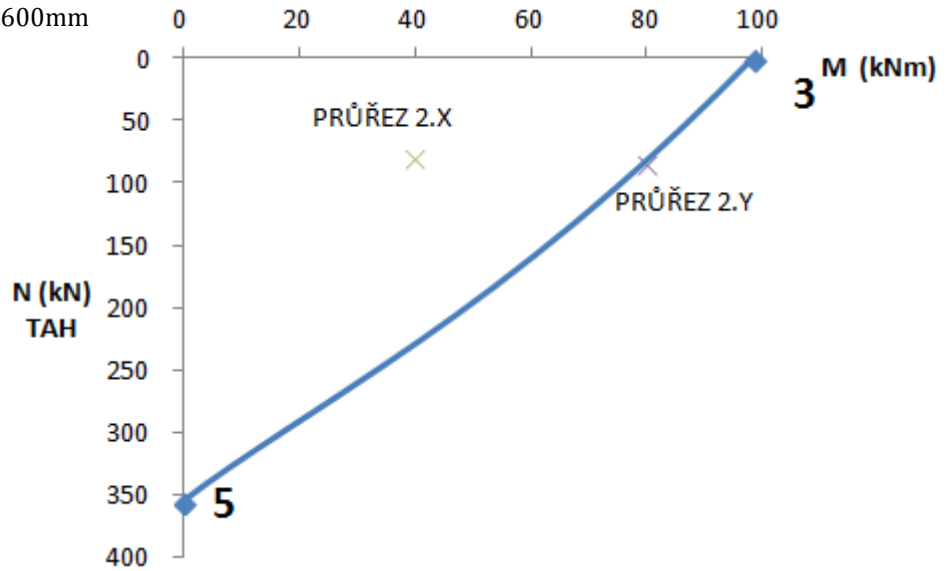


Obrázek 25 – Interakční diagram – skořepina tl.1000mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Průřez č. 2:

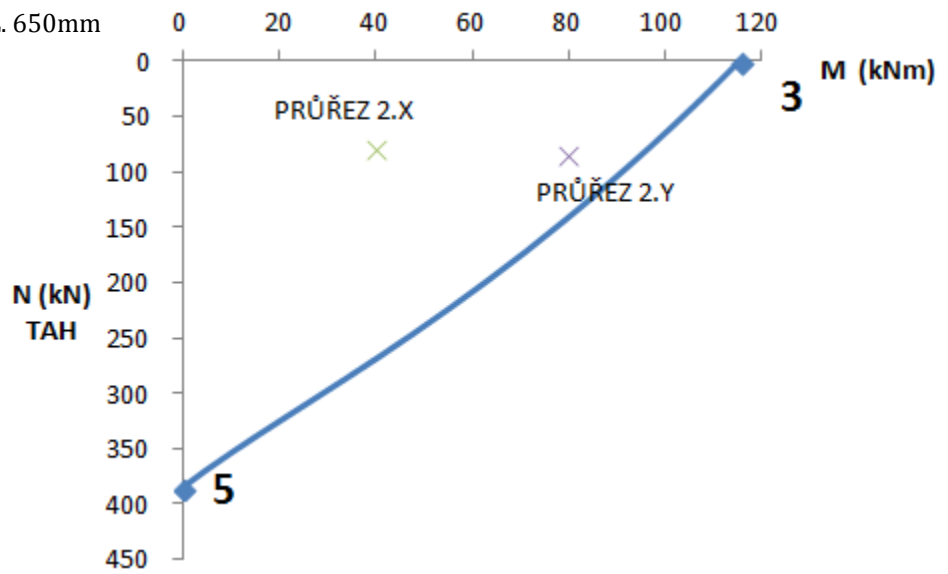
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 600mm



Obrázek 26 – Interakční diagram – skořepina tl.600mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 650mm



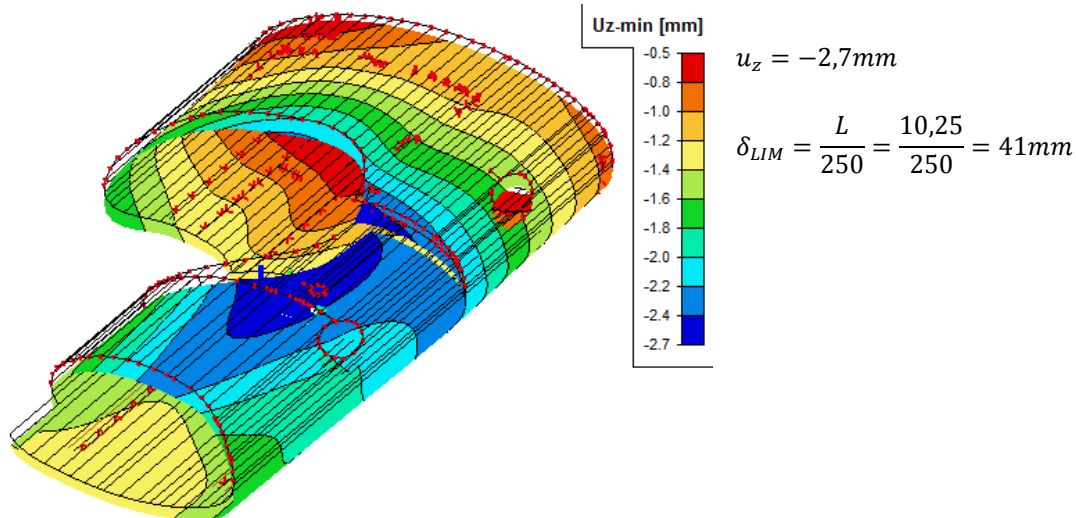
Obrázek 27 – Interakční diagram – skořepina tl.650mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Tloušťku průřezu na bocích je potřeba zvýšit na 1000mm. Ve vrchlíku a spodní části zůstává tloušťka 650mm. Přejechod tloušťky průřezu bude pozvolný jako u původní varianty.

3.2.5 Kontrola průhybu

Vzhledem tomu, že na DB skořepině nevznikají trhliny, uvažuje se vliv poklesu tuhosti konstrukce hodnotou 1.



Obrázek 28 – Schéma pružného průhybu

Vliv dotvarování a smrštění betonu:
Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

1. $t_0 = 28$ dní

... stáří betonu v době zatížení

2. cement R

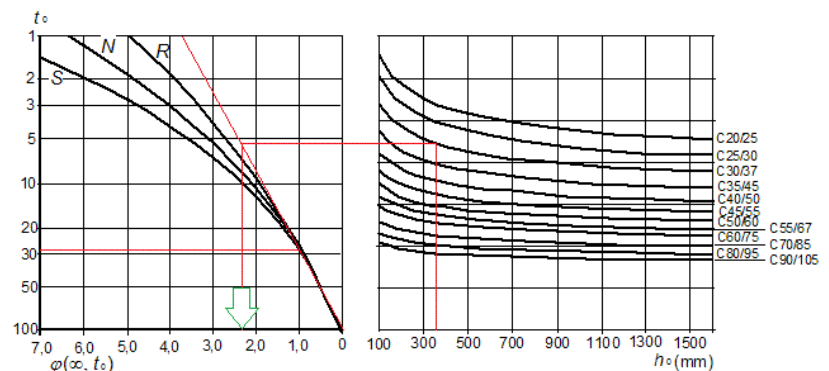
$$3. h_0 = \frac{A_c \cdot 2}{u} = \frac{0,65 \cdot 1,0 \cdot 2}{2 \cdot (0,65 + 1,0)} = 0,34 \text{ m}$$

jmenovitý rozměr příčného řezu

$$\phi(\infty; t_0) = 2,3(-)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty; t_0)} = \frac{30,5}{1 + 2,3} = 9,24 \text{ GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{9,24} = 3,3(-)$$

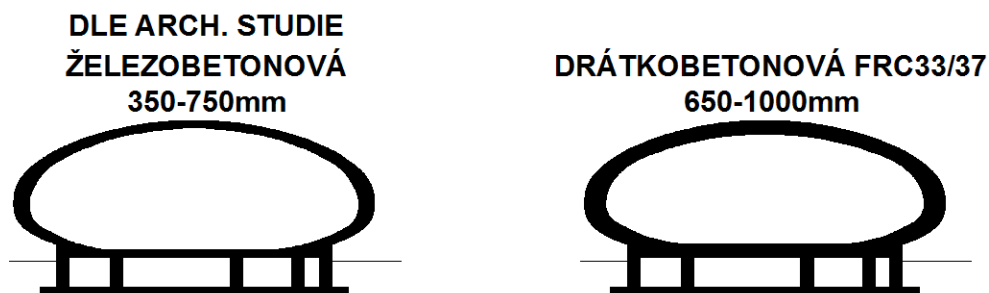


Obrázek 29 – Schéma odečtení součinitele dotvarování

$$\delta_{skutečný} = \delta_z \cdot \text{vliv tuhosti} \cdot \text{vliv dotvarování/smrštění} = 2,7 \cdot 1 \cdot 3,3 = 8,91 \text{ mm}$$

$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} < \delta_{skutečný} = 8,91 \text{ mm}$$

SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB



Obrázek 30 – Srovnání původního architektonického návrhu s optimalizovaným návrhem skořepiny

4. Drátkobeton v kombinace s betonářskou výztuží

4.1 Úvod

Nosnou konstrukci bude tvořit beton vyztužený betonářskou výztuží a ocelovými drátky. Oproti kapitole 2 a 3 není zabráněno vzniku trhliny, je ovšem hlídána šířka trhliny. Specifikace drátkobetonu je stejná jako v kapitole 3.

4.2 Materiálové charakteristiky

Specifikace DB: C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8 XC4;XF2-Cl0,4-Dmax16-S4 STEELCRETE SV [5]

Pevnost v tlaku: $f_{FRC,d} = \frac{33}{1,5} = 22MPa$

Pevnost v dostředném tahu – vznik makrotrhliny:

$$f_{FRCT,d} = \frac{3,2}{1,5} = 2,13MPa$$

Pevnost v dostředném tahu – při dohodnuté deformaci 3,5mm:

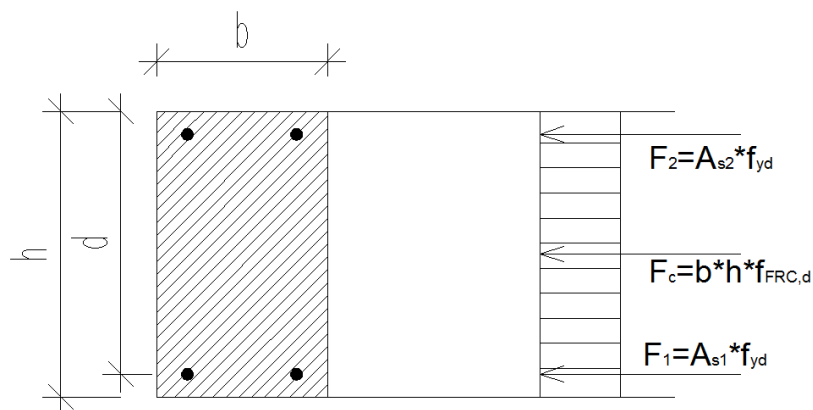
$$f_{FRCT,d} = \frac{0,8}{1,35} = 0,59MPa *$$

* ... Součinitel spolehlivosti pro napětí DB v tahu může být 1,35 (menší než u pevnosti v tlaku a pevnosti v dostředném tahu při vzniku makrotrhliny), protože v tomto případě rozhodují pouze drátky, nikoliv beton.

4.3 Sestavení interakčního diagramu

V této kapitole budou obecně představeny jednotlivé body interakčního diagramu. Podle těchto bodů je nastavený zjednodušený interakční diagram v Excelu, který bude v následující kapitole využíván pro ověření únosnosti průřezů.

BOD 0: „DOSTŘEDNÝ TLAK“

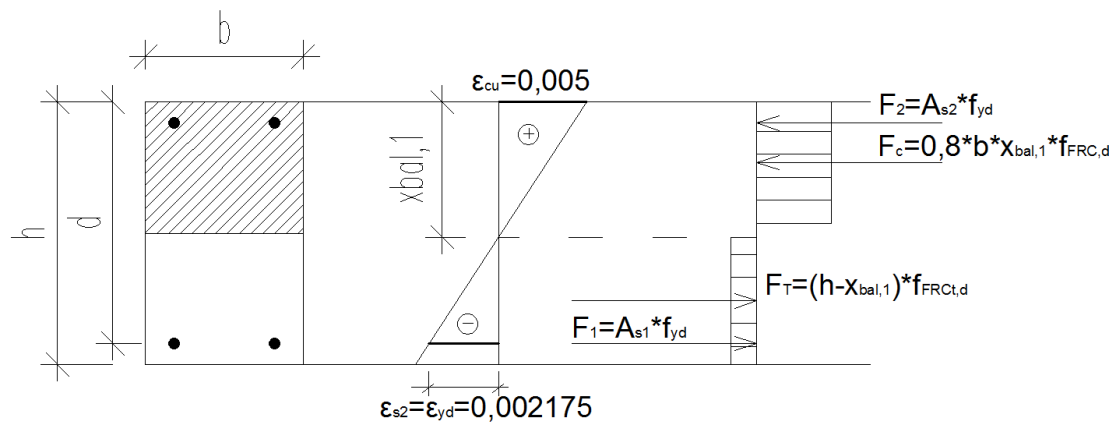


Obrázek 31 – Schéma působících sil v tlačeném průřezu

$$N_{Rd,0} = -A_{s2} * f_{yd,2} - A_{s1} * f_{yd,1} - b * h * f_{FRC,d}$$

$$M_{Rd,0} = 0$$

BOD 2: „NAPĚTÍ V TAŽENÉ VÝZTUŽI NA MEZI KLUZU“



Obrázek 32 – Schéma působících sil a přetvoření v bodě 2

$$N_{Rd,2} = -A_{s2} * f_{yd,2} - 0,8 * x_{bal,1} * b * f_{FRc,d} + (h - x_{bal,1}) * f_{FRc,d} + A_{s1} * f_{yd,1}$$

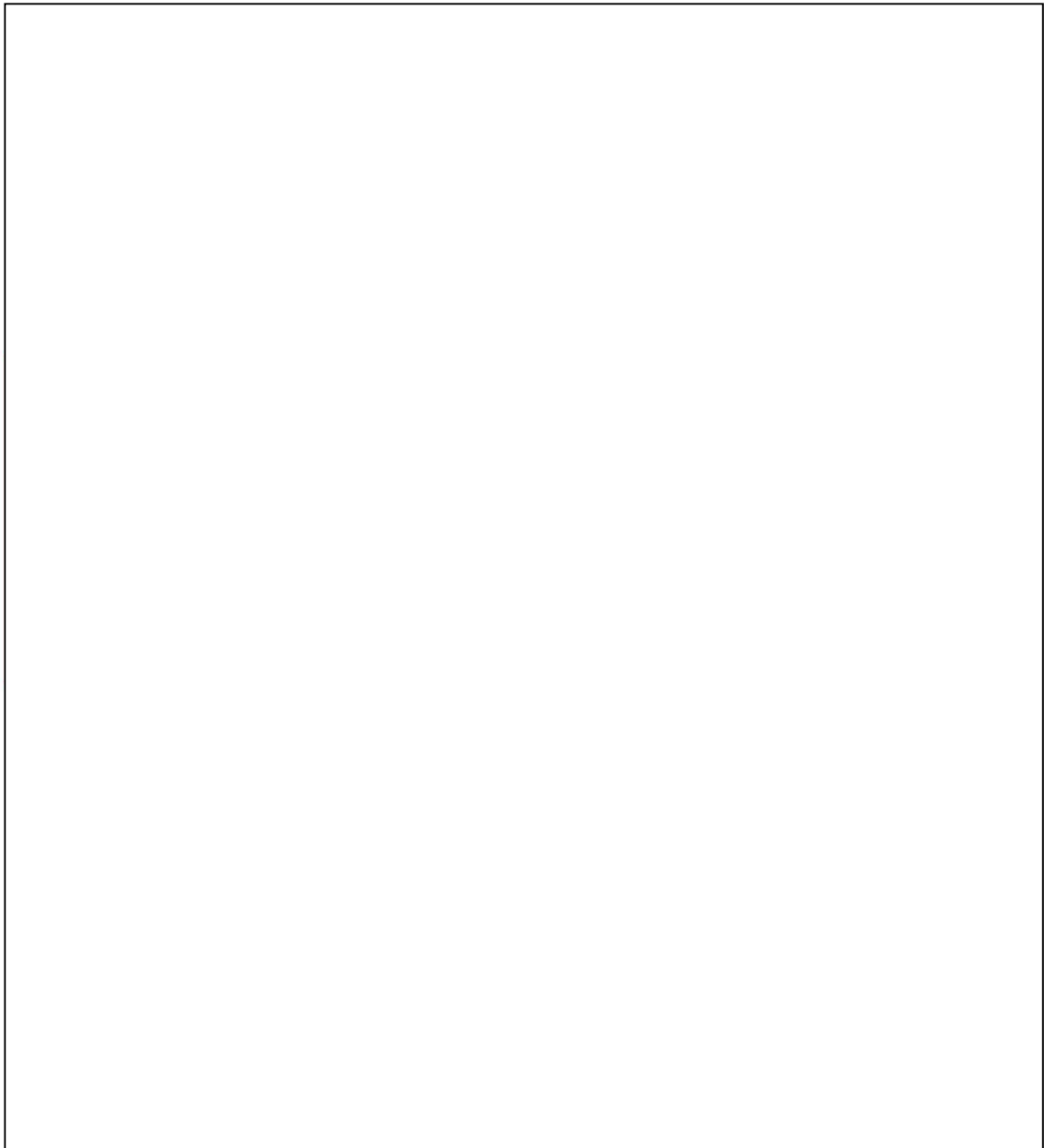
$$M_{Rd,2} = -A_{s2} * f_{yd,2} * (x_{bal,1} - d_2) - 0,8 * x_{bal,1} * b * f_{FRc,d} * (x_{bal,1} - 0,4 * x_{bal,1}) + (h - x_{bal,1}) * f_{FRc,d} * \left(\frac{h - x_{bal,1}}{2}\right) + A_{s1} * f_{yd,1} * (d - x_{bal,1})$$

Nutno před výpočtem zjistit $x_{bal,1}$:

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{(d - x_{bal,1})} \quad \dots \quad x_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu} * d}{(\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{cu})}$$

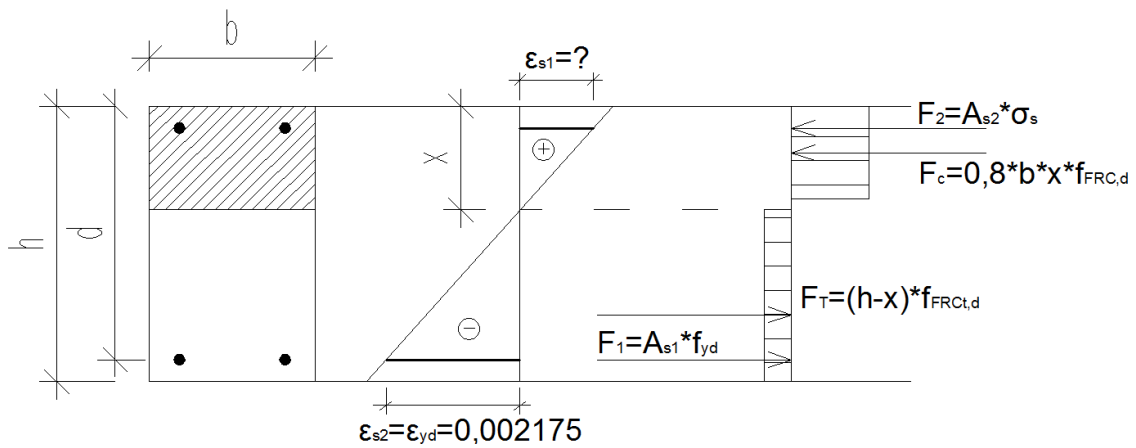
Poznámka:

Maximální poměrné přetvoření betonu je uvažováno bezpečnou hodnotou $\varepsilon_{cu} = 0,005(-)$ podle [3]. Hodnota byla zvolena pomocí pracovního diagramu na obrázku 33, který je v červeném rámečku.



Obrázek 33 – Pracovní diagramy ze zkoušek tlakem [3]

BOD 3: „PROSTÝ OHYB“



Obrázek 34 – Schéma působících sil a přetvoření v ohýbaném průřezu

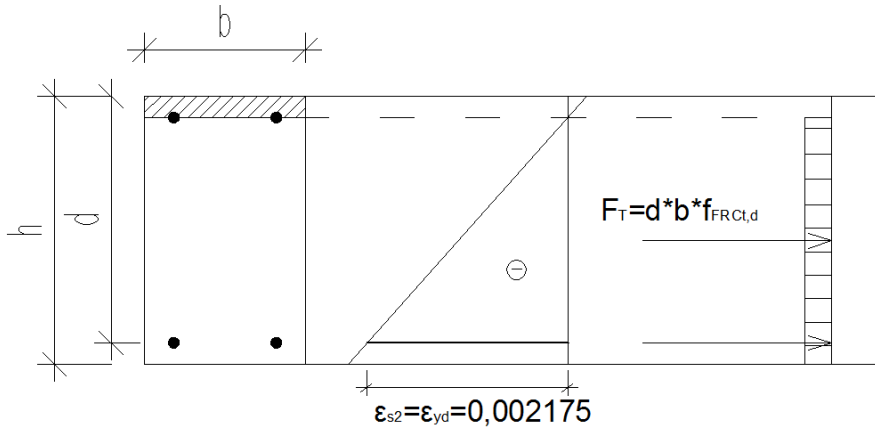
$$N_{Rd,3} = -A_{s2} * \sigma_{s,2} - 0,8 * \chi * b * f_{FRc,d} + (h - x) * f_{FRct,d} + A_{s1} * f_{yd,1}$$

$$M_{Rd,3} = -A_{s2} * f_{yd,2} * (x - d_2) - 0,8 * \chi * b * f_{FRc,d} * (x - 0,4 * \chi) + (h - x) * f_{FRct,d} * \left(\frac{h-x}{2}\right) + A_{s1} * f_{yd,1} * (d - x)$$

Nutno ověřit napětí v horní výztuži:

$$\frac{\varepsilon_{s2}}{(d-x)} = \frac{\varepsilon_{s1}}{(x-d_2)} \quad \dots \quad \varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{s1} * (d-x)}{(x-d_2)} \quad \dots \quad \sigma_{s,2} = \varepsilon_{s2} * E \leq f_{yd}$$

BOD 4: „NULOVÉ PŘETVOŘENÍ TLACENÉ VÝZTUŽE“

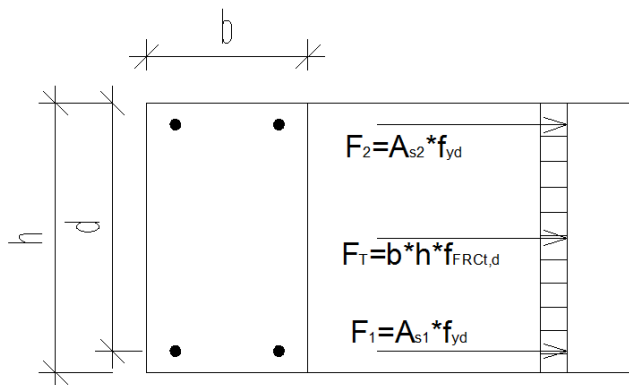


Obrázek 35 – Schéma působících sil a přetvoření v bodě 4

$$N_{Rd,4} = d * b * f_{FRct,d} + A_{s1} * f_{yd,1}$$

$$M_{Rd,4} = d * b * f_{FRct,d} * \frac{d}{2} + A_{s1} * f_{yd,1} * (d - d_2)$$

BOD 5: „PROSTÝ TAH“



Obrázek 36 – Schéma působících sil v taženém průřezu

$$N_{Rd,0} = -A_{s2} * f_{yd,2} - A_{s1} * f_{yd,1} - b * h * f_{FRc,d}$$

$$M_{Rd,0} = 0$$

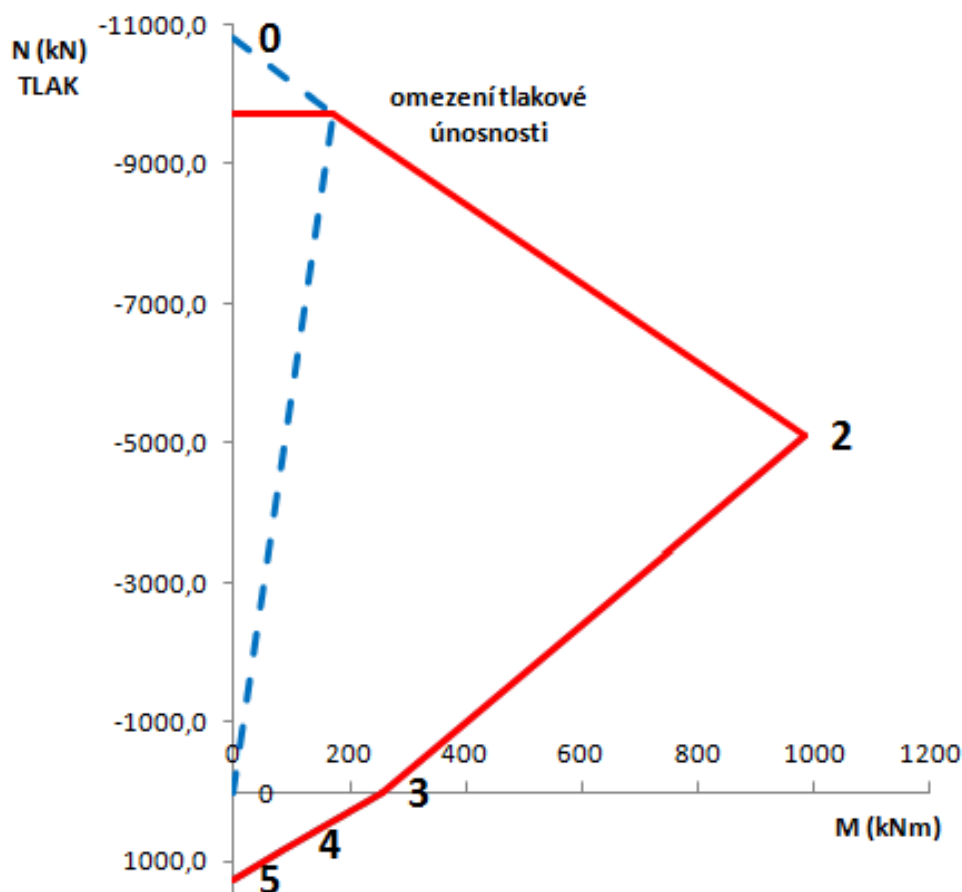
4.4 Návrh DB skořepiny na MSÚ

Cílem této kapitoly je nalézt tloušťku průřezu skořepiny tak, aby všechny typické průřezy (č. 1-10) vyhověly při použití drátkobetonu a betonářské výztuže. Za pomoci interakčního diagramu bude navržena minimální tloušťka skořepiny.

Pro zjednodušení byly vybrány dva z typických průřezů, které jsou nejvíce namáhány. Je to průřez 8 - bok ve spojení obou skořepin bez podpor a 2 - v malé skořepině nad podporami. Pomocí průřezu 8 bude zjištěna minimální tloušťka skořepiny na bocích. Průřez 2 zastupuje všechna ostatní místa po konstrukci, protože má velký ohybový moment a poměrně velkou normálovou sílu.

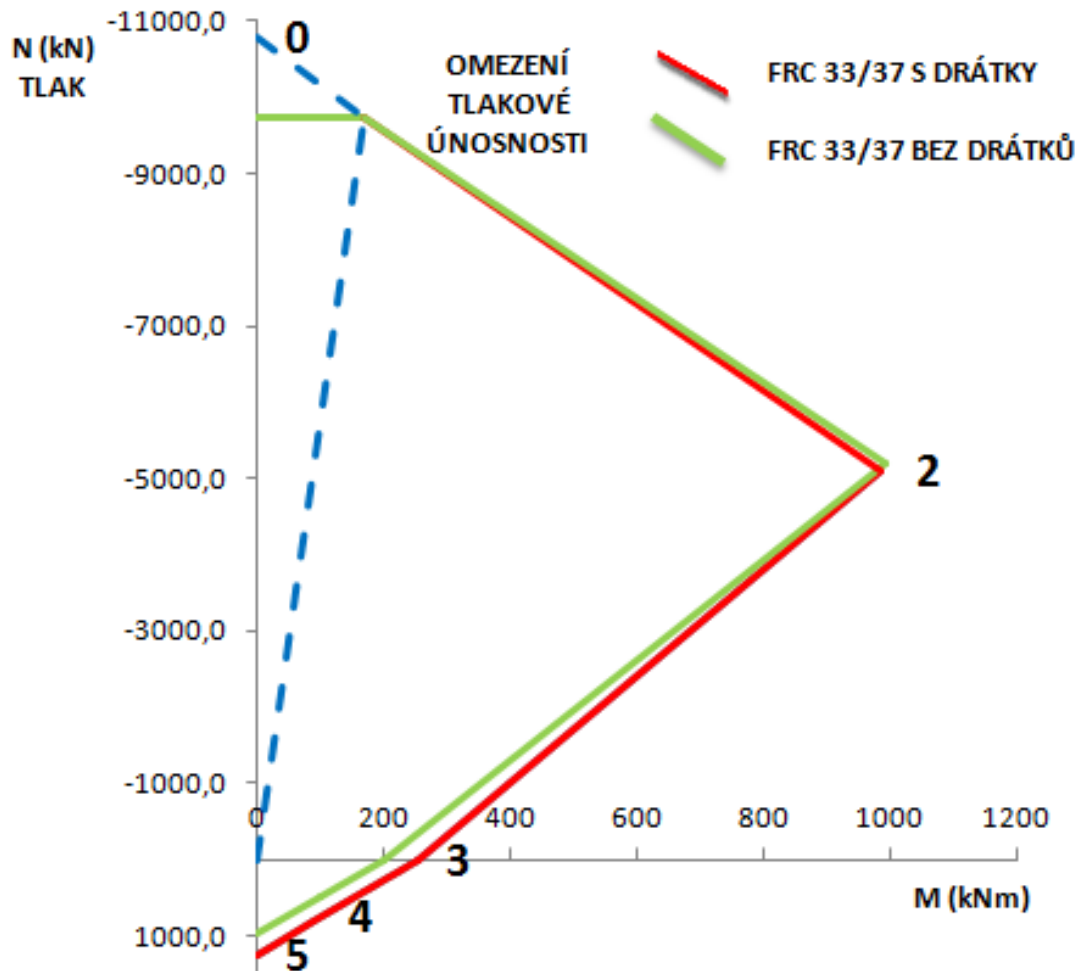
Průřez č. 2: $N_{y,Ed}=75\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=85\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=63\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=30\text{kNm/m}$
Průřez č. 8: $N_{y,Ed}=330\text{kN/m}$; $m_{y,Ed}=105\text{kNm/m}$ $N_{x,Ed}=290\text{kN/m}$; $m_{x,Ed}=85\text{kNm/m}$

Na obrázku 36 jsou vidět všechny body zjednodušeného interakčního diagramu. Jelikož oba posuzované body jsou namáhány ohybem a tahovou silou, budou další grafy (obrázky 39 - 42) zobrazovat pouze spodní část pod vodorovnou osou.



Obrázek 37 – Body zjednodušeného interakčního diagramu FRC 33/37 s betonářskou výztuží

Pro zajímavost byl sestaven nový interakční diagram pro stejný materiál FRC 33/37, který nezohledňuje vliv drátků. Na obrázku 37 je vidět interakční diagram FRC 33/37 s a bez vlivu ocelových drátků.



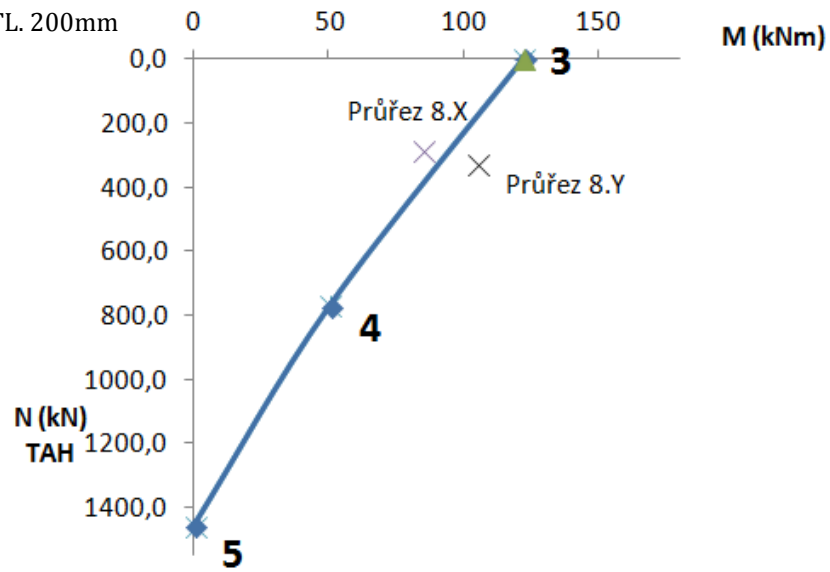
Obrázek 38 – Interakční diagramy FRC 33/37 s a bez vlivu ocelových drátků

Vliv drátků se projevil především v tažené oblasti interakčního diagramu. Únosnost v ohybu vzrostla v bodě 3 o 56kNm a únosnost v tahu v bodě 5 o 266kN. Interakční diagramy na obrázcích 34 a 35 jsou sestaveny pro průřez $h=450\text{mm}$ a $b=1000\text{mm}$.

Průřez č. 8:

- betonářská výztuž: $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539\text{mm}^2$

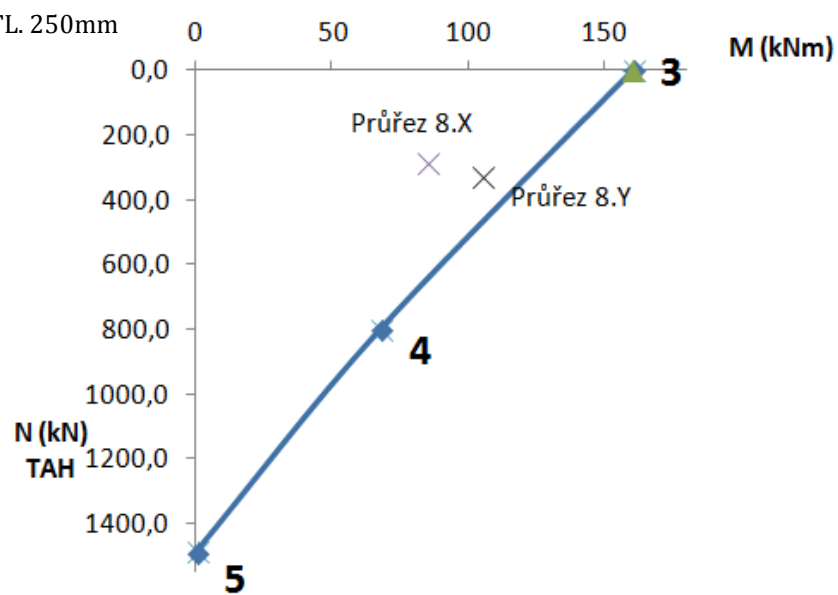
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 200mm



Obrázek 39 – Interakční diagram – skořepina tl.200mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 250mm



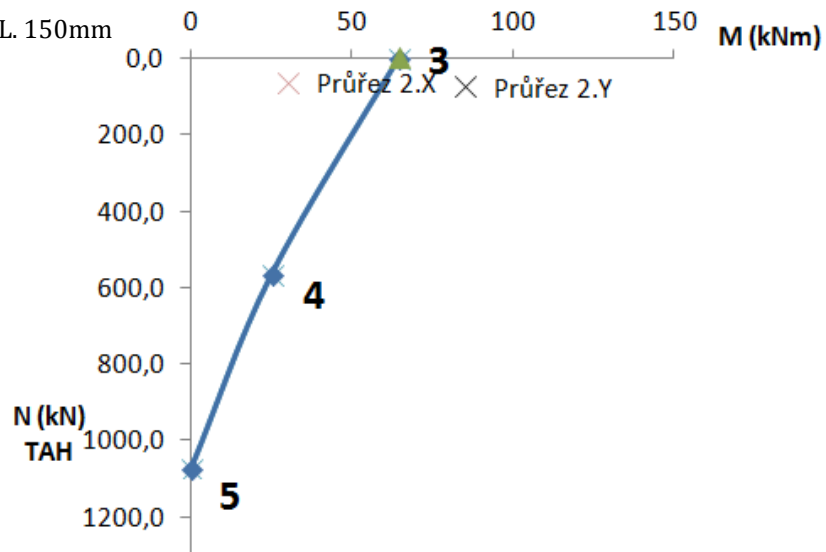
Obrázek 40 – Interakční diagram – skořepina tl.250mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Průřez č. 2:

- betonářská výztuž: $\varnothing 12$ po 100mm, $A_s = 1131\text{mm}^2$

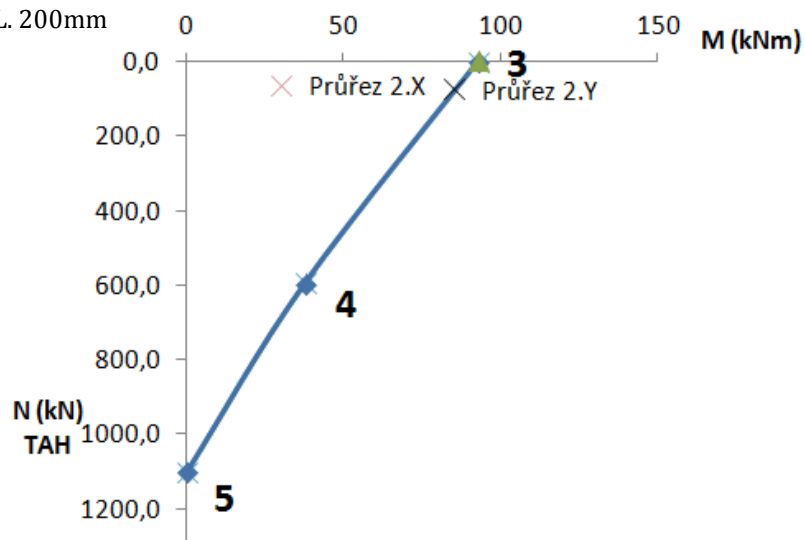
1. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 150mm



Obrázek 41 – Interakční diagram – skořepina tl.150mm

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

2. NÁVRH: SKOŘEPINA TL. 200mm



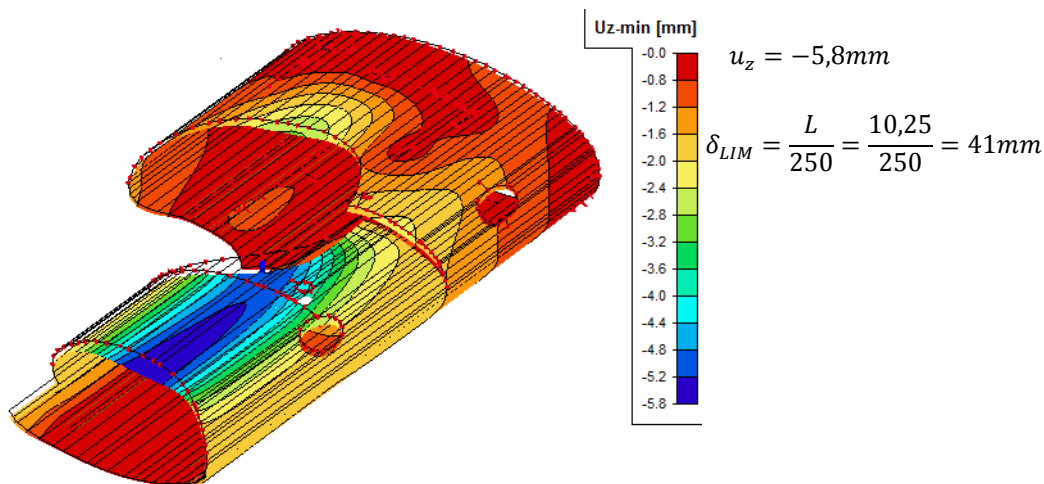
Obrázek 42 – Interakční diagram – skořepina tl.200mm

PRŮŘEZ VYHOVÍ

Skořepina bude mít na bocích tloušťku průřezu 250mm a ve vrchlíku a spodní části 200mm. Přejít tloušťky průřezu bude pozvolný jako u původní varianty.

4.5 Kontrola skořepiny z hlediska MSP

4.5.1 Kontrola průhybu



Obrázek 43 – Schéma pružného průhybu

Vliv dotvarování a smrštění betonu:

Snížení modulu pružnosti vlivem dlouhotrvajícího zatížení:

1. $t_0 = 28$ dní

... stáří betonu v době zatížení

2. cement R

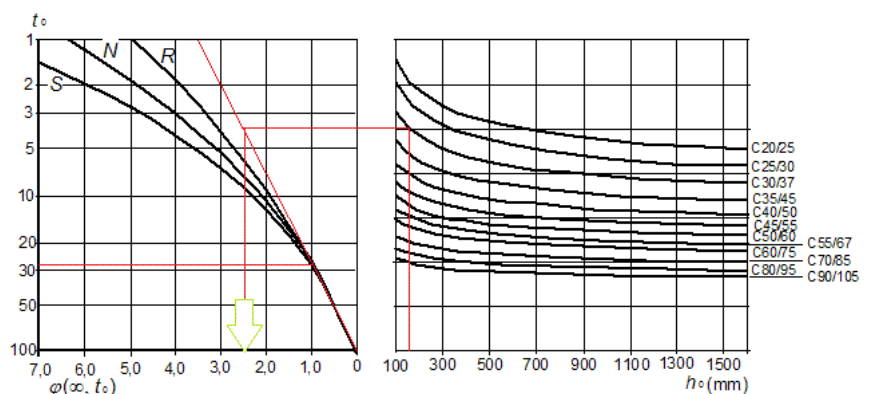
$$3. h_0 = \frac{A_c \cdot 2}{u} = \frac{0,2 \cdot 1,0 \cdot 2}{2 \cdot (0,2 + 1,0)} = 0,167 \text{ m}$$

jmenovitý rozměr příčného řezu

$$\phi(\infty; t_0) = 2,5(-)$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty; t_0)} = \frac{30,5}{1 + 2,5} = 8,7 \text{ GPa}$$

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = \frac{30,5}{8,7} = 3,5(-)$$



Obrázek 44 – Schéma odečtení součinitele dotvarování

Vliv poklesu tuhosti průřezu:

Průřez je vyztužen jak betonářskou výztuží, tak i ocelovými drátky. Výpočet hodnoty zohledňující pokles tuhosti bude stejný jako u železobetonových variant, tudíž nebude zohledněno působení drátků. Hodnota bude tedy vycházet o něco větší, než by ve skutečnosti měla být.

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) = 1 - 0,5 \left(\frac{3,2}{7,189} \right) = 0,77$$

$$I_{výsl} = \frac{I_i \cdot I_{ir}}{I_i \cdot \zeta + (1 - \zeta) \cdot I_{ir}} = \frac{8,88 \cdot 10^{-4} \cdot 4,35 \cdot 10^{-4}}{8,88 \cdot 10^{-4} \cdot 0,77 + (1 - 0,77) \cdot 4,35 \cdot 10^{-4}} = 4,93 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{vliv tuhosti} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{I_{výsl}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 1,0 \cdot 0,2^3}{4,79 \cdot 10^{-4}} = 1,35(-)$$

$$\delta_{skutečný} = \delta_z \cdot \text{vliv tuhosti} \cdot \text{vliv dotvarování/smrštění} = 5,8 \cdot 1,35 \cdot 3,5 = 27,41 \text{ mm}$$

$$\delta_{LIM} = 41 \text{ mm} < \delta_{skutečný} = 27,41 \text{ mm}$$

SKOŘEPINA VYHOVÍ NA PRŮHYB

4.5.2 Kontrola šířky trhliny

Pro kontrolu šířky trhliny byl použit program vytvořený v programu MS Excel. Po zadání velikosti průřezu a plochy výztuže program stanoví šířku raných trhlin od objemových změn. Výpočet byl obdobný jako u železobetonové skořepiny s tím rozdílem, že nyní je třeba zohlednit příznivý vliv drátků. Šířka trhliny smí dosáhnout nanejvýš 0,2mm.

Příznivý vliv vláken se projeví zmenšením hodnot poměrného přetvoření vláknobetonu od smrštění, a lze ho stanovit podle vztahu:

$$\varepsilon_{fc,sh} = \varepsilon_{c,sh} * \left(\frac{f_{ct,spl,exp}}{f_{fct,spl,exp}} \right) [4]$$

Tento vztah vyjadřuje možnou redukci hodnoty poměrného smrštění vláknobetonu v závislosti na poměru pevností v příčném tahu betonu a vláknobetonu, zjištěných na krychlích o hraně 150mm. V čitateli je experimentálně zjištěná hodnota pevnosti betonu v příčném tahu a ve jmenovateli je experimentálně zjištěná hodnota pevnosti vláknobetonu v příčném tahu.

Na základě dlouholetých experimentů lze poměr stanovit následovně:

$$\frac{f_{ct,spl,exp}}{f_{fct,spl,exp}} = 0,8 [4]$$

Aby bylo zohledněno působení drátků, bylo napětí ve výztuži zkresleno právě touto hodnotou. Výpočet napětí pak bude odpovídat tomuto vztahu:

$$\sigma_s = 0,8 * \frac{f_{ct,eff} * k * k_c * A_{ct}}{A_s}$$

$k_c; k$... součinitelé

$f_{ct,eff} = 0,5 * f_{fc,tk}$... *efektivní pevnost vláknobetonu v tahu*

$A_{ct} = 0,5 * A_c$... *polovina betonového průřezu*

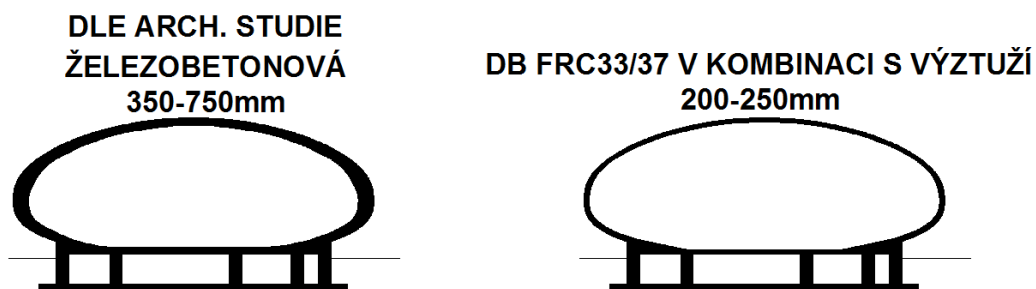
A_s ... *plocha výztuže*

σ_s ... *hodnota napětí ve výztuži*

Tabulka 15 – Výpočet šířky raných trhlin od objemových změn

		2.	8.
Prvek: výška	$h=$	0,2	0,25
šířka	$b=$	1	1
	$h_{cr}=$	0,1	0,125
krytí	$c=$	0,02	0,04
průměr výztuže		0,012	0,014
ef. pevnost v tahu	$f_{ct,eff}=$	1,6	1,6
alfa e		6,6	6,6
součinitelé	$k=$	1	1
	$k_c=$	1	1
	$k_1=$	0,8	0,8
	$k_2=$	1	1
	$k_3=$	3,400	2,485
	$k_4=$	0,425	0,425
	$k_t=$	0,4	0,4
	$A_{ct}=$	0,1	0,125
účinná výška	$d=$	0,174	0,203
vzdálenost		0,100	0,100
plocha výztuže	$A_s=$	0,001131	0,0015394
poloha NO		0	0
efektivní výška	$h_{c,eff}=$	0,065	0,08333333
efektivní plocha	$A_{c,eff}=$	0,065	0,08333333
stupeň vyztužení	$\rho=$	0,0173996	0,01847255
napětí ve výztuži		113,2	103,9
vzdálenost	$s_{r,max}=$	0,3024885	0,35709628
rozdíl přetvoření		0,0003609	0,00032534
omezení		0,0003609	0,00032534
šířka		0,000109	0,0001162

Boky skořepiny budou mít tloušťku 250mm, spodní část a ve vrchlíku 200mm. Boky budou vyztuženy oboustranně $\varnothing 14$ po 100mm, $A_s = 1539mm^2$ (průřezy 8, 9, 10) a v ostatních průřezích budou oboustranně $\varnothing 12$ po 100mm, $A_s = 1131mm^2$. Návrh příčné výztuže – spon zůstává stejný jako u první varianty.

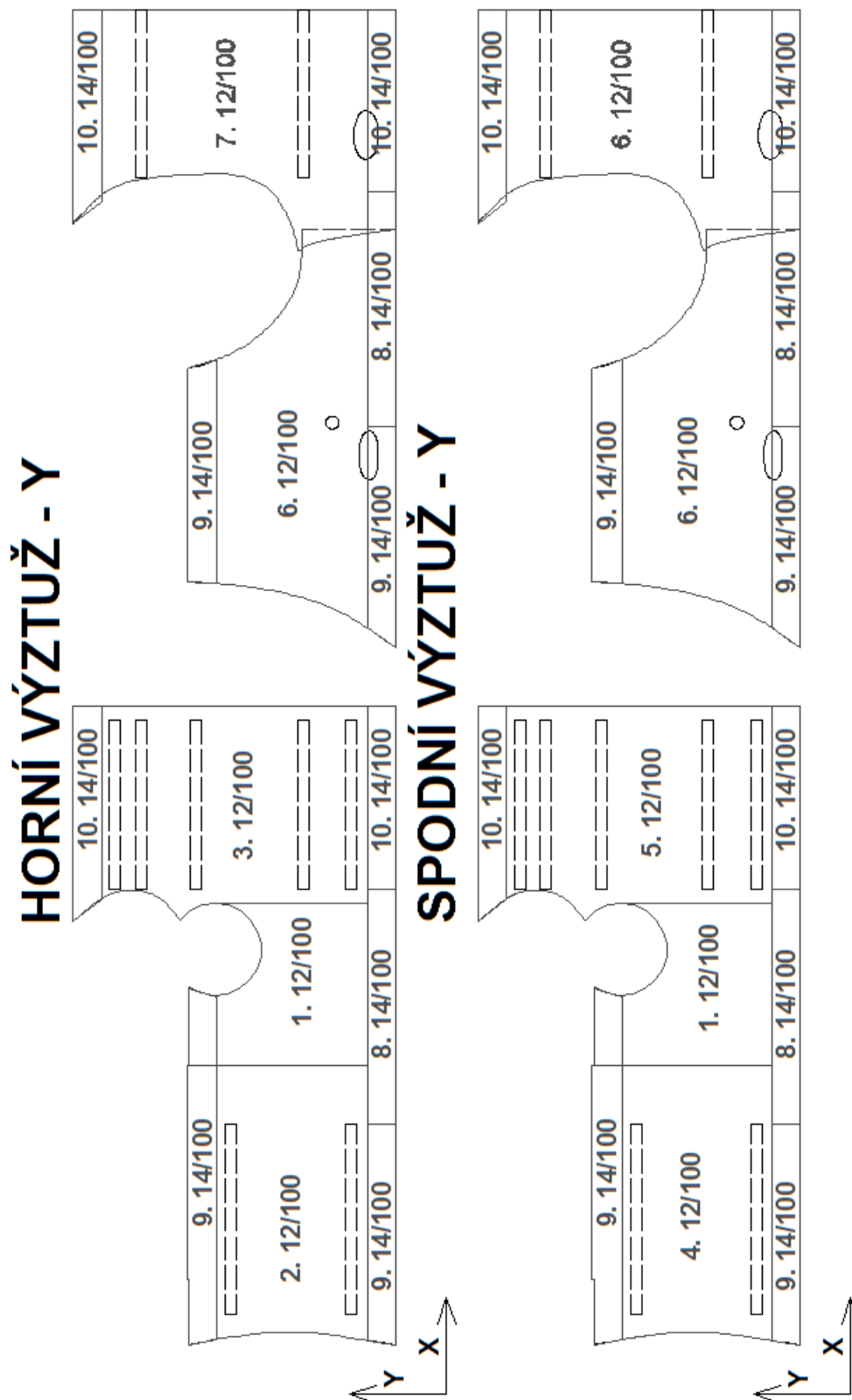


Obrázek 45 – Srovnání původního architektonického návrhu s optimalizovaným návrhem skořepiny

4.6 Schéma vyztužení DB skořepiny v kombinaci s bet. výztuží

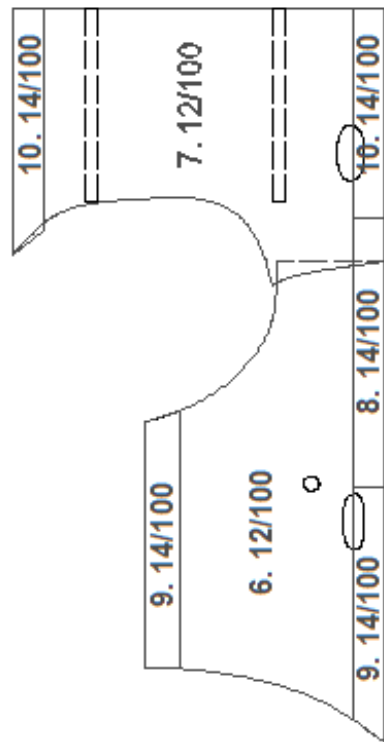
Na schématech konstrukce jsou vidět oblasti s typem výztuže.

Značení: (číslo průřezu). (průměr prutu)/ (vzdálenost prutů)

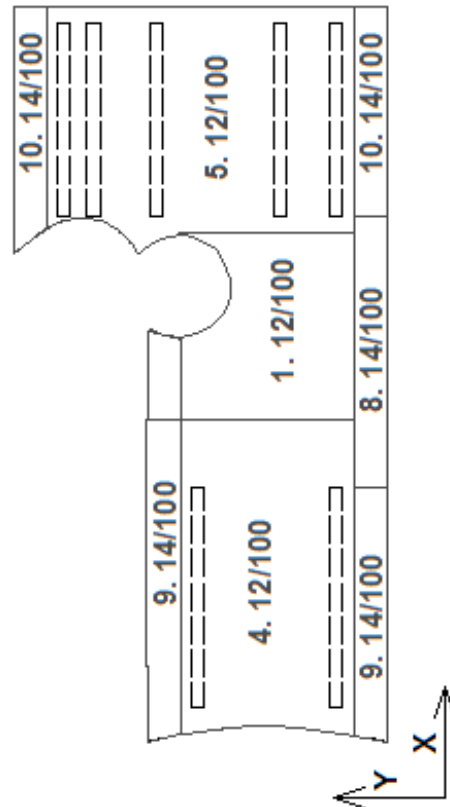
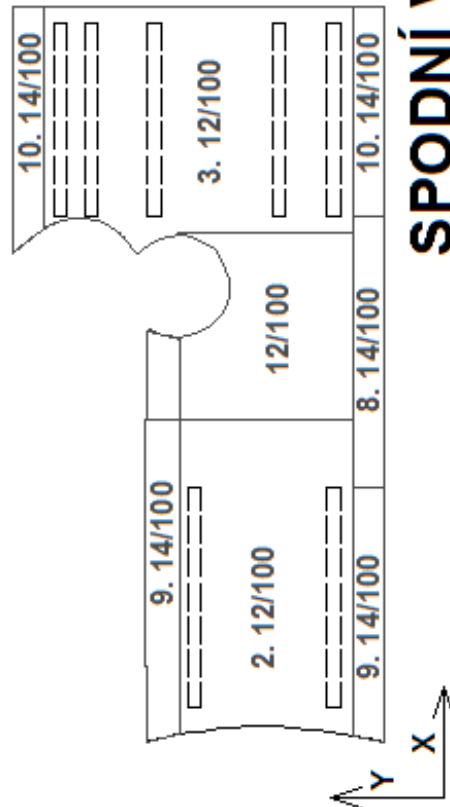
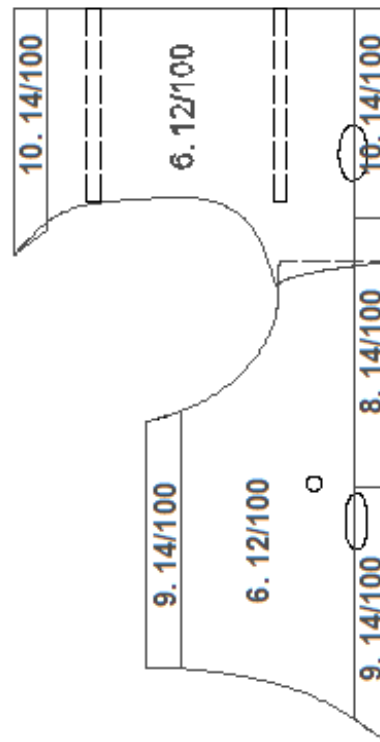


Obrázek 46 – Schéma vyztužení skořepiny ve směru Y

HORNÍ VÝZTUŽ - X



SPODNÍ VÝZTUŽ - X



Obrázek 47 – Schéma vyztužení skořepiny ve směru X

5. Vyhodnocení navrhovaných variant

Skořepina byla navržena v různých materiálových variantách. Jelikož původní železobetonová skořepina (navržená ve svazku Statický výpočet) je masivní, byla navržena nová železobetonová skořepina o tloušťce po celém obvodu 200mm. Třída pevnosti betonu byla stejná jako u původního návrhu (C25/30). Tloušťka skořepiny se ztenčila ve vrchlíku o 150mm a na bocích až o 550mm.

Skořepina byla navržena i drátkobetonová. Aby bylo dosaženo menší tloušťky skořepiny než u arch. návrhu, byl použit drátkobeton vyšších pevností FRC 50/60. Drátkobetonová skořepina pevnosti FRC 50/60 byla navržena s tloušťkou ve vrchlíku 350mm a na bocích 450mm. Skořepina se tedy ztenčila pouze na bocích o 300mm.

Další variantou byla drátkobetonová skořepina, která měla srovnatelné pevnosti s železobetonem použitým v původním arch. návrhu. Od výrobce Českomoravský beton Heidelberg Cement Group byly převzaty pevnosti drátkobetonu C33/37. Tyto pevnosti jsou o něco vyšší než u železobetonových variant (C25/30), ale drátkobeton nižších pevností výrobce nenabízel. Tloušťka drátkobetonové skořepiny FRC 33/37 byla navržena ve vrchlíku 650mm a na bocích 1000mm. Skořepina byla zesílena oproti původnímu návrhu až o 300mm. V tomto případě nedošlo k optimalizaci původního návrhu, a proto tato varianta je nevhodná.

Poslední varianta byla kombinace drátkobetonu FRC33/37 s betonářskou výztuží. Tloušťka skořepiny byla navržena ve vrchlíku 200mm a na bocích 250mm. Tloušťka skořepiny se ztenčila ve vrchlíku o 150mm a na bocích až o 500mm.

Až na drátkobetonovou variantu (FRC33/37 bez betonářské výztuže) došlo ke snížení spotřeby betonu. Nicméně spotřeba výztuže u tenčích skořepin vzrostla. Pro vyhodnocení cenově nejpříznivější varianty byla vytvořena tabulka 16.

		DLE ARCH. STUDIE ŽELEZOBETONOVÁ 350-750mm		ŽELEZOBETONOVÁ 200mm		DRÁTKOBETONOVÁ FRC50/60 350-450mm		DRÁTKOBETONOVÁ FRC33/37 650-1000mm		DB FRC33/37 S BET. VÝZTUŽÍ 200-250mm	
		1. Varianta	2. Varianta	3. Varianta	4. Varianta	5. Varianta					
Beton											
Třída betonu		C25/30	C25/30	C50/60-FRC 4,0/3,2/2,4	C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8	C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8					
Specifikace		XC4;XF2-Cl0,4-Dmax22-S3	XC4;XF2-Cl0,4-Dmax22-S3	XC4;XF2-Cl0,4-Dmax22-S3	XC4;XF2-Cl0,2-Dmax16	XC4;XF2-Cl0,2-Dmax16					
Objem betonu	[m ³]	379	176	330	650	185					
Jednotková cena	[Kč/m ³]	2735	2735	5200	2977	2977					
Cena celkem	[Kč]	1 036 216 Kč	481 634 Kč	1 718 574 Kč	1 936 375 Kč	552 204 Kč					
Ocel		B500B	B500B	drátky	drátky	B500B					
Hmotnost oceli	[kg]	42220	58974			50120					
Jednotková cena	[Kč/kg]	20,7	20,7	zahrnutý v ceně betonu	zahrnutý v ceně betonu	20,7					
Cena celkem	[Kč]	873 951 Kč	1 220 755 Kč			1 037 486 Kč					
Cena celkem:		1 910 167 Kč	1 702 388 Kč	1 718 574 Kč	1 936 375 Kč	1 589 689 Kč					
Pořadí:		4.	2.	3.	5.	1.					
Cenový rozdíl:		320 478 Kč	112 699 Kč	128 885 Kč	346 685 Kč	0 Kč					



Tabulka 16 – Srovnání ceny za materiál jednotlivých variant

Varianta č. 5. Drátkobeton FRC 33/37 v kombinaci s betonářskou výztuží vyšla na 1 589 689 Kč a je tak nejpříznivější volbou z hlediska ceny za materiál. Ostatní výsledky lze shrnout do dvou kategorií:

1. Dražší o cca 130 000 Kč.
2. Dražší o cca 350 000 Kč.

Do první kategorie spadá varianta č. 2. Železobetonová skořepina tl.200mm (1 702 388 Kč) a varianta č. 3 Drátkobeton FRC 50/60 (1 718 574 Kč). Do druhé kategorie patří varianta č. 1 návrh dle architektonické studie (1 910 167 Kč) a varianta č. 4 Drátkobeton FRC 33/37 (1 936 375 Kč).

Tabulka 16 není zcela správně. Ačkoliv tabulka počítá množství použitého materiálu u jednotlivých variant, nezohledňuje jejich rozdílnou pracnost. Problém nastává u variant, které jsou vyztuženy betonářskou výztuží. Betonářská výztuž musí být nejprve uložena do bednění, než proběhne samotná betonáž. U drátkobetonu je proces snazší. Drátky jsou součástí čerstvého betonu a tím je pracnost za ukládku výztuže nulová.

Po konzultaci s rozpočtářem z firmy VPÚ DECO PRAHA a.s. byla navýšena jednotková cena za betonářskou výztuž. Původní jednotková cena byla 20,7Kč/kg. U běžných staveb by stačilo navýšit jednotkovou cenu na 25Kč/kg. Jelikož realizace této stavby bude obtížnější, bude v následující tabulce počítáno s 28Kč/kg. Tím bude zohledněna pracnost ukládky a vázání výztuže.

DLE ARCH. STUDIE
ŽELEZOBETONOVÁ
350-750m m



ŽELEZOBETONOVÁ
200mm m



DRÁTKOBETONOVÁ FRC50/60
350-450mm m



DRÁTKOBETONOVÁ FRC33/37
650-1000mm m



DB FRC33/37 S BET. VÝZTUŽÍ
200-250mm m



Beton		1. Varianta	2. Varianta	3. Varianta	4. Varianta	5. Varianta
Třída betonu		C25/30	C25/30	C50/60-FRC 4,0/3,2/2,4	STEELCRETE V	STEELCRETE V
Specifikace		XC4;XF2-CI0,4-Dmax22-S3	XC4;XF2-CI0,4-Dmax22-S3	XC4;XF2-CI0,4-Dmax22-S3	C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8 XC4; XF2-CI0,2-Dmax16	C33/37-FRC 3,2/2,8/0,8 XC4; XF2-CI0,2-Dmax16
Objem betonu	[m ³]	379	176	330	650	185
Jednotková cena	[Kč/m ³]	2735	2735	5200	2977	2977
Cena celkem	[Kč]	1 036 216 Kč	481 634 Kč	1 718 574 Kč	1 936 375 Kč	552 204 Kč
Ocel		B500B	B500B	drátky	drátky	B500B
Hmotnost oceli	[kg]	42220	58974			50120
Jednotková cena*	[Kč/kg]	28	28	zahrnutý v ceně betonu	zahrnutý v ceně betonu	28
Cena celkem	[Kč]	1 182 155 Kč	1 651 263 Kč	1 718 574 Kč	1 936 375 Kč	1 403 362 Kč
Cena celkem:		2 218 372 Kč	2 132 896 Kč	1 718 574 Kč	1 936 375 Kč	1 955 566 Kč
Pořadí:		5.	4.	1.	2.	3.
Cenový rozdíl:		499 798 Kč	414 322 Kč	0 Kč	217 801 Kč	236 992 Kč

* ... jednotková cena betonářské výztuže zahrnuje i cenu za ukládání.

Tabulka 17 - Upravená tabulka 16 se zohledněním ceny za ukládání výztuže

V tabulce 17 se díky navýšení jednotkové ceny výztuže změnilo pořadí variant následujícím způsobem:

Varianta č. 3. Drátkobeton FRC 50/60 vyšla na 1 718 574 Kč a je tak nejpříznivější volbou z hlediska ceny za materiál. Ostatní výsledky lze shrnout do dvou kategorií:

3. Dražší o cca 230 000 Kč.
4. Dražší o cca 500 000 Kč.

Do první kategorie spadá varianta č. 4. Drátkobeton FRC33/37 (1 936 375 Kč) a varianta č. 5 Drátkobeton v kombinaci s betonářskou výztuží (1 955 566 Kč). Do druhé kategorie patří varianta č. 2 Železobetonová o tloušťce skořepiny 200mm (2 132 896 Kč) a varianta č. 1 dle architektonického návrhu (2 218 372 Kč).

Varianty s betonářskou výztuží vychází cenově hůř než čistě drátkobetonové, protože se započítává i cena za ukládání výztuže. Drátky jsou součástí čerstvého betonu. Ačkoliv čistě drátkobetonové varianty vychází z ekonomického hlediska nejlépe, v dnešní době ještě není možné drátkobeton použít jako samostatný materiál pro nosné konstrukce, zvláště pak z dlouhodobého hlediska. Z toho důvodu nelze skořepinu čistě z drátkobetonu realizovat. Neoptimálnější, realizovatelná varianta je č. 5 Drátkobeton FRC 33/37 v kombinaci s betonářskou výztuží.

Při změně z původní skořepiny na neoptimálnější realizovatelnou variantu č. 5 (Drátkobeton v kombinaci s betonářskou výztuží) bude dosaženo následujících změn:

- Beton: o 194m³ **MÉNĚ**
- Ocel: o 7900kg **VÍCE**
- Drátky: + 9250kg

- Cena: o 262 806 Kč **MÉNĚ**

Ačkoliv tenčí skořepiny mají větší spotřebu výztuže než skořepiny masivní, na celkovou cenu to nemá vliv. Úspora m³ betonu je podstatně větší.

6. Zdroje

Literatura:

- [1] ... *PROCHÁZKA, Jaroslav; KOHOUTKOVÁ, Alena; VAŠKOVÁ, Jitka. Příklady navrhování betonových konstrukcí; Praha: České vysoké učení technické v Praze 2011; 145 s. ISBN 978 – 80 – 01 – 03675 – 4*
- [2] ... *PROCHÁZKA, Jaroslav; ŠMEJKAL, Jiří; VÍTEK, Jan L.; VAŠKOVÁ, Jitka. Navrhování betonových konstrukcí příručka k ČSN EN 1992 – 1 – 1 A ČSN EN 1992 – 1 – 2; Praha: ČKAIT 2010; 338 s. ISBN 978 – 80 – 87438 – 03 – 9*
- [3] ... *VAŠKOVÁ, Jitka. Konstrukční prvky z vyztuženého vláknobetonu – experiment a analýza; Habilitační práce obor: Teorie stavebních konstrukcí a materiálů; ; Praha; 2010; strana 35; obr 4.1.*
- [4] ... *VODIČKA, Jan; Dušan, SPŮRA; Dotvarování a smršťování konstrukčních vláknobetonů; Beton TKS: Materiály a technologie. 2010, č. 2, 96 – 99.*

Informace z webových stránek:

- [5] ... *ČESKOMORAVSKÝ BETON HEIDELBERG CEMENT GROUP: Ceník transport betonu a značkových produktů provoz Kladno; dostupné z: <http://www.transportbeton.cz/stahnout-soubor?id=4169>*

Konstrukce byla navržena v souladu s platnými evropskými normami, včetně Národních příloh:

ČSN EN 1990 ... Eurokód: zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 ... Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1 ... Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí

ČSN EN 206 ... Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P 73 2404 ... Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P 73 2450 ... Vláknobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P 73 2452 ... Vláknobeton – Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu