



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Návrh nosné konstrukce Vily Zapova

Desing of Load-bearing Structure of Villa Zapova

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Kamila Jasanská

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jasanská Jméno: Kamila Osobní číslo: 438009
Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh nosné konstrukce Vily Zapova
Název bakalářské práce anglicky: Design of Load-bearing Structure of Villa Zapova
Pokyny pro vypracování:
- koncepční řešení celé budovy, revize stavební části, stavební výkresy
- návrh rozměrů nosných prvků
- koncepční návrh založení
- návrh vyztužení vybraných nosných prvků
- výkresy tvaru a výztuže
- technická zpráva

Seznam doporučené literatury:
Normy: ČSN EN 1990, ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1992-1-1
Procházka, J., a kol. Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy.
Procházka, J., Šmejkal, J. Betonové stropní a schodišťové konstrukce.
Procházka, J., Šmejkal, J. Betonové základové a opěrné konstrukce.
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce: 15. 2. 2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem *Návrh nosné konstrukce Vily Zapova* zpracovala samostatně pod vedením Ing. Radka Štefana, Ph.D. a s využitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27.5.2018

Kamila Jasanská

Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat Ing. Radku Štefanovi, Ph.D. za trpělivé vedení této práce a přívětivý přístup při konzultacích. Ráda bych poděkovala i Ing. Miloslavu Smutkovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů pro zpracování mé bakalářské práce a za zaučení s programy firmy Recoc s.r.o a za jejich zapůjčení. Ing. Lukáši Jančaříkovi děkuji za konzultace z oblasti statiky pozemních staveb. Poděkování všem patří za cenné rady z praxe, vstřícný postoj a trpělivost.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je vypracování návrhu nosné konstrukce Vily Zapova podle architektonicko-stavebních podkladů. V bakalářské práci je řešeno předběžné ověření stability objektu, podrobný návrh nosné konstrukce vybraných částí a koncepce založení stavby dle platných norem ČSN EN. Práce je hlavně zaměřena na statický návrh vylehčené stropní desky druhého nadzemního podlaží. K výpočtu a posouzení nosné konstrukce byl vytvořen 3D model v programu Scia Engineer.

Klíčová slova

betonové konstrukce
navrhování
vyztužování
vylehčená stropní deska
3D model

Abstract

The target of bachelor thesis is based on desing of load-bearing structure of the building Villa Zapova. The thesis includes verification of stability, design of bearing constructions in specified parts of building and the solution of building foundations according to Czech standarts, ČSN EN. The main theme of thesis is static desing of lightweight ceiling slab in the second floor. The 3D model of construction for analysis and assesment is done in structural analysis program Scia Engineer.

Keywords

concrete structure
design
reinforcement
lightweight ceiling slab
3D model

Obsah

1. Úvod	8
2. Technická zpráva	10
2.1 Založení objektu	10
2.2 Svislé nosné konstrukce	10
2.3 Stropní desky vylehčené tvarovkami U-Boot	10
2.4 Stropní deska nad 3.NP	11
2.5 Schodiště.....	11
3. Zatížení	11
3.1 Skladba střechy	11
3.2 Skladby podlahy	12
3.3 Příčky	12
3.4 Schodiště.....	13
3.5 Užité zatížení.....	13
3.6 Zemní tlak	13
3.7 Zatížení sněhem	14
3.8 Zatížení větrem	14
4. Výpočetní model	16
4.1 Zjednodušený celkový model	16
4.1.1 Výpočet náhradních tloušťek vylehčené desky	16
4.1.2 Ověření výpočtu – reakce sloupu v 1.PP.....	17
4.1.3 Ověření výpočtu – momenty na desce v 1.PP.....	18
4.2 Model žeber vylehčené desky	19
5. Podrobné posouzení desky nad 2. nadzemním podlažím	20
5.1 Použité materiály	20
5.2 Krycí vrstva.....	20
5.3 Vnitřní síly – Ohybové momenty	21
5.4 Návrh ohybové výztuže	22
5.5 Návrh ohybové výztuže – ruční výpočet	24
5.6 Návrh příložek	25

5.7 Návrh smykové výztuže	27
5.8 Ověření protlačení	28
5.8.1 Protlačení stěny W2.4.....	28
5.8.2 Protlačení rohu stěn W2.5 a W2.6	29
5.8.3 Protlačení sloupů nad deskou	30
5.8.4 Protlačení stěny nad deskou	31
5.9 Návrh výztuže atiky	33
5.9.1 Vnitřní síly.....	33
5.9.2 Návrh výztuže	34
5.9.3 Posouzení mezního stavu únosnosti	35
5.10 Posouzení mezního stavu použitelnosti	36
5.10.1 Šířka trhlin	36
5.10.2 Průhyb.....	38
5.10.3 Omezení napětí v atice.....	39
6. Závěr	40
7. Seznam podkladů	41
7.1 Architektonicko-stavební řešení	41
7.2 Inženýrsko-geologický průzkum.....	41
8. Seznam použitých zdrojů	42
8. 1 Literatura	42
8.2 Řada norem ČSN EN	42
8.4 Použité programy	43
9. Seznam obrázků	44
10. Seznam přiložené dokumentace	45

1. Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na posouzení nosné konstrukce Vily Zapova. Obytná budova je situována v ulici Zapova, Praha 5 – Hřebenka. Podkladem pro vypracování bakalářské práce bylo architektonicko-stavební řešení objektu. K dispozici byly půdorysy všech podlaží a dva řezy objektem v elektronické podobě. Dalším podkladem byla zpráva o inženýrsko-geologickém, hydrogeologickém a radonovém průzkumu, včetně popisu vrtů.



Obr. 1: Architektonická vizualizace – jihovýchodní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)

Z podkladů byla převzata koncepce konstrukčního systému. Nosná konstrukce objektu je stěnový železobetonový monolitický systém doplněný v místech prosklené fasády o železobetonové monolitické sloupy. Vzhledem k rozpětí až 15 metrů byly stropní desky navrženy s vylehčením za použití systému U-Boot, aby došlo k úspoře použitého betonu a snížení vlastní tíhy konstrukce. Vertikální komunikace je řešena pomocí hydraulického výtahu a jednoramenného skleněného schodiště.

Vila má tři nadzemní a jedno podzemní podlaží. V podzemním podlaží se nachází čtyři garážová stání, technické zázemí a fitness s vlastním hygienickým zázemím. V prvním a druhém nadzemním podlaží se nacházejí bytové prostory. Ve třetím nadzemním podlaží je ateliér a střešní terasa.



Obr. 2: Architektonická vizualizace – severovýchodní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)

Bakalářská práce je hlavně zaměřena na návrh stropní desky nad druhým nadzemním podlažím. Ke statickému návrhu je zpracována i výkresová dokumentace – výkres tvaru a výkresy výztuže desky. Dále byly zpracovány schémata tvaru prvního podzemního podlaží, prvního nadzemního podlaží a třetího nadzemního podlaží.



Obr. 3: Architektonická vizualizace – jihozápadní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)

2. Technická zpráva

2.1 Založení objektu

Na základě výsledku inženýrsko-geologického průzkumu (dále IGP) bylo navrženo založení objektu na plošné základové desce. Vzhledem ke sklonitému terénu je základová deska doplněna o základové pasy na jižní a severní straně objektu, aby nedošlo k sesuvu celého objektu ze svahu dolů.

Dle IGP nebude hladina podzemní vody ovlivňovat základy objektu a podle popisů provedených vrtů na pozemku se základová spára vyskytuje na navětralých, kusovitě rozpukaných křemencích, na rozhraní skály R3 a R2, podle zatřídění zemin dle ČSN 73 1001.

2.2 Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce jsou převážně tvořeny železobetonovými stěnami tloušťky 200, 240 a 300 mm z betonu C30/37-XC1-CI0,4-Dmax22-S4. Vnitřní stěny výtahové šachty jsou železobetonové tloušťky 160 mm z betonu C25/30-XC1(CZ,F.1)-CI 0,4-Dmax 16-S4. V místech prosklené fasády jsou stěny doplněny o železobetonové sloupy 240x240 mm z betonu C30/37-XC1-CI0,4-Dmax16-S4. V prvním podzemním podlaží jsou v místě změny výškové úrovně desky železobetonové sloupy $\varnothing 300$ mm z betonu C30/37-XC1-CI0,4-Dmax22-S4.

2.3 Stropní desky vylehčené tvarovkami U-Boot

Stropní desky nad 1.PP, 1.NP a 2.NP jsou navrženy jako obousměrně pnuté desky tloušťky 300 mm z betonu C30/37- XC1-CI0,4-Dmax22-S3(S) vylehčené systémem tvarovek U-Boot.

Dolní výztuž se uloží běžným způsobem podle výkresu výztuže. Dále se podle výkresu tvaru rozestaví tvarovky U-Boot na nožičky, které jsou jejich součástí, a sepnou se v bocích sponkami. Na spodní vrstvu výztuže do žeber desky se položí prostorové pruty výztuže (také známé jako trigony) nejprve v jednom směru a na ně potom druhá vrstva ve druhém směru. Na vrchní hranu trigonů se nakonec uloží horní výztuž.

Betonáž probíhá zásadně ve dvou etapách. Nejprve je vybetonovaná vrstva o tloušťce 90 mm (při výšce nožiček 70 mm – aby byl beton 20 mm nad spodní hranou tvarovek). Pokud

se použije beton konzistence S3, je potřeba beton řádně zhutnit. Hrozí tak, že vibrací dojde k posunu výztuže a tvarovek a k vyplavení cementového mléka mezi první a druhou vrstvou betonu. Z tohoto důvodu je navržena konzistence S4, která lépe zateče pod tvarovky a není již potřeba beton tolik hutnit. Druhá vrstva betonu se provede po začátku tvrdnutí první vrstvy. Konzistence druhé vrstvy již není tak důležitá, proto se provede z konzistence S3 podle běžných postupů betonáže stropních desek. Časový odstup mezi jednotlivými etapami betonáže, začátkem a koncem doby tuhnutí a tvrdnutí betonu je nutno konzultovat s výrobcem betonu.

Podle ČSN 73 1201 čl. 10.1.2 – 1 se beton dá považovat za monolitický, pokud pevnost první vrstvy při betonáži vrstvy druhé nedosáhne hodnoty 50 % navrhované pevnosti.

2.4 Stropní deska nad 3.NP

Stropní deska nad 3.NP je navržena jako obousměrně pnutá nevylehčená deska v tloušťce 220 mm z betonu C30/37-XC1(CZ,F.1)-Cl 0,4-Dmax 22-S4.

2.5 Schodiště

Schodiště je navrženo jako skleněné jednoramenné. Jednotlivé schodišťové stupně jsou kotvené do skleněných stěn zavěšených do stropních desek. Ve výpočtu je toto schodiště uvažované pouze liniovým zatížením a není dále řešeno.

3. Zatížení

3.1 Skladba střechy

Zatěžovací stav:	ZELENÁ STŘECHA NAD 2.NP A 3.NP					
Materiál název	Materiál popis	Tloušťka vrstvy [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
SUBSTRÁT - VLHKÝ	Travníkový substrát	310	800	2,480	1,35	3,348
GEOTEXTILIE	Filtrační vrstva	1	500	0,005	1,35	0,007
NOPOVÁ FÓLIE	Drenážní a akumulační vrstva	40	-	0,023	1,35	0,031
ASFALTOVÉ PÁSY	Vodotěsná izolace	4,5	400	0,018	1,35	0,024
PIR DESKY	Tepelná izolace	60	35	0,021	1,35	0,028
ISOVER EPS 150S	Spádové klíny tepelné izolace	180	30	0,054	1,35	0,073
ASFALTOVÉ PÁSY	Vodotěsná izolace	4,2	400	0,017	1,35	0,023
CELKEM		599,7		2,62	1,35	3,53

Zatěžovací stav:		TERASA NAD 1.NP A 2.NP				
Materiál název	Materiál popis	Tloušťka vrstvy [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
BANGKIRAI	Dřevěná terasa	70	910	0,637	1,35	0,860
ASFALTOVÉ PÁSY	Vodotěsná izolace	4,5	400	0,018	1,35	0,024
PIR DESKY	Tepelná izolace	60	35	0,021	1,35	0,028
ISOVER EPS 150S	Spádové klíny tepelné izolace	210	30	0,063	1,35	0,085
ASFALTOVÉ PÁSY	Vodotěsná izolace	4,2	400	0,017	1,35	0,023
CELKEM		348,7		0,76	1,35	1,02

3.2 Skladby podlahy

Zatěžovací stav:		PODLAHA BYTU				
Materiál název	Materiál popis	Tloušťka vrstvy [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
PARKETY	Parquetové desky	15	600	0,090	1,35	0,122
PCI - PERIPLANE 10	Samonivelační stěrka	7	2300	0,161	1,35	0,217
ERTOFLEX	Hydroizolační stěrka	2	1900	0,038	1,35	0,051
BET. MAZANINA + PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ	Betonová mazanina se sítí	45	2300	1,035	1,35	1,397
	Topná deska a rohož	46	-	0,800	1,35	1,080
ROGIFLOOR 4000	Tepelná izolace	40	13,5	0,005	1,35	0,007
PODHLÉD	rošt + sádrovláknité desky	-	-	0,200	1,35	0,270
CELKEM		155		2,33	1,35	3,14

Zatěžovací stav:		GARÁŽ				
Materiál název	Materiál popis	Tloušťka vrstvy [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
VSYP	Povrchová obrusuvzdorná vrstva	2	2250	0,045	1,35	0,061
BET. MAZANINA +	Betonová mazanina se sítí	48	2300	1,104	1,35	1,490
CELKEM		50		1,15	1,35	1,55

3.3 Příčky

Materiál název	Materiál popis	Výška vrstvy [m]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
POROTHERM	14 P+D, tl. 140 mm	0,14	900	1,260	1,35	1,701
SKLENĚNÁ PŘÍČKA	tl. 50 mm	0,05	2500	1,250	1,35	1,688
GEWIF GZL	akustická zástěna, 35 kg/m ²	3,05		0,350	1,35	0,473

→ pro možnost pozdější změny umístění příček je uvažováno plošné zatížení příčkami
1,5 kN/m² v celé ploše

3.4 Schodiště

Skleněné schodiště je tvořeno skleněnými stěnami lemujícími schodišťový prostor (tloušťka 50 mm, výška 3,05 m) a do nich jsou vetknuté jednotlivé skleněné schodišťové stupně (17 stupňů, tloušťka 50 mm, šířka 1,1 m).

$$g_k = 25 \cdot \left(0,05 \cdot 3,05 + 0,05 \cdot \frac{1,1}{2} \cdot 17 \right) = \mathbf{15,5 \text{ kN/m}}$$

3.5 Užiténé zatížení

Kategorie	Popis	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení γ_F [-]	Návrhové zatížení [kN/m ²]
A	obytné místnosti	1,50	1,35	2,025
F	parkovací plochy	2,50	1,35	3,375
H	nepřístupné střechy	0,75	1,35	1,013
I	přístupné střechy (kat.A - balkón)	3,00	1,35	4,050

3.6 Zemní tlak

Zásyp podzemní části objektu bude proveden nenamrzavou zeminou s následujícími vlastnostmi:

Charakteristická objemová tíha zeminy: $\gamma_{zem,k} = 19,5 \text{ kN/m}^3$

Návrhový efektivní úhel vnitřního tření: $\varphi_d = 32^\circ$

Užitné zatížení na terénu: $q_{0,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Souč. zemního tlaku v klidu: $K_0 = 1 - \sin\varphi_d = 1 - \sin 32 = 0,47$

Charakteristický zemní tlak: $\sigma_{i,k} = K_i \cdot (q_{0,k} + \gamma_{zem,k} \cdot h_i) = K_i \cdot (5,0 + 19,5 \cdot h_i)$

pro $h = 0 \text{ m} \rightarrow s_k = \mathbf{2,35 \text{ kN/m}^2}$

pro $h = 3,05 \text{ m} \rightarrow s_k = \mathbf{30,30 \text{ kN/m}^2}$

Hladina podzemní vody neovlivňuje základovou spáru (viz IGP).

3.7 Zatížení sněhem

plochá střecha: $\alpha < 30^\circ \rightarrow$ tvarový součinitel : $\mu_1 = 0,8$

součinitel expozice: $C_e = 1$

součinitel tepla: $C_t = 1$

Praha - sněhová oblast I \rightarrow charakteristické zatížení sněhem: $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Průměrné zatížení sněhem: $s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = \mathbf{0,56 \text{ kN/m}^2}$

3.8 Zatížení větrem

Větrná oblast: Praha \rightarrow II
 Rychlost větru $v_{b0} = 25 \text{ m/s}$
 Kategorie terénu III
 Referenční výška budovy $z = 13,7 \text{ m}$
 Součinitel směru větru $C_{dir} = 1$
 Součinitel ročního období $C_{season} = 1$
 Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
 Základní rychlost větru $q_b = 0,39 \text{ kN/m}^2$
 Součinitel expozice $c_p(z) = 1,9$
 Maximální dynamický tlak $q_p = 0,74$
 Plocha pro stanovení $c_{pe} > 10 \text{ m}^2$

Příčný vítr

Rozměry budovy

$d = 12,2 \text{ m}$
 $h = 13,7 \text{ m}$
 $e = 15,4 \text{ m}$
 $h/d = 1,12$

Pásmo	$q_p(z)$	$c_{pe,10}$	$w_{e,k} [\text{kPa}]$		$w_{e,d} [\text{kPa}]$
A	0,74	-1,20	-0,89	1,35	-1,20
B	0,74	-0,80	-0,59	1,35	-0,80
D	0,74	0,80	0,59	1,35	0,80
E	0,74	-0,51	-0,38	1,35	-0,51

Lokalizace na zatěžovací šířku (do úrovně stropů)

Výška budovy	Zatěžovací šířka	A	B	D	E
3,25	3,30	-2,94	-1,96	1,96	-1,24
6,60	3,35	-2,98	-1,99	1,99	-1,26
9,95	3,35	-2,98	-1,99	1,99	-1,26
13,30	3,35	-2,98	-1,99	1,99	-1,26
13,70	0,20	-0,18	-0,12	0,12	-0,08

Podélný vítr

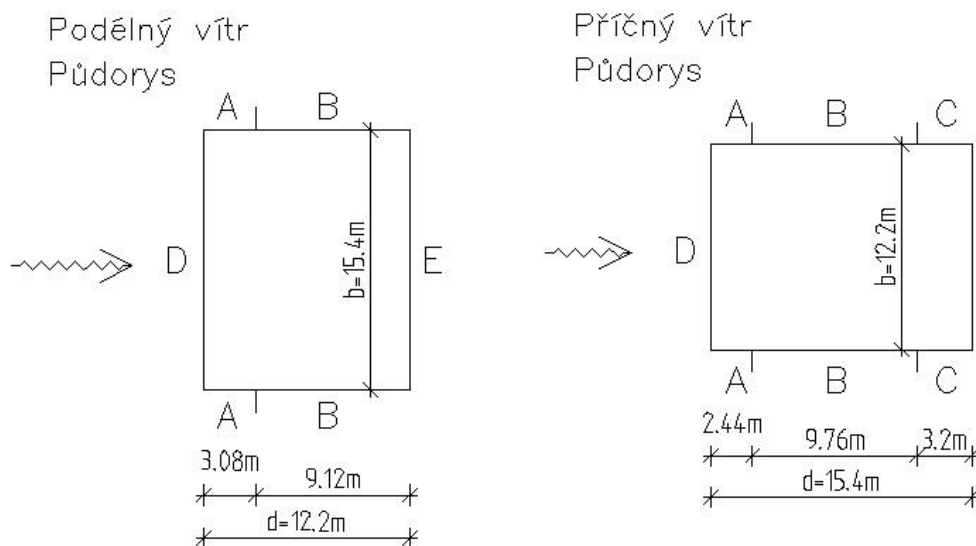
Rozměry budovy

b = 12,2 m
 d = 15,4 m
 h = 13,7 m
 e = 12,2 m
 h/d = 0,89

Pásmo	$q_p(z)$	$c_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kPa]		$w_{e,d}$ [kPa]
A	0,74	-1,20	-0,89	1,35	-1,20
B	0,74	-0,80	-0,59	1,35	-0,80
C	0,74	-0,50	-0,37	1,35	-0,50
D	0,74	0,79	0,58	1,35	0,79
E	0,74	-0,47	-0,35	1,35	-0,47

Lokalizace na zatěžovací šířku (do úrovně stropů)

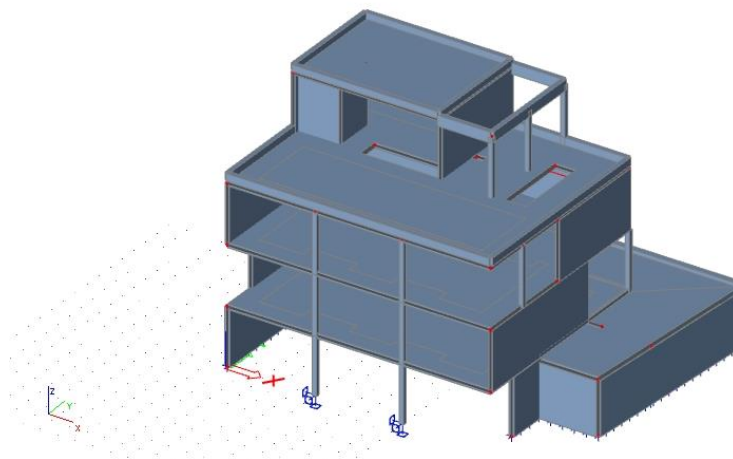
Výška budovy	Zatěžovací šířka	A	B	C	D	E
3,25	3,30	-2,94	-1,96	-1,22	1,92	-1,15
6,60	3,35	-2,98	-1,99	-1,24	1,95	-1,17
9,95	3,35	-2,98	-1,99	-1,24	1,95	-1,17
13,30	3,35	-2,98	-1,99	-1,24	1,95	-1,17
13,70	0,20	-0,18	-0,12	-0,07	0,12	-0,07



Obr. 4: Zatížení větrem

4. Výpočetní model

4.1 Zjednodušený celkový model



Obr. 5: Scia Engineer - 3D model

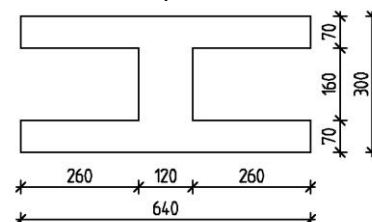
Pro předběžný návrh nosné konstrukce byl vypracován zjednodušený model celého objektu ve výpočetním programu Scia Engineer. Z tohoto modelu byla ověřena stabilita a prostorové chování objektu. Dále byla z tohoto modelu posouzena deska nad druhým nadzemním podlažím.

Ve stropních deskách jsou v místě vylehčení vytvořeny podoblasti s náhradní tloušťkou a se sníženou objemovou hmotností podle výpočtu viz kapitola 4.1.1. Věrohodnost výsledků byla ověřena ručním výpočtem viz kapitola 4.1.2 a 4.1.3.

4.1.1 Výpočet náhradních tloušťek vylehčené desky

Tloušťka desky	$h =$	0,300	m	
Výška desky pod U-Booty (výška nožiček)	$h_1 =$	0,070	m	
Výška U-Bootu	$h_{U-B} =$	0,160	m	
Výška nad U-Bootem	$h_2 =$	0,070	m	
Rozteč U-Bootů ($x=y$)	$a =$	0,640	m	
Těžiště	$t =$	0,150	m	
Moment setrvačnosti	$I_y =$	0,001973	m	Sníženo o
Tloušťka desky s náhradní tuhostí	$h_{Iy} =$	0,287	m	95,7 %
Objem tvarovky U-Boot	$V =$	0,031	m ³	
Tloušťka desky s náhradní objem. hmotností	$h_m =$	0,224	m	74,8 %
Náhradní objemová hmotnost	$\rho_m =$	1870	kg/m ³	

Náhradní průřez



Z tohoto výpočtu lze ukázat výhodnost použití vylehčovacích tvarovek. Díky systému U-Boot byla snížena hmotnost desky o 25%, přičemž byla tuhost desky snížena pouze o necelých 5%. Je tedy vidět, že lze ušetřit až čtvrtinu materiálu při zachování téměř stejných vlastností desky.

4.1.2 Ověření výpočtu – reakce sloupu v 1.PP

Zatěžovací plocha $A = (4,92/2+5,01/2) \cdot (4,12+4,1)/2 = 20,49 \text{ m}^2$

Zatížení	Tloušťka vrstvy [mm]	Šířka vrstvy [mm]	Výška vrstvy [mm]	Zat. plocha [m ²]	Objem. hmotnost [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m]	Souč. zatížení γ_F [-]	Návrh. zatížení [kN/m]
VI. tíha desky 1.PP Vlastní tíha U-BOOTů; V = 0,031 m ³ ; 36 kusů	0,3	-	-	20,49	2500	153,68	1,35	207,46
						27,90		
						125,78		169,80
VI. tíha desky 1.NP Vlastní tíha U-BOOTů; V = 0,031 m ³ ; 36 kusů	0,3	-	-	20,49	2500	153,68	1,35	207,46
						27,90		
						125,78		169,80
VI. tíha desky 2.NP Vlastní tíha U-BOOTů; V = 0,031 m ³ ; 40 kusů	0,3	-	-	20,49	2500	153,68	1,35	207,46
						31,00		
						122,68		165,61
VI. tíha atiky 2.NP	0,24	4,985	0,43	-	2500	12,86	1,35	17,36
VI. tíha sloupu 1.PP	0,24	0,24	3,25	-	2500	4,68	1,35	6,32
VI. tíha sloupu 1.NP	0,24	0,24	3,35	-	2500	4,82	1,35	6,51
VI. tíha sloupu 2.NP	0,24	0,24	3,35	-	2500	4,82	1,35	6,51
					[kN/m ²]			
Ostatní stále 1.PP	-	-	-	20,49	2,33	47,74	1,35	64,45
Ostatní stále 1.NP	-	-	-	20,49	2,33	47,74	1,35	64,45
Ostatní stále 2.NP	-	-	-	20,49	0,76	15,57	1,35	21,02
Užitné 1.PP	-	-	-	20,49	1,5	30,74	1,35	41,49
Užitné 1.NP	-	-	-	20,49	1,5	30,74	1,35	41,49
Užitné 2.NP	-	-	-	20,49	3	61,47	1,35	82,98
							Σ	857,80

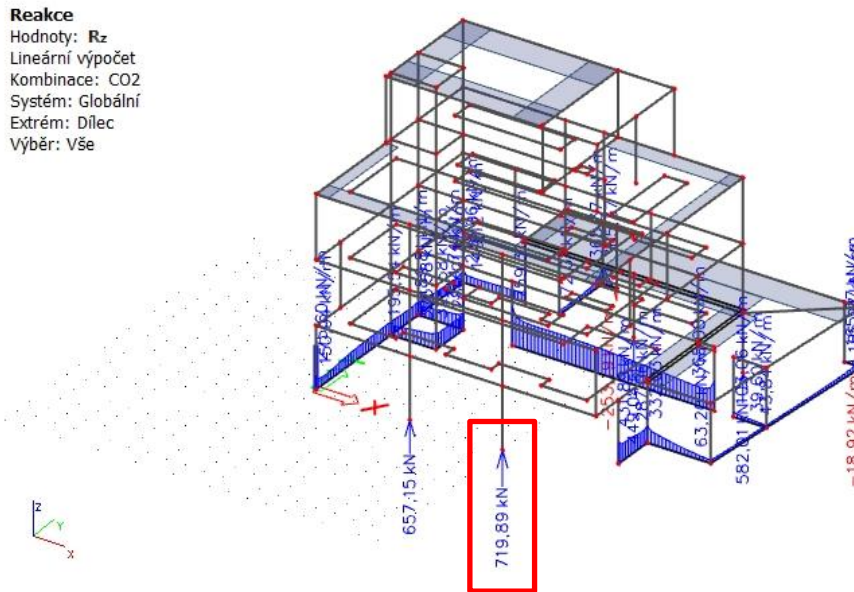
Výsledky z programu

Použitá kombinace pro ověření výsledků:

CO2 – lineární únosnost

→ součinitel stálého zatížení 1,35

→ součinitel užitého zatížení 1,5



Obr. 6: Scia Engineer - Reakce Rz

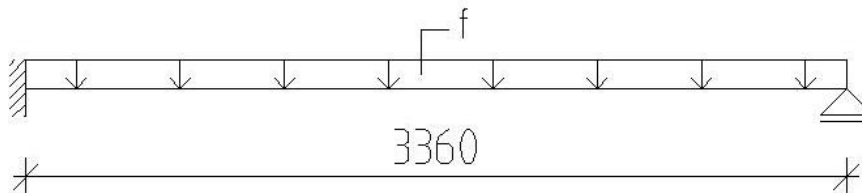
→ Hodnota 857,8 kN přijatelně odpovídá hodnotě 719,89 kN.

4.1.3 Ověření výpočtu – momenty na desce v 1.PP

Zatížení působící na desku:

$$f = 25 \cdot 0,3 \cdot 1,35 + 0,76 \cdot 1,35 + 3,0 \cdot 1,5 = 17,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{na 1 metr šířky } 17,0 \text{ kN/m}$$

Statické schéma



Moment ve vetknutí:

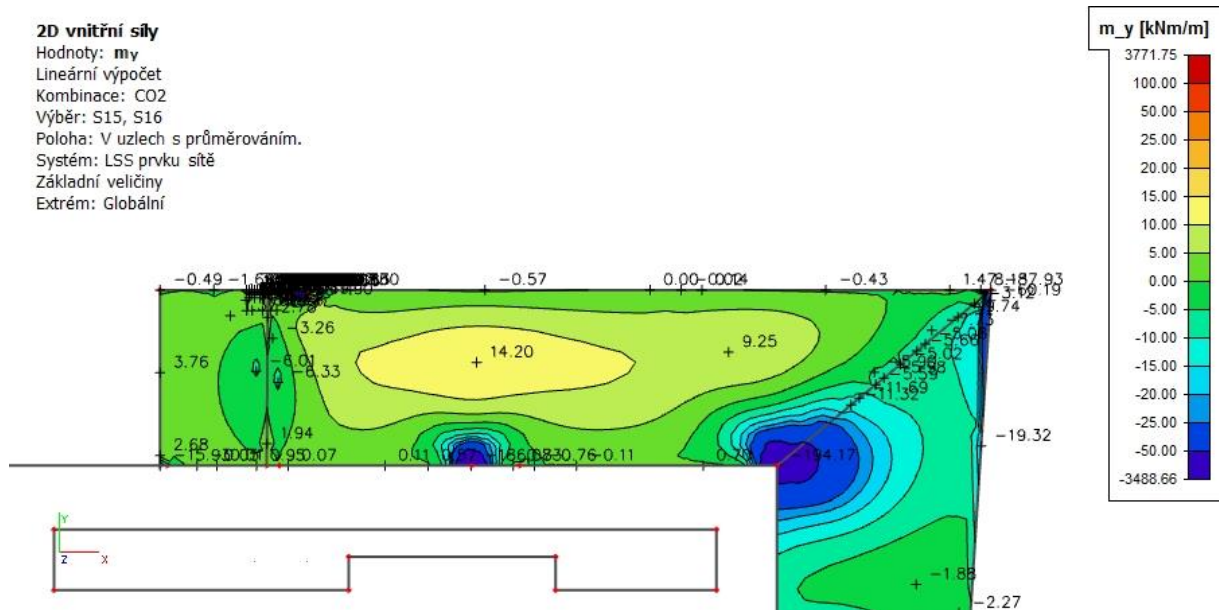
$$m_{\text{vetknutí}} = -1/8 \cdot f \cdot l^2 = 1/8 \cdot 17 \cdot 3,36^2 = -24,0 \text{ kNm}$$

tato hodnota přijatelně odpovídá hodnotě cca -30 kNm (hodnota -90 kNm není reálná, ve skutečnosti podpora není jen v jednom bodě)

Moment v poli:

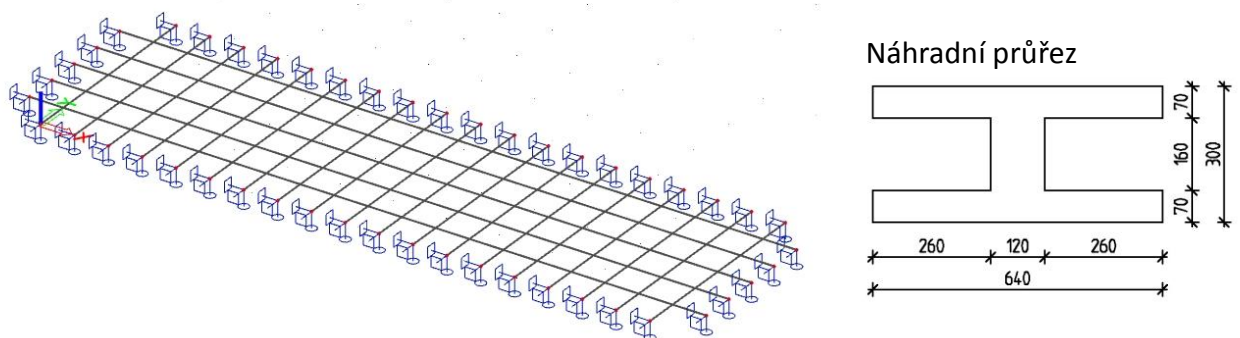
$$m_{\text{pole}} = 1/16 \cdot f \cdot l^2 = 1/16 \cdot 17 \cdot 3,36^2 = 12,0 \text{ kNm}$$

tato hodnota přijatelně odpovídá hodnotě 14,20 kNm



Obr. 7: Scia Engineer - Moment na jednosměrně pnuté desce 1.PP

4.2 Model žeber vylehčené desky



Obr. 8: Scia Engineer – Model žeber desky

Jako další byl vytvořen model žeber vylehčené desky, pro ověření smykové únosnosti jednotlivých žeber. Jedná se o výsek oblasti desky vylehčené tvarovkami U-Boot. Navazující plná deska je nahrazena vetknutím na koncích prutů (žeber). Pruty mají tvar náhradního idealizovaného průřezu I viz obr. 8.

5. Podrobné posouzení desky nad 2. nadzemním podlažím

5.1 Použité materiály

Stropní deska vylehčená - dolní vrstva: Beton C30/37-XC1-CI0,4-Dmax 16-S4

Stropní deska vylehčená - horní vrstva: Beton C30/37-XC1-CI0,4-Dmax 22-S3

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 30/1,5 = 20 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu za ohybu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Výztuž B500B

Charakteristická mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová mez kluzu	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$

5.2 Krycí vrstva

Vstupní údaje:

Předpoklad výztuže	$\emptyset = 12 \text{ mm}$
Stupeň vlivu prostředí	XC1
Návrhová životnost	50 let (třída konstrukce S4)
Pevnostní třída betonu	C30/37 (zmenšení o 1 třídu)
Desková konstrukce	(zmenšení o 1 třídu)
Výsledná třída konstrukce	S2

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(12; 10; 10 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

$c_{min,b} = \emptyset = 12 \text{ mm}$	minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti
$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$	minimální krycí vrstva z hlediska prostředí
$\Delta c_{dur,y} = 0$	přídavná hodnota z hlediska bezpečnosti
$\Delta c_{dur,st} = 0$	redukce při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add} = 0$	redukce při použití dodatečné ochrany

Návrhová odchylka

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

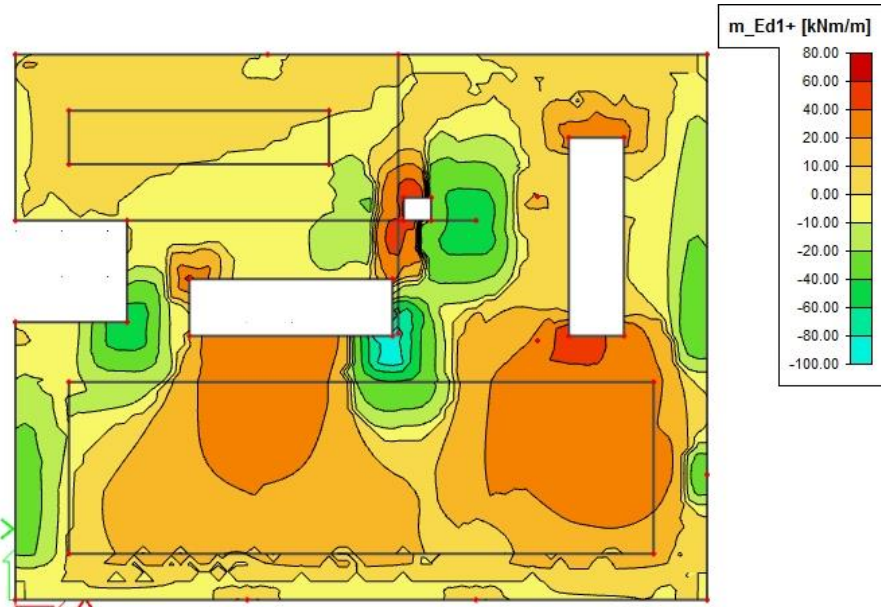
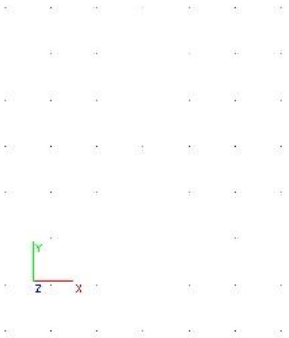
Nominální krycí vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 12 + 10 = 22 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{c_{nom} = 25 \text{ mm}}$$

5.3 Vnitřní síly – Ohybové momenty

Vnitřní síly 2D

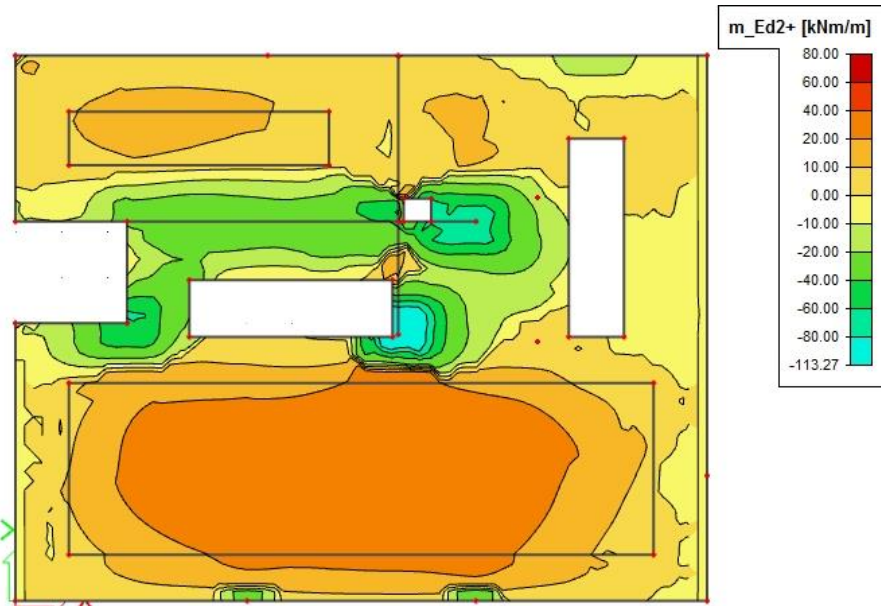
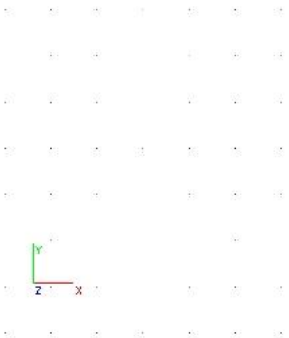
Hodnoty: m_{Ed1+}
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Sít'
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.



Obr. 9: Vnitřní síly - Návrhový moment m_x

Vnitřní síly 2D

Hodnoty: m_{Ed2+}
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Sít'
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.



Obr. 10: Vnitřní síly - Návrhový moment m_y

5.4 Návrh ohybové výztuže

Požadovaná plocha výztuže u horního povrchu

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,req,1+}$

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

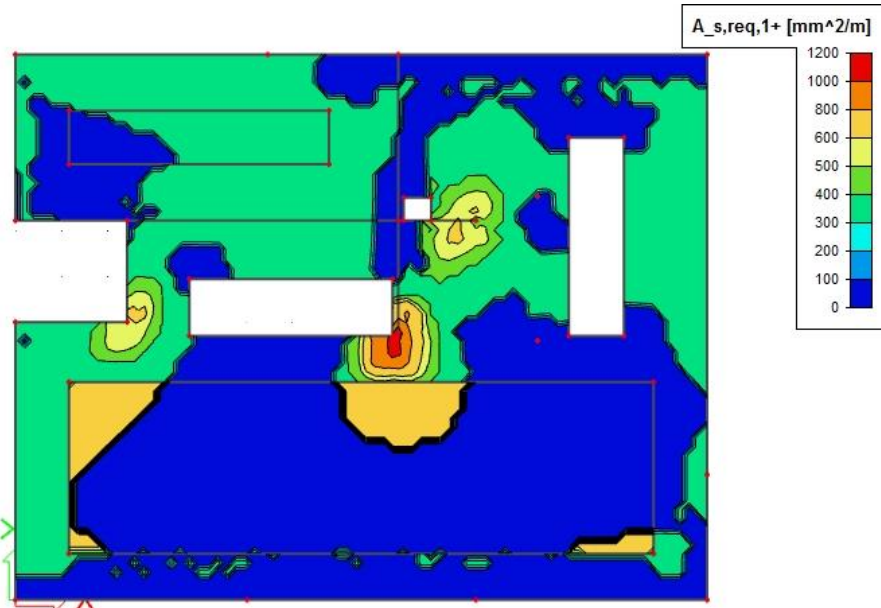
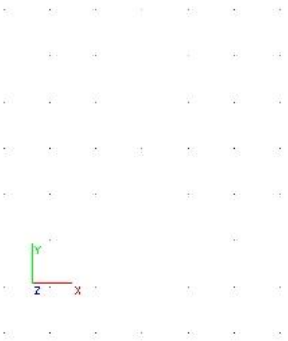
Extrém: Globální

Výběr: S30

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.



Obr. 11: Potřebná plocha výztuže - Horní povrch ve směru x

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,req,2+}$

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

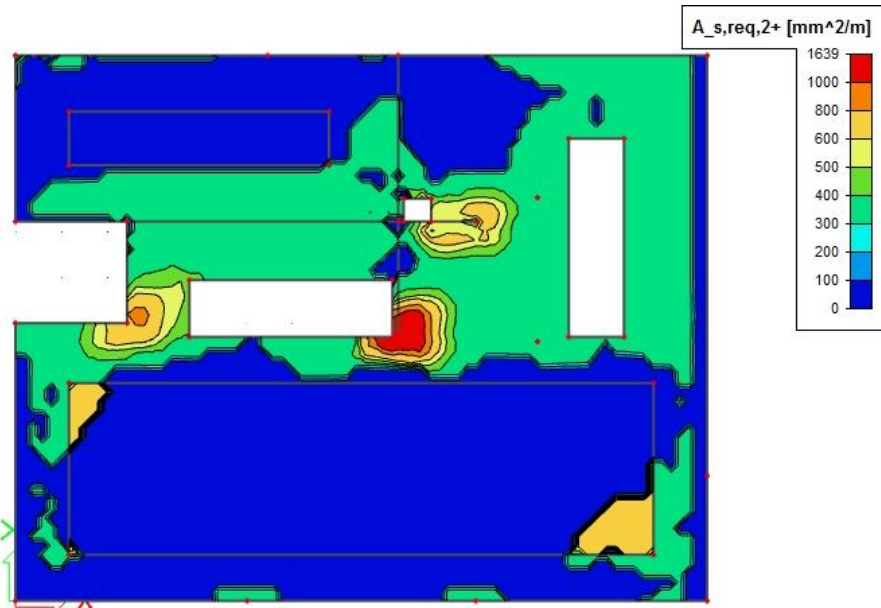
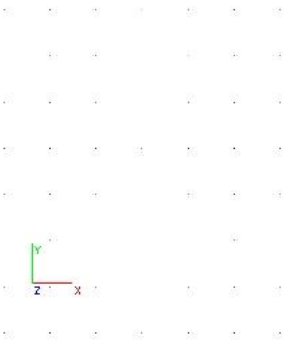
Extrém: Globální

Výběr: S30

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.

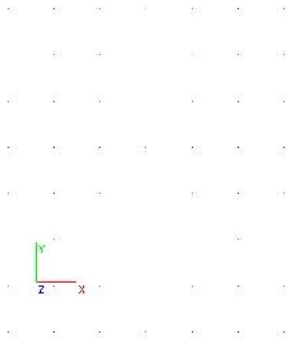


Obr. 12: Potřebná plocha výztuže - Horní povrch ve směru y

Požadovaná plocha výztuže u dolního povrchu

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

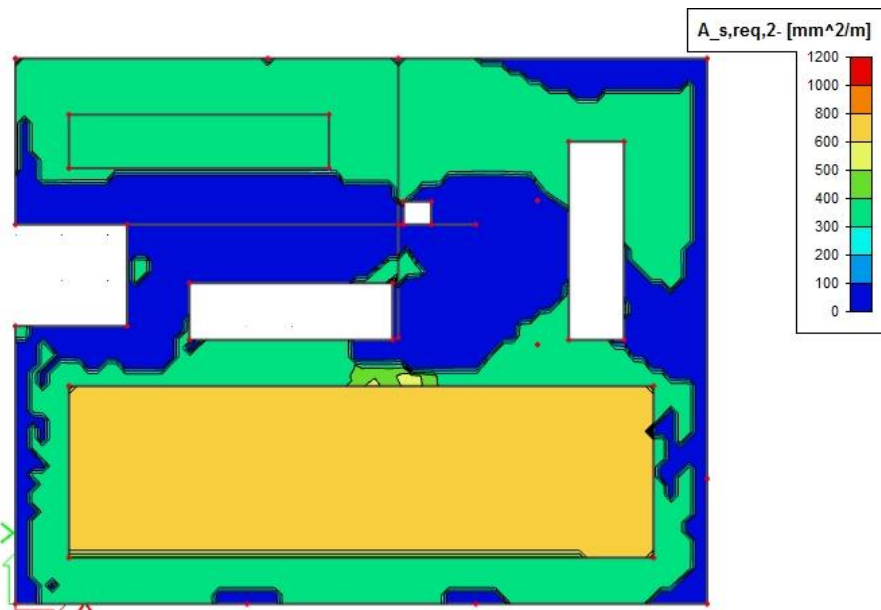
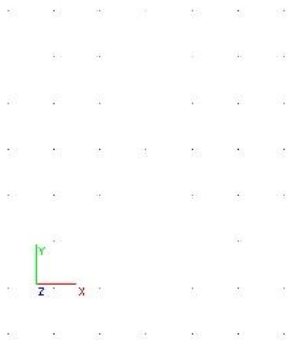
Hodnoty: $A_{s,req,1}$ -
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Globální
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se
 žebrem se zohlední jako nulové uvnitř
 efektivní šířky žebra.



Obr. 13: Potřebná plocha výztuže - Dolní povrch ve směru x

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,req,2}$ -
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Globální
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se
 žebrem se zohlední jako nulové uvnitř
 efektivní šířky žebra.



Obr. 14: Potřebná plocha výztuže - Dolní povrch ve směru y

Vzhledem k výsledkům, je v obou směrech u obou povrchů navržen základní rastr výztuže $\varnothing 12$ po 150 mm.

5.5 Návrh ohybové výztuže – ruční výpočet

Návrhový ohybový moment převzatý z kapitoly 5.3 → $M_{Ed} = 80 \text{ kNm}$

PRŮŘEZ:

-výška průřezu $h = 0,3 \text{ m}$
 -šířka průřezu $b = 1 \text{ m}$

NÁVRH VÝZTUŽE:

-krytí výztuže $c = 25 \text{ mm}$ → účinná výška průřezu
 -hlavní nosná výztuž $\emptyset 12 \text{ mm}$ $d = h - c - \emptyset_{tř} - \emptyset = 269 \text{ mm}$
 -třmínky $\emptyset_{tř} = 0 \text{ mm}$ -odhad ramene vnitřních sil
 $z = 0,9d = 242,1 \text{ mm}$

-potřebná plocha výztuže

$$A_{s,rgd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 760,02 \text{ mm}^2$$

→ NAVRHUJI $\emptyset 12 \text{ mm}$ po 150 mm $A_{s,prov} = 754 \text{ mm}^2$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

-minimální plocha výztuže

$$A_{s,min1} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d = 405,65 \text{ mm}^2 \leq A_{s,prov} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,min2} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 349,7 \text{ mm}^2$$

-maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 12000 \text{ mm}^2 \geq A_{s,prov} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

-maximální vzdálenost výztuže

$$s_{max1} = 2 \cdot h = 600 \text{ mm} \geq s = 142,86 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{max2} = 300 \text{ mm}$$

-minimální světlá vzdálenost

$$s_{e,min1} = 1,2 \cdot \emptyset = 14,4 \text{ mm}$$

$$s_{e,min2} = D_{max} + 5 \text{ mm} = 27 \text{ mm} \leq s_e = 130,86 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$s_{e,min3} = 20 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ VÝZTUŽE:

- výška tlačené oblasti

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = 20,49 \text{ mm} < 70 \text{ mm (tloušťka desky nad tvarovkami)}$$

-poměrná výška tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,08 \leq \xi_{max} = 0,45 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

-rameno vitřních sil

$$z = d - 0,4x = 260,8 \text{ mm}$$

- moment únosnosti

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot z \cdot f_{yd} = 85,5 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 80 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

VYUŽITÍ PRŮŘEZU 93,6 %

V místech desky, kde je ohybový moment větší než 80 kNm, budou navrženy příložky.

5.6 Návrh příložek

Horní povrch desky

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,add,req,1+}$

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

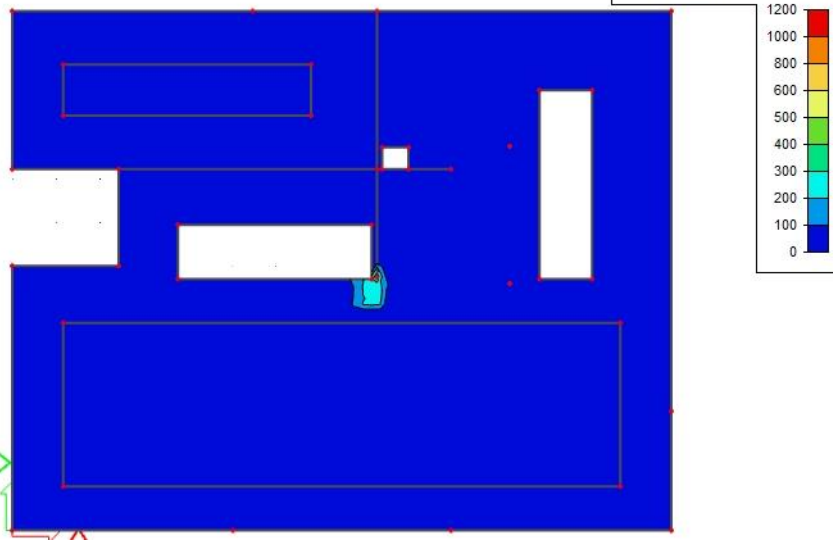
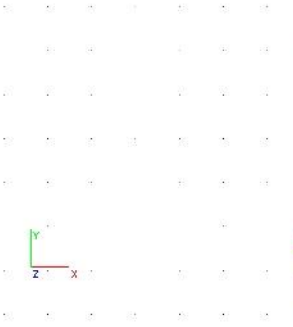
Extrém: Globální

Výběr: S30

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.



Obr. 15: Návrh příložek - Horní povrch ve směru x

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,add,req,2+}$

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

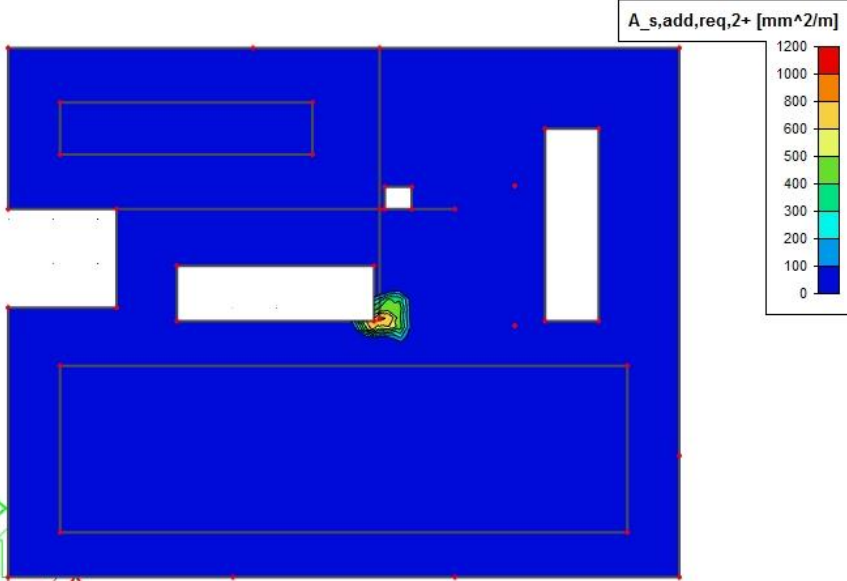
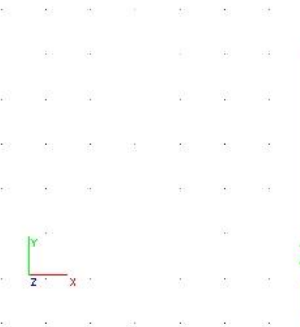
Extrém: Globální

Výběr: S30

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.

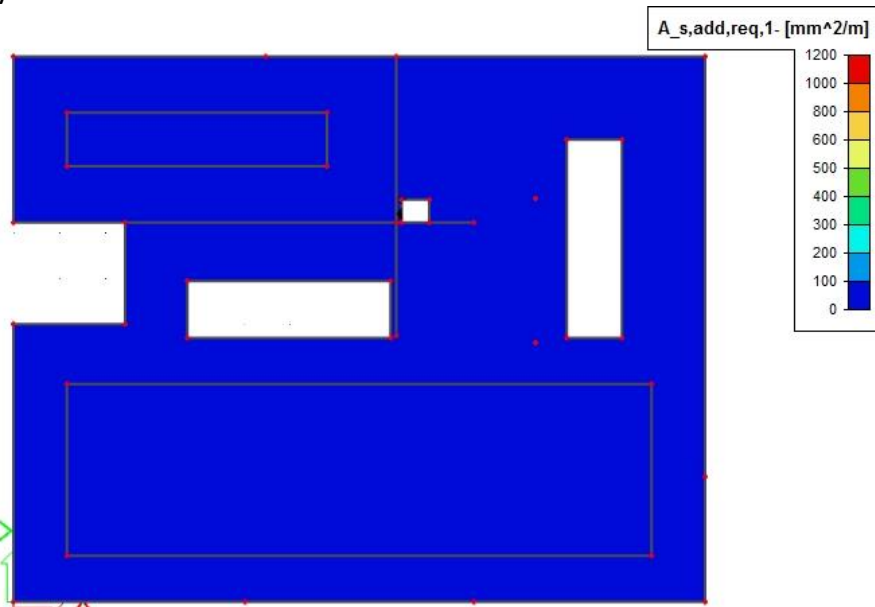
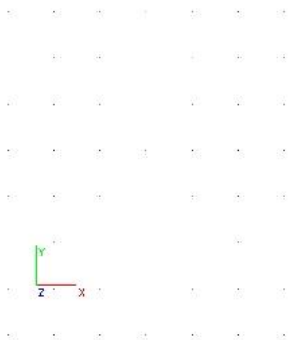


Obr. 16: Návrh příložek - Horní povrch ve směru y

Dolní povrch desky

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

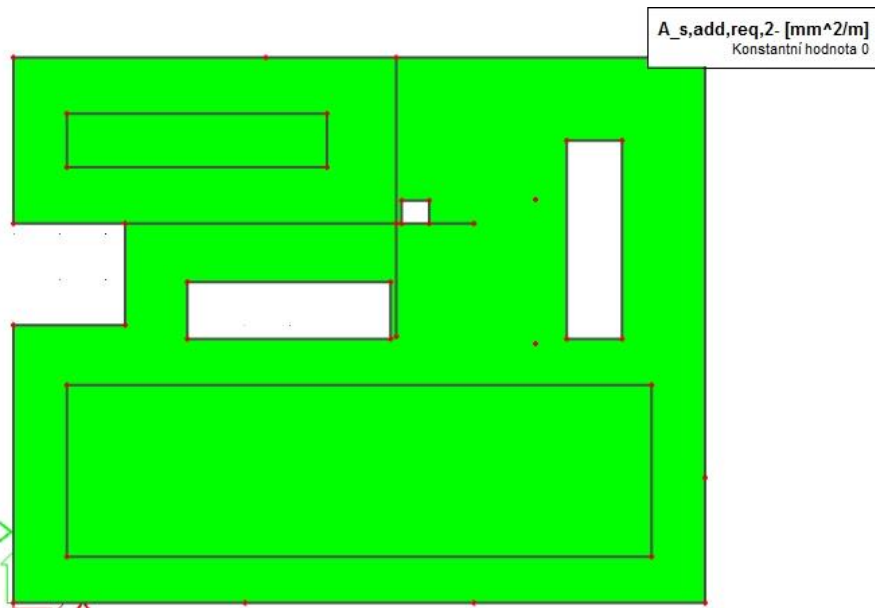
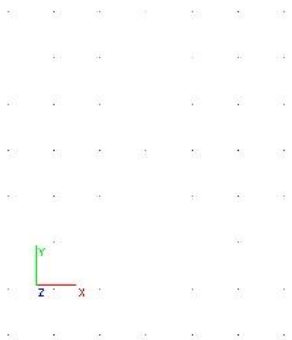
Hodnoty: $A_{s,add,req,1}$ -
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Globální
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku síť
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se
 žebrem se zohlední jako nulové uvnitř
 efektivní šířky žebra.



Obr. 17: Návrh příložek - Dolní povrch desky ve směru x

Návrh výztuže 2D (MSÚ)

Hodnoty: $A_{s,add,req,2}$ -
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Extrém: Globální
 Výběr: S30
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku síť
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se
 žebrem se zohlední jako nulové uvnitř
 efektivní šířky žebra.



Obr. 18: Návrh příložek - Dolní povrch desky ve směru y

Příložky $\varnothing 12$ po 100 mm jsou navrženy při horním povrchu v obou směrech v místě schodišťového prostoru a stěny nad deskou viz výkres výztuže.

5.7 Návrh smykové výztuže

Vnitřní síly 2D

Hodnoty: v_{Ed}

Lineární výpočet

Kombinace: CO1

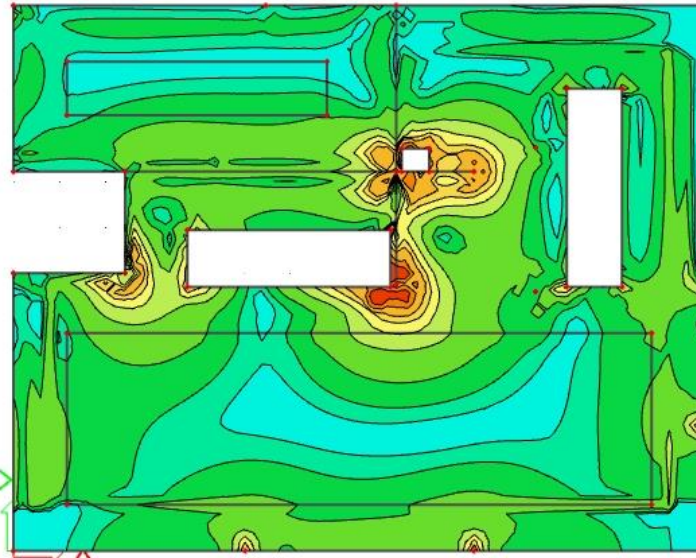
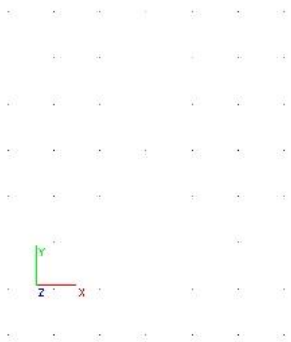
Extrém: Sít'

Výběr: S30

Poloha: V uzlech s průměrováním.

Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.



Obr. 19: Vnitřní síly - Posouvající síly V_z

Únosnost desky bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d =$$

$$= \left[0,12 \cdot 1,86 \cdot (100 \cdot 0,017 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \cdot 1000 \cdot 269 = 223 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{1/2} = 1 + \left(\frac{200}{269} \right)^{1/2} = 1,86 \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{754}{158 \cdot 269} = 0,017 \leq 0,02$$

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

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

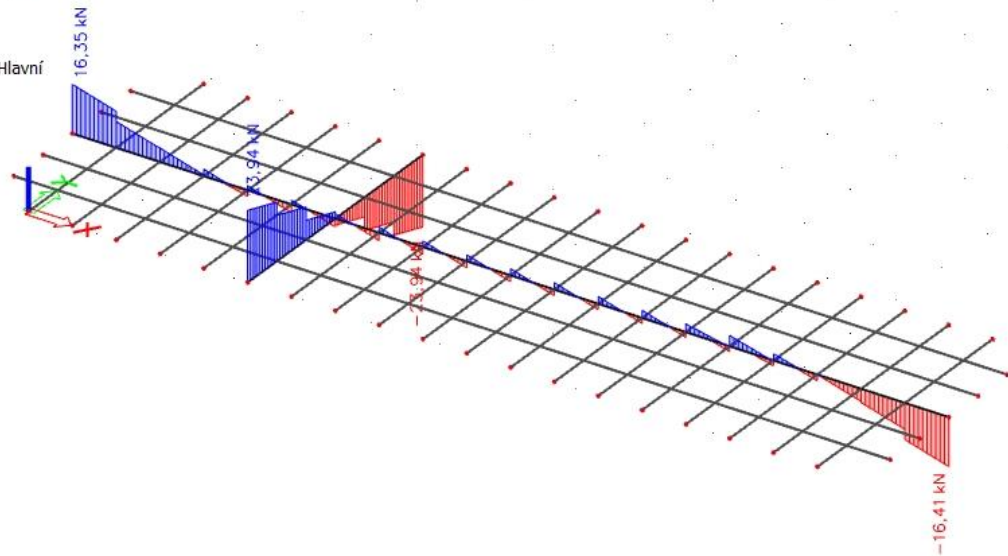
$$d = 269 \text{ mm}$$

Téměř ve všech místech desky je posouvající síla menší než 223 kN. V místech, kde je posouvající síla větší (na okrajích otvorů desky), je posouvající síla pokryta větším průměrem lemovací výztuže viz výkres výztuže.

Únosnost žebek

Vnitřní síly (návrh)

Hodnoty: **VEd**
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Dílec
 Výběr: B22, B6



Obr. 20: Vnitřní síly – Posouvající síly V_z v žebrech

$$V_{\max} = 23,94 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d =$$

$$= \left[0,12 \cdot 1,86 \cdot (100 \cdot 0,017 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0 \right] \cdot 120 \cdot 269 = 26,7 \text{ kN} \geq V_{\max} = 23,94 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

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

$$k = 1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{1/2} = 1 + \left(\frac{200}{269} \right)^{1/2} = 1,86 \leq 2,0$$

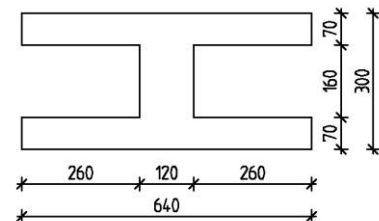
$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{754}{158 \cdot 269} = 0,017 \leq 0,02$$

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

$$b_w = 120 \text{ mm}$$

$$d = 269 \text{ mm}$$

Náhradní průřez



5.8 Ověření protlačení

5.8.1 Protlačení stěny W2.4

- Geometrie desky

$h_d =$	300 mm
$d_x =$	263 mm
$d_y =$	269 mm
- Geometrie stěny

$c_1 =$	200 mm
$c_2 =$	200 mm

- Smyková síla $V_{Ed} = 166,09 \text{ kN}$

Průměrná hodnota účinné tloušťky desky

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 266 \text{ mm}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_0

$$v_{Ed,max} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\beta = 1,35 \quad v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,53$$

$$u_0 = 600 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,max} = 1,405 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 4,224 \text{ Mpa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_1

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100\rho_k \cdot f_{ck})}$$

$$\beta = 1,35 \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,9 \leq 2$$

$$u_1 = 2271,3 \text{ mm}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad \rho_k = 0,005$$

$$k_{max} = 1,55$$

$$V_{Ed,1} = 0,371 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,553 \text{ Mpa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Ed,1} = 0,371 \text{ MPa} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 0,856 \text{ Mpa} \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

→ není potřeba smyková výztuže

5.8.2 Protlačení rohu stěn W2.5 a W2.6

- Geometrie desky $h_d = 300 \text{ mm}$
 $d_x = 263 \text{ mm}$
 $d_y = 269 \text{ mm}$
- Geometrie stěny $c_1 = 200 \text{ mm}$
 $c_2 = 400 \text{ mm}$
- Smyková síla $V_{Ed} = 120,71 \text{ kN}$

Průměrná hodnota staticky účinné tloušťky desky

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 266 \text{ mm}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_0

$$v_{Ed,max} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\beta = 1,2 \quad v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,53$$

$$u_0 = 480 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,max} = 1,134 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 4,224 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_1

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_k \cdot f_{ck})}$$

$$\beta = 1,2 \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,9 \leq 2$$

$$u_1 = 1315,7 \text{ mm}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad \rho_k = 0,005$$

$$k_{max} = 1,55$$

$$V_{Ed,1} = 0,414 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,553 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Ed,1} = 0,414 \text{ MPa} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 0,856 \text{ MPa} \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

→ není potřeba smyková výztuže

5.8.3 Protlačení sloupů nad deskou

- Geometrie desky $h_d = 300 \text{ mm}$
 $d_x = 263 \text{ mm}$
 $d_y = 269 \text{ mm}$
- Geometrie sloupu $c_1 = 240 \text{ mm}$
 $c_2 = 240 \text{ mm}$
- Smyková síla $V_{Ed} = 31,17 \text{ kN}$

Průměrná hodnota staticky účinné tloušťky desky

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 266 \text{ mm}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_0

$$v_{Ed,max} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\beta = 1,35 \quad v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,53$$

$$u_0 = 480 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,max} = 0,330 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 4,224 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_1

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_k \cdot f_{ck})}$$

$$\beta = 1,35 \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,9 \leq 2$$

$$u_1 = 3822,7 \text{ mm}$$

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

$$\rho_k = 0,005$$

$$k_{max} = 1,55$$

$$V_{Ed,1} = 0,041 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,553 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{Ed,1} = 0,041 \text{ MPa} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 0,856 \text{ MPa} \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

→ není potřeba smyková výztuže

5.8.4 Protlačení stěny nad deskou

- Geometrie desky $h_d = 300 \text{ mm}$
 $d_x = 263 \text{ mm}$
 $d_y = 269 \text{ mm}$

- Geometrie stěny $c_1 = 240 \text{ mm}$
 $c_2 = 240 \text{ mm}$

- Smyková síla $V_{Ed} = 262 \text{ kN}$

Průměrná hodnota staticky účinné tloušťky desky

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 266 \text{ mm}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_0

$$v_{Ed,max} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\beta = 1,35 \quad v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,53$$

$$u_0 = 960 \text{ mm}$$

$$V_{Ed,max} = 1,387 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 4,224 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost bez výztuže na protlačení v kontrolovaném obvodu u_1

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_k \cdot f_{ck})}$$

$$\beta = 1,35 \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,9 \leq 2$$

$$u_1 = 1795,7 \text{ mm}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \quad \rho_k = 0,005$$

$$k_{max} = 1,55$$

$$V_{Ed,1} = 0,741 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,553 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

$$V_{Ed,1} = 0,741 \text{ MPa} \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 0,856 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

→ je potřeba smyková výztuž

NÁVRH SMYKOVÝCH TRNŮ

Kontrolní obvod, za kterým již není třeba smykové výztuže

$$v_{Ed1} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_1 d} \leq v_{Rd,c} \rightarrow u_{out} = \frac{\beta V_{Ed}}{v_{Rd,c} d} = 2,41 \text{ m}$$

$$u_{out} = (c_1 + c_2) + \frac{\pi(l_{s,req} + 1,5d)}{2} \rightarrow l_{s,req} = \frac{u_{out} - (c_1 + c_2)}{\pi} - 1,5d = 0,83 \text{ m}$$

$l_{s,req}$... min. vzdálenost posledního smykového trnu od líce stěny

Návrh počtu trnů v oblasti C (1,125d)

$$l_{s,req} = 0,83 \text{ m} > 1,125 d = 0,30 \text{ m} \rightarrow \text{oblast D leží za oblastí C}$$

$$\beta \cdot v_{Ed} \leq v_{Rd,sy} = \frac{\sum A_s \cdot f_{yd}}{\eta}$$

$$\sum A_s = \frac{\beta \cdot V_{Ed} \cdot \eta}{f_{yd}} = 936,6 \text{ mm}^2 \rightarrow 4,7 \text{ trnů}$$

$$\eta = 1,15$$

Smykové lišty: 5 x JDA-3/16/255-570 → **Návrh 6Ø16 do oblasti C**

$$b \leq 0,5d = 133 \text{ mm}$$

$$\geq 0,35d = 93,1 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{zvoleno } b = 95 \text{ mm}$$

zvoleno:

$$s1 = 190 \text{ mm} \leq 0,75 d = 199,5 \text{ mm}$$

$$s2 = 390 \text{ mm} \leq 1,7 d = 452,2 \text{ mm}$$

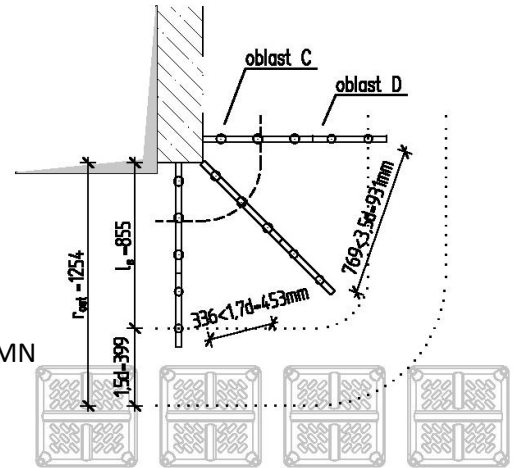
Posouzení únosnosti smykových trnů:

$$A_{sw,1} = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$m_c = 3$$

$$n_c = 2$$

$$v_{Rd,sy} = \frac{m_c \cdot n_c \cdot A_{sw,1} \cdot f_{yd}}{\eta} = 0,456 \text{ MN} \geq V_{Ed} \cdot \beta = 0,354 \text{ MN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

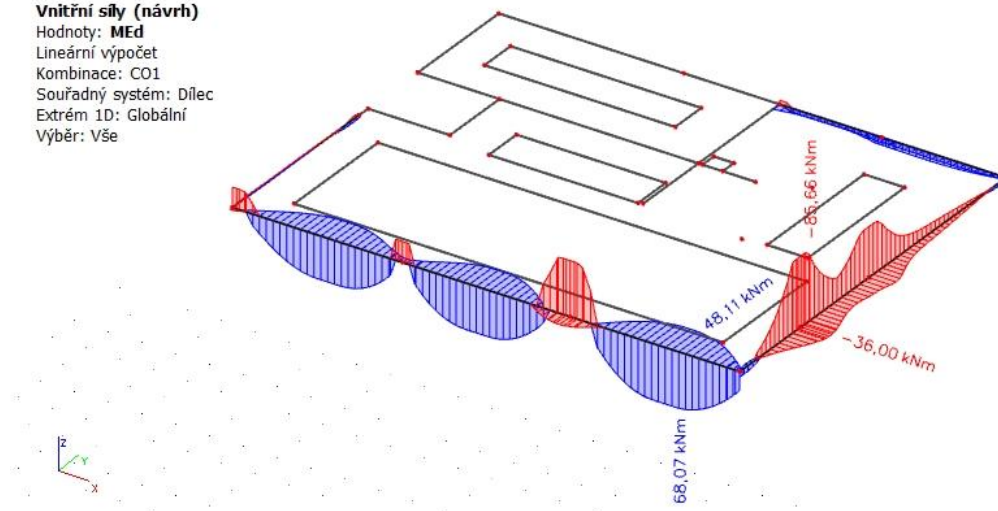


5.9 Návrh výztuže atiky

5.9.1 Vnitřní síly

Vnitřní síly (návrh)

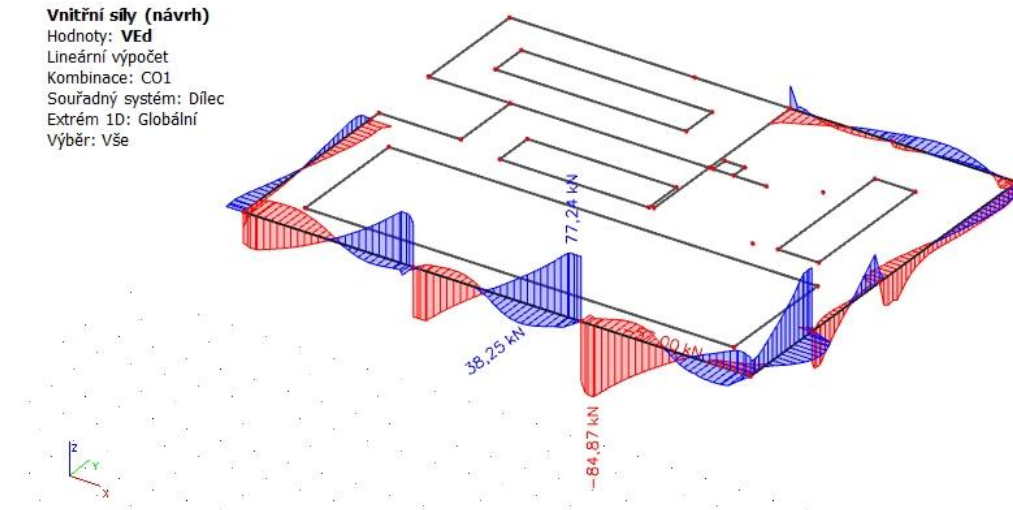
Hodnoty: **MEd**
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše



Obr. 21: Vnitřní síly - Moment M_y a M_z v atice

Vnitřní síly (návrh)

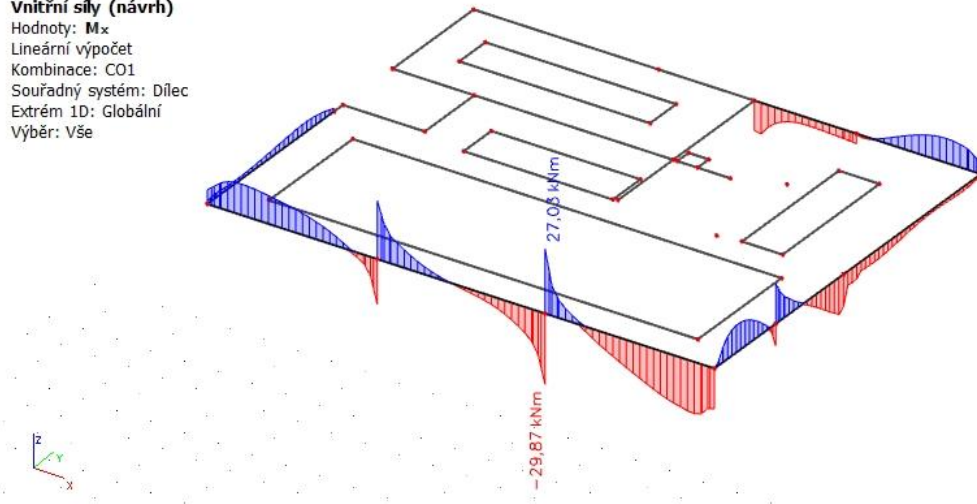
Hodnoty: **VEd**
Lineární výpočet
Kombinace: CO1
Souřadný systém: Dílec
Extrém 1D: Globální
Výběr: Vše



Obr. 22: Vnitřní síly - Posouvající síly V_z a V_y v atice

Vnitřní síly (návrh)

Hodnoty: M_x
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše

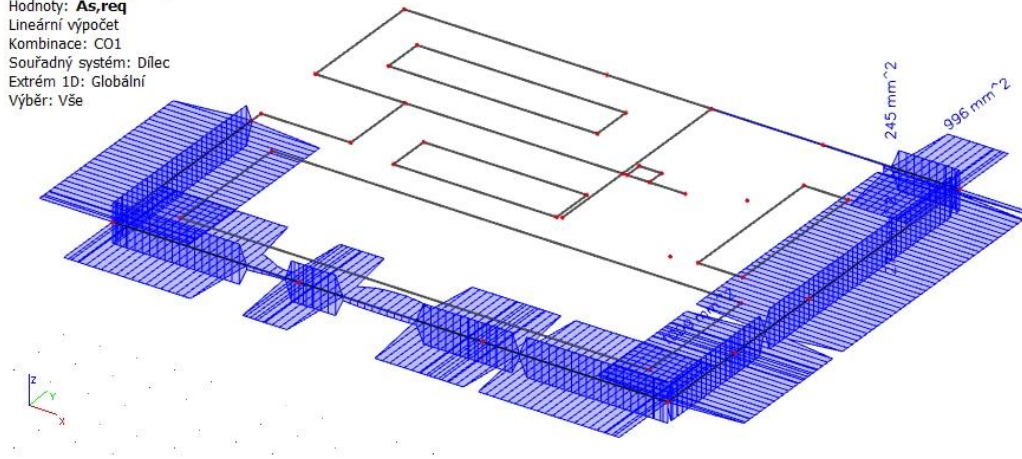


Obr. 23: Vnitřní síly – Moment M_x v atice

5.9.2 Návrh výztuže

Celkový návrh (MSÚ)

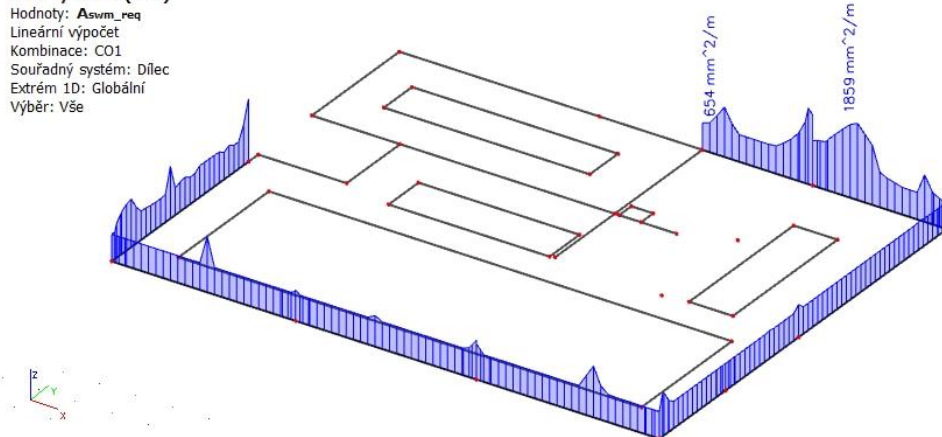
Hodnoty: $A_{s,req}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 24: Potřebná plocha hlavní nosné výztuže atiky

Celkový návrh (MSÚ)

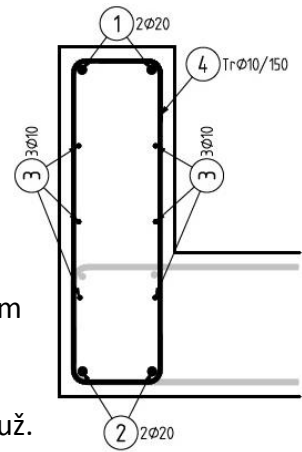
Hodnoty: $A_{swm,req}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO1
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 25: Potřebná plocha smykové výztuže atiky

Navržená výztuž:

- Horní vrstva: 2x $\varnothing 20$ mm ($A_{s,prov,h} = 628 \text{ mm}^2$)
- Mezilehlá vrstva: 2x3 $\varnothing 10$ mm ($A_{s,prov,m} = 471 \text{ mm}^2$)
- Dolní vrstva: 2x $\varnothing 20$ mm ($A_{s,prov,d} = 628 \text{ mm}^2$)
- Třmínky: dvojstržné třmínky $\varnothing 10$ mm ($A_{sw,prov} = 157 \text{ mm}^2$) po 150 mm

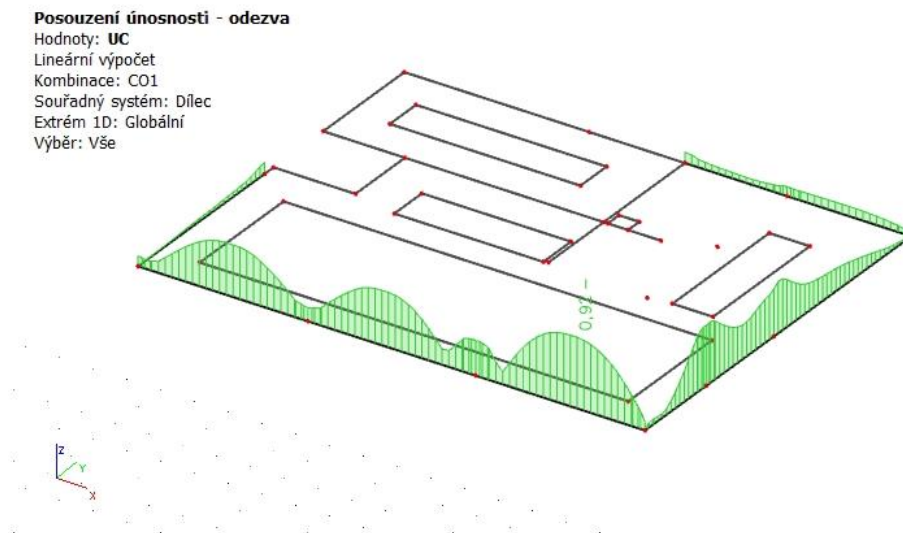


Pro zjednodušení provádění je ve všech místech atiky stejná výztuž.

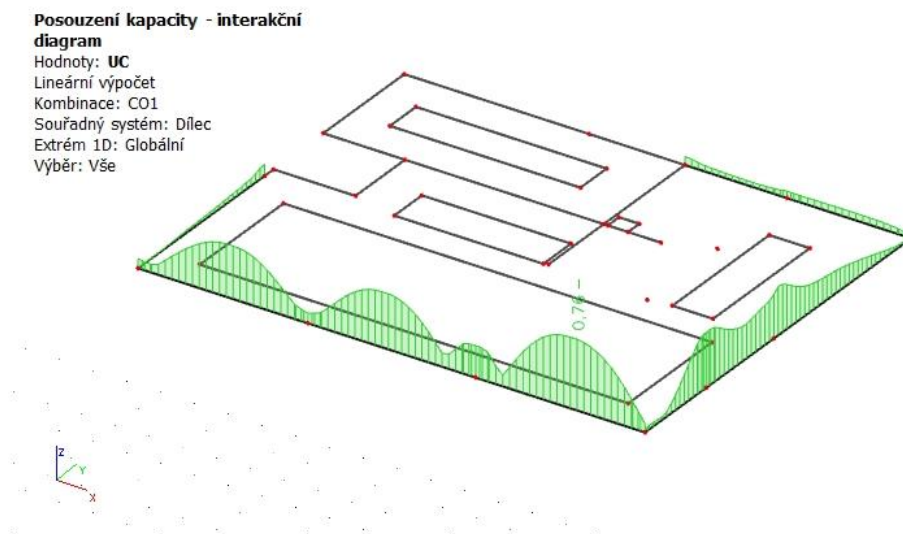
V místech, kde je pod atikou stěna jsou třmínky nahrazeny ukončovací výztuží stěny.

5.9.3 Posouzení mezního stavu únosnosti

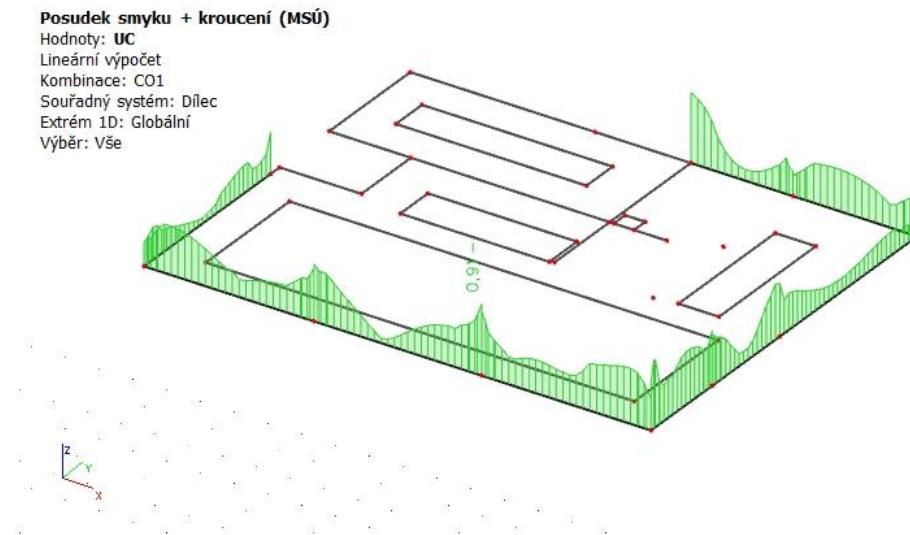
Pruty výztuže byli zadány do programu SCIA Engineer a vzhledem k působení momentu M_y i M_z a ke kroucení byl průřez v programu i posouzen.



Obr. 26: Posouzení atiky - únosnost průřezu



Obr. 27: Posouzení atiky - interakční diagram

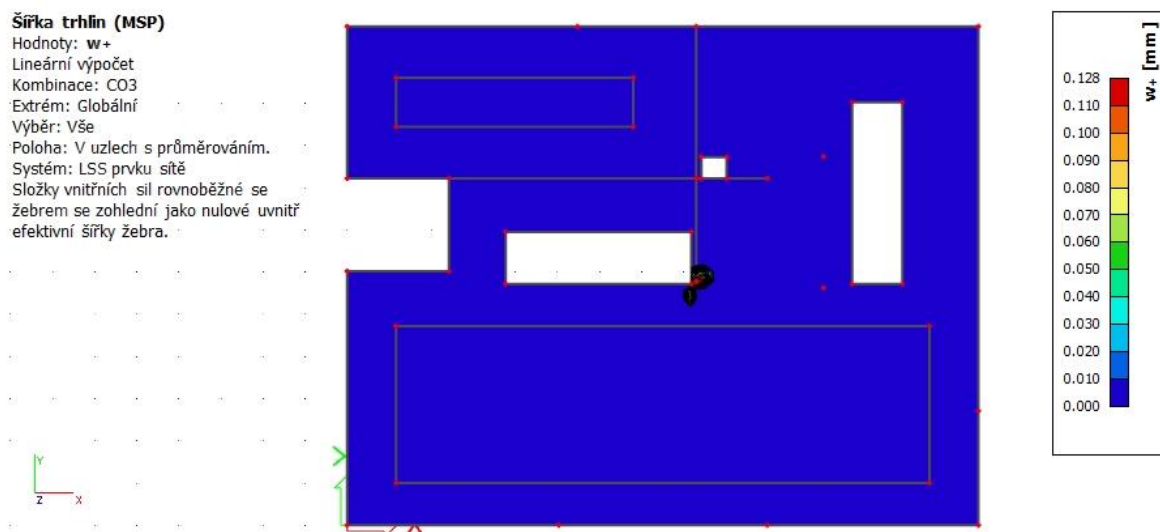


Obr. 28: Posouzení atiky - smyk + kroucení

Atika na mezní stav únosnosti (ohyb, smyk a kroucení) vyhovuje.

5.10 Posouzení mezního stavu použitelnosti

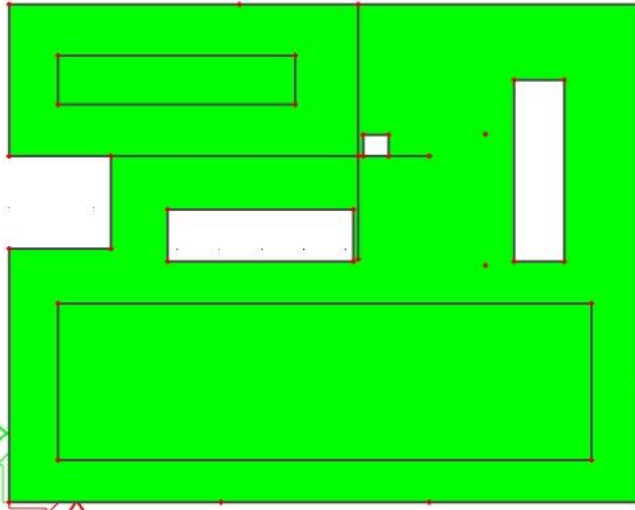
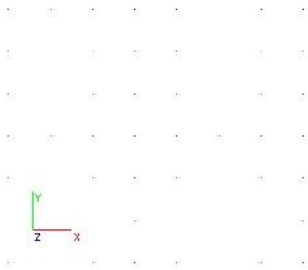
5.10.1 Šířka trhlin



Obr. 29: Posouzení MSP - šířka trhlin - horní povrch desky

Šířka trhlin (MSP)

Hodnoty: **w**
 Lineární výpočet
 Kombinace: C03
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše
 Poloha: V uzlech s průměrováním.
 Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.

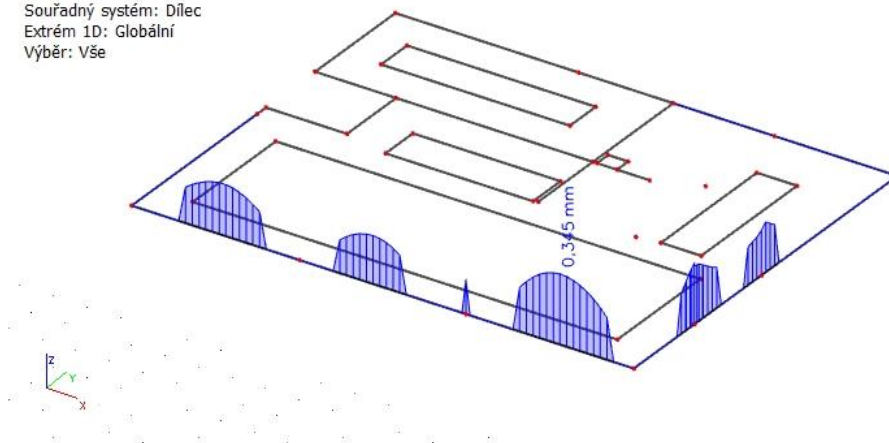


Konstantní hodnota 0.000
w [m m]

Obr. 30: Posouzení MSP - šířka trhlin - dolní povrch desky

Posouzení šířky trhlin (MSP)

Hodnoty: **w**
 Lineární výpočet
 Kombinace: C03
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 31: Posouzení MSP - šířka trhlin atiky

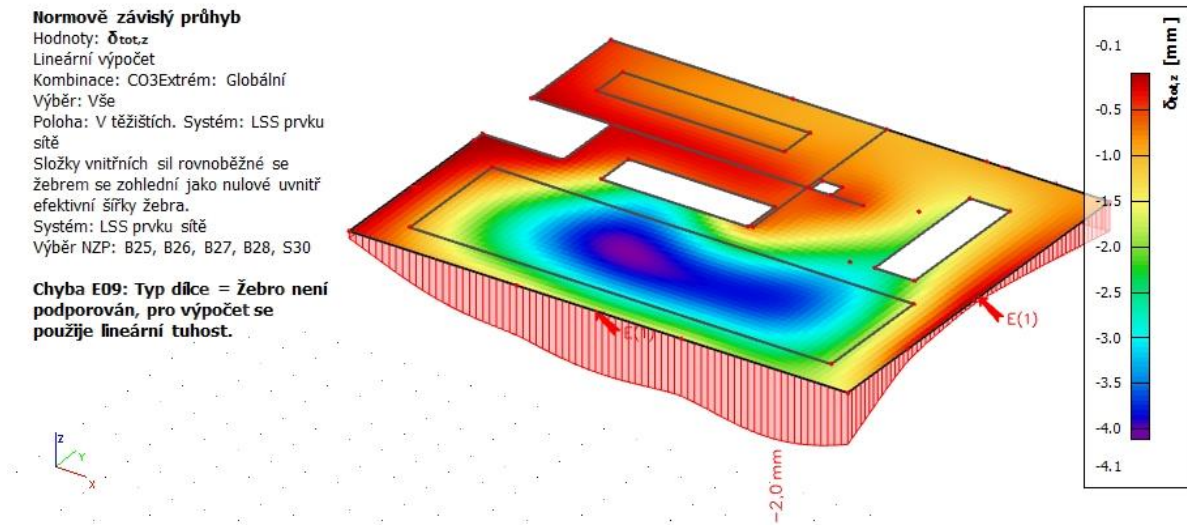
Deska se nachází v prostředí XC1 – limitní šířka trhliny pro kvazistálou kombinaci zatížení je $w_{lim} = 0,4$ mm. V desce vznikne maximální trhlina o šířce $w_{deska} = 0,13$ mm. V atice vznikne maximální trhlina o šířce $w_{atika} = 0,35$ mm. Šířky trhlin tedy nepřekročí limitní hodnotu 0,4 mm a konstrukce vyhoví .

5.10.2 Průhyb

Normově závislý průhyb

Hodnoty: $\delta_{tot,z}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO3Extrém: Globální
 Výběr: Vše
 Poloha: V těžištích. Systém: LSS prvku sítě
 Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.
 Systém: LSS prvku sítě
 Výběr NZP: B25, B26, B27, B28, S30

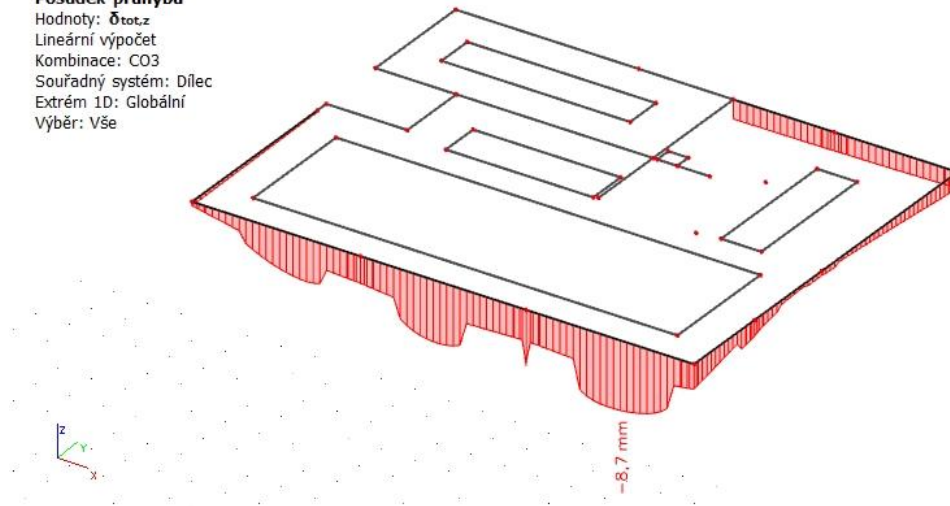
Chyba E09: Typ dílce = Žebro není podporován, pro výpočet se použije lineární tuhost.



Obr. 32: Posouzení MSP - průhyb desky

Posudek průhybu

Hodnoty: $\delta_{tot,z}$
 Lineární výpočet
 Kombinace: CO3
 Souřadný systém: Dílec
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše



Obr. 33: Posouzení MSP - průhyb atiky

Průhyb byl vzhledem k nepravidelnému tvaru konstrukce posouzen v programu Scia Engineer.

Při výpočtu průhybu desky program nezohledňuje reálnou tuhost žebra desky (atiky) po vzniku trhlin a pro výpočet se použije pouze lineární tuhost. Proto byl průhyb atiky vypočítán zvlášť (pro 1D prvky). Průhyb atiky je oproti lineárnímu výpočtu o 6,7 mm větší.

Průhyb atiky

Rozpětí atiky v místě největšího průhybu: $l_{atika} = 5010 \text{ mm}$

$\delta_{lim,atika} = l_{atika}/250 = 5010/250 = 20,04 \text{ mm} > \delta_{atika} = 8,7 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

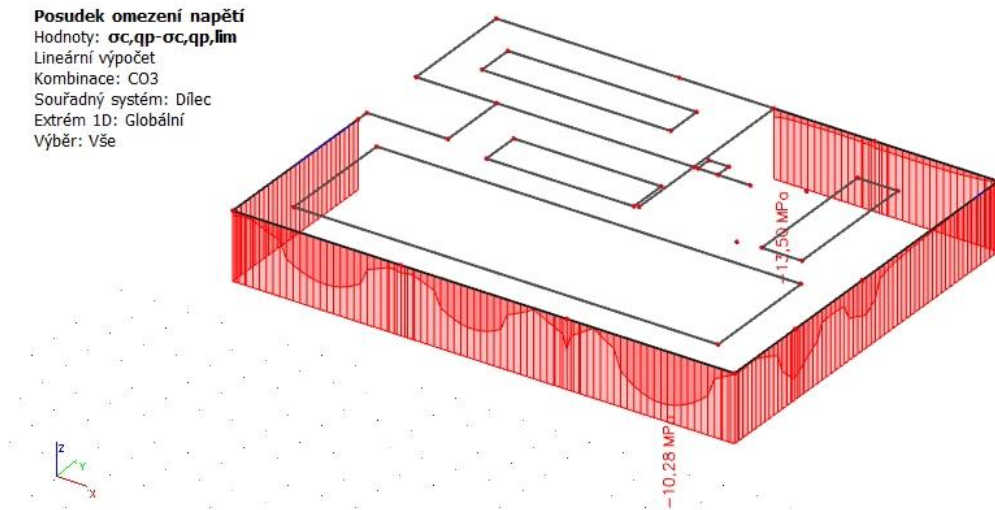
Průhyb desky

Rozpětí v místě největšího průhybu desky: $l_{deska} = 5820 \text{ mm}$

$$\delta_{lim,deska} = l_{deska}/250 = 5820/250 = 23,28 \text{ mm} > \delta_{deska} = 4,1 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Program nezahrnuje vliv smršťování, ale rezerva pro průhyb od smršťování je dostačující.

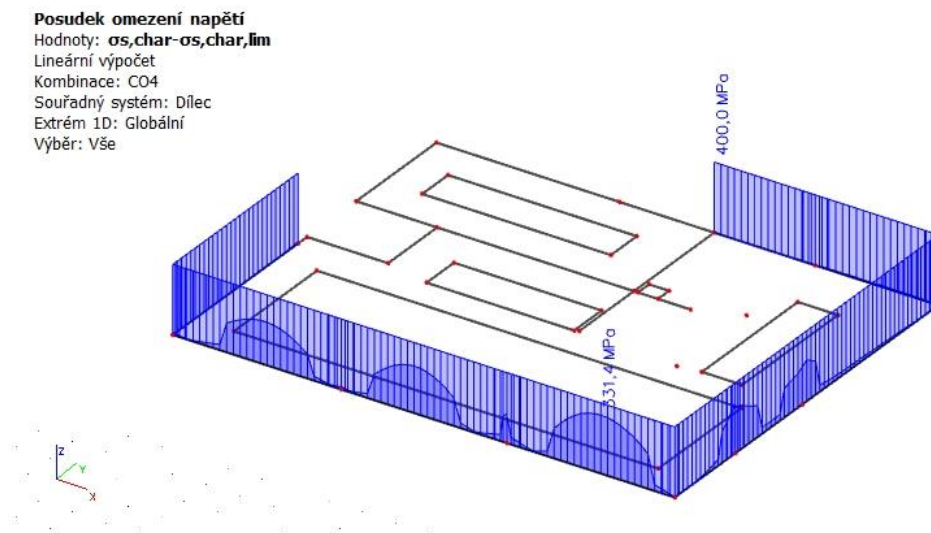
5.10.3 Omezení napětí v atice



Obr. 34: Posouzení MSP - omezení napětí v betonu

Pro kvazistálou kombinaci zatížení má být napětí v betonu menší než $0,6 \cdot f_{ck}$.

$$|\sigma_c| = 13,5 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obr. 35: Posouzení MSP - Omezení napětí ve výztuži

Pro charakteristickou kombinaci zatížení má být napětí ve výztuži menší než $0,8 \cdot f_{yk}$.

$$|\sigma_s| = 331,4 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6. Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh nosné konstrukce Vily Zapova. Geometrie objektu a velikost prvků byla převzata ze stavebně-architektonického řešení. Práce byla zaměřena převážně na posouzení desky nad 2. nadzemním podlažím.

V bakalářské práci bylo nejprve vypočítáno zatížení působící na konstrukci. Dále byl vytvořen 3D model v programu Scia Engineer, ve kterém se ověřila celková stabilita objektu. Z tohoto modelu byla ověřena pravdivost výsledků ručním výpočtem.

Dále byla podrobně posouzena stropní deska nad 2. nadzemním podlažím. Pro žebra vylehčené části desky byl vytvořen podrobný model výseku desky pro ověření smykových sil. Deska byla posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti podle platných norem a zásad.

Na závěr byla vytvořena výkresová dokumentace – výkres tvaru a výztuže desky 2.NP a schémata tvaru ostatních podlaží.

7. Seznam podkladů

7.1 Architektonicko-stavební řešení

Seznam dostupných výkresů:

- Půdorys 1.PP
- Půdorys 1.NP
- Půdorys 2.NP
- Půdorys 3.NP
- Svislý řez A-A
- Svislý řez B-B
- Architektonická vizualizace objektu

7.2 Inženýrsko-geologický průzkum

- Závěrečná zpráva o inženýrsko-geologickém, hydrogeologickém a radonovém průzkumu
- Popis vrtů V1 a V2
- Fotodokumentace vrtů V1 a V2

8. Seznam použitých zdrojů

8.1 Literatura

J. PROCHÁZKA, A. KOHOUTKOVÁ, J. VAŠKOVÁ. *Navrhování železobetonových konstrukcí. Příklady a postupy*. 1. vyd. Praha: Pro České vysoké učení technické v Praze vydala Česká technika, 2014, 254 s. ISBN 978-80-01-05587-8

8.2 Řada norem ČSN EN

ČSN EN 1990 ed.2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 100 s. Třídící znak: 73 0002.

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení- Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. Třídící znak: 73 0035

ČSN EN 1991-1-3 ed.2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část: 1-3: Obecná zatížení-zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 52 s. Třídící znak: 73 0035

ČSN EN 1991-1-4 ed.2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část: 1-4: Obecná zatížení-zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 124 s. Třídící znak: 73 0035

ČSN EN 1992-1-1 ed.2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 202 s. Třídící znak: 73 1201.

ČSN EN 206. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 88 s. Třídící znak: 73 2403.

ČSN EN 13670. *Provádění betonových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2010, 56 s. Třídící znak: 73 2400.

ČSN 73 1201. *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 64 s.

8.4 Použité programy

SCIA Engineer v.17.1 – Studentská verze

AutoCAD 2017 – Studentská verze

Software firmy RECOC s.r.o. – vázaná a prostorová výztuž

Microsoft Office Excel 2016

Microsoft Office Word 2016

9. Seznam obrázků

Obr. 1: Architektonická vizualizace – jihovýchodní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)	8
Obr. 2: Architektonická vizualizace – severovýchodní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)	9
Obr. 3: Architektonická vizualizace – jihozápadní pohled (zdroj: Recoc s.r.o.)	9
Obr. 4: Zatížení větrem	15
Obr. 5: Scia Engineer - 3D model	16
Obr. 6: Scia Engineer - Reakce R_z	18
Obr. 7: Scia Engineer - Moment na jednosměrně pnuté desce 1.PP.	19
Obr. 8: Scia Engineer – Model žeber desky	19
Obr. 9: Vnitřní síly - Návrhový moment m_x	21
Obr. 10: Vnitřní síly - Návrhový moment m_y	21
Obr. 11: Potřebná plocha výztuže - Horní povrch ve směru x	22
Obr. 12: Potřebná plocha výztuže - Horní povrch ve směru y	22
Obr. 13: Potřebná plocha výztuže - Dolní povrch ve směru x	23
Obr. 14: Potřebná plocha výztuže - Dolní povrch ve směru y	23
Obr. 15: Návrh příložek - Horní povrch ve směru x	25
Obr. 16: Návrh příložek - Horní povrch ve směru y	25
Obr. 17: Návrh příložek - Dolní povrch desky ve směru x	26
Obr. 18: Návrh příložek - Dolní povrch desky ve směru y	26
Obr. 19: Vnitřní síly - Posouvající síly V_z	27
Obr. 20: Vnitřní síly – Posouvající síly V_z v žebrech	28
Obr. 21: Vnitřní síly - Moment M_y a M_z v atice	33
Obr. 22: Vnitřní síly - Posouvající síly V_z a V_y v atice	33
Obr. 23: Vnitřní síly – Moment M_x v atice	34
Obr. 24: Potřebná plocha hlavní nosné výztuže atiky	34
Obr. 25: Potřebná plocha smykové výztuže atiky	34
Obr. 26: Posouzení atiky - únosnost průřezu	35
Obr. 27: Posouzení atiky - interakční diagram	35
Obr. 28: Posouzení atiky - smyk + kroucení	36
Obr. 29: Posouzení MSP - šířka trhlin - horní povrch desky	36
Obr. 30: Posouzení MSP - šířka trhlin - dolní povrch desky	37
Obr. 31: Posouzení MSP - šířka trhlin atiky	37
Obr. 32: Posouzení MSP - průhyb desky	38
Obr. 33: Posouzení MSP - průhyb atiky	38
Obr. 34: Posouzení MSP - omezení napětí v betonu	39
Obr. 35: Posouzení MSP - Omezení napětí ve výztuži	39

10. Seznam přiložené dokumentace

Č. výkresu	Obsah	Měřítko
01	Schéma tvaru 1.PP	1:50
02	Schéma tvaru 1.NP	1:50
03	Výkres tvaru 2.NP	1:50
04	Schéma tvaru 3.NP	1:50
05	Výkres výztuže desky 2.NP – dolní výztuž	1:50
06	Výkres výztuže desky 2.NP – horní výztuž	1:50
07	Výkres výztuže desky 2.NP – lemovací výztuž a řezy	1:50

