

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční návrh objektu
Vila Vista, Praha

Studijní program: Stavební inženýrství
Obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Hana Sedláčková
Praha, 2022



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: SEDLÁČKOVÁ Jméno: Hana Osobní číslo: 477065
Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Konstrukční návrh objektu Vila Vista, Praha

Název bakalářské práce anglicky: Structural design of Vila Vista, Prague

Pokyny pro vypracování:

Předběžný návrh nosných prvků objektu v návaznosti na projekt 133P02C.

Podrobný návrh vybraného nosného prvku.

Schématické výkresy tvaru jednotlivých podlaží.

Výkresy výztuže vybraného podrobně řešeného prvku.

Stručná technická zpráva ke statické části.

Seznam doporučené literatury:

doporučená literatura pro studium předmětů bakalářského studia

dostupné podklady z odborných publikací a časopisů se vztahem k řešené problematice

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

Datum zadání bakalářské práce: 14.2.2022 Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022

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“.

16.2 2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze s výjimkou odborných konzultací s Ing. Hanou Hanzlovou, CSc. a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne _____

Hana Sedláčková

Poděkování:

Ráda bych poděkovala paní Ing. Haně Hanzlové, CSc. za odborné rady, ukázky z praxe, chápavý a přívětivý přístup a za celkové vedení této závěrečné práce. Dále bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Petrovi Bílému PhD. za výpomoc s programem SCIA, zejména za důkladné vysvětlení problému a ochotný přístup.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá předběžným návrhem železobetonové konstrukce rodinné vily a dále podrobným návrhem a posouzením rámu v podzemním podlaží objektu. V práci jsou porovnány hodnoty vnitřních sil v rámu pro modely s různými obměnami. Práce obsahuje technickou zprávu ke statické části, výkresy tvaru a výkres výztuže řešeného rámu.

Klíčová slova:

Rám, sloup, oboustranně vyztužený nosník, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, železobeton, beton, trhliny, průhyb, 3D model

Abstract:

The bachelor thesis deals with the preliminary design of the reinforced concrete structure of the family villa followed by the detailed design of the frame in the underground floor of the building, and its evaluation. The thesis compares the values of internal forces in the frame for models with different variations. The thesis includes a technical report for the structural part, drawings of form, reinforcement drawing of the designed frame.

Key words:

Frame, column, doubly reinforced beam, ultimate limit state, serviceability limit state, reinforced concrete, concrete, cracks, deflection, 3D model

Bibliografická citace VŠKP:

SEDLÁČKOVÁ, Hana. *Konstrukční návrh objektu Vila Vista, Praha*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Hana Hanzlová, CSc

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. SCHÉMA A POPIS KONSTRUKCE	10
2.1 PODKLADY	10
2.2 ÚPRAVY SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ	13
2.3 KONSTRUKČNÍ SCHÉMATA	16
2.4 POUŽITÉ MATERIÁLY	19
2.5 KRYTÍ VÝZTUŽE.....	20
3. PŘEHLED ZATÍŽENÍ.....	21
3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ.....	21
3.1.1 Nosné konstrukce	21
3.1.2 Podlahy	21
3.1.3 Střešní plášť.....	23
3.1.4 Obvodový plášť	25
3.1.5 Podhledy	25
3.1.6 Schodišťové stupně	26
3.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	26
3.2.1 Příčky.....	26
3.2.2 Užité zatížení	27
3.2.3 Zatížení sněhem	28
3.2.4 Zatížení větrem	28
4. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ.....	30
4.1 STROPNÍ DESKA	30
4.1.1 D1 - deska nad 4NP – po obvodně podepřená deska	30
4.1.2 D2 - deska 4NP – po obvodně podepřená	33
4.1.3 D3 - deska 3NP – jednosměrně pnutá deska	36
4.1.4 D4 - deska 2NP – jednosměrně pnutá deska	38
4.1.5 D5 - deska 2NP – lokálně podepřená deska.....	41
4.2 ŽB PRŮVLAKY	46
4.2.1 P1 – Průvlak desky 4NP	46
4.2.2 P2 – Průvlak desky 2NP	49
4.2.3 P3 – Nosník pod segmentem stěny desky 1NP	55
4.2.4 N1, N2 – Zalomený průvlak 4NP	64
4.3 SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	71
4.3.1 ŽB stěny – nadzemní podlaží.....	71
4.3.2 ŽB sloupy	72
4.3.2.1 Sloupy u bazénu (1NP) – S1	72
4.3.2.2 Nejvíce zatížený sloup (2NP) – S2	73
4.3.2.3 Sloup (4NP) – S3	74
4.3.2.4 Sloup nad suterénním rámem (1NP) – S4.....	75
4.3.3 Suterénní ŽB stěny	76
4.4 SCHODIŠTĚ.....	79
4.4.1 Výpočet parametrů betonového schodiště	80
4.4.2 Výpočet množství kotevnic akustických boxů	81
4.5 ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE.....	82

5.	3D MODEL.....	83
5.1	OVĚŘENÍ PROSTOROVÉ TUHOSTI	83
5.1.1	Stavební stádium	84
5.1.2	Návrhová kombinace	85
5.2	OVĚŘENÍ PRŮHYBŮ DESEK.....	86
5.2.1	Průhyb desky nad 2NP	87
6.	PODROBNÝ STATICKÝ VÝPOČET RÁMU V 1PP.....	89
6.1	VOLBA MODELU PRO VÝPOČET	89
6.1.1	Celkový model.....	90
6.1.1.1	<i>Tuhý model konstrukce.....</i>	90
6.1.1.2	<i>Model se sníženou tuhostí okolních stěn.....</i>	93
6.1.1.3	<i>Model se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí 3NP</i>	95
6.1.2	Rozdělený model.....	98
6.1.2.1	<i>Rám + zatížení z předběžného výpočtu</i>	99
6.1.2.2	<i>Tuhý model</i>	101
6.1.2.3	<i>Model se sníženou tuhostí okolních stěn</i>	107
6.2	PRÍČEL - MSÚ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
6.2.1	Průřez 3 – pole	113
6.2.2	Průřez 1,2	117
6.2.3	Průřez 5	120
6.2.4	Průřez 4	123
6.3	PRÍČEL - MSP	126
6.3.1	Průřez 3	127
6.3.1.1	<i>Průřez bez trhlin, krátkodobě zatížený</i>	127
6.3.1.2	<i>Průřez po vzniku trhlin, krátkodobě zatížený</i>	129
6.3.1.3	<i>Průřez bez trhlin, dlouhodobě zatížený</i>	130
6.3.1.4	<i>Průřez s trhlinami, dlouhodobě zatížený</i>	133
6.3.1.5	<i>Průřez bez trhlin, dlouhodobě zatížený smršťováním.....</i>	134
6.3.1.6	<i>Průřez s trhlinami, dlouhodobě zatížený</i>	137
6.3.1.7	<i>Průhyb</i>	139
6.3.1.8	<i>Mezní stav omezení napětí.....</i>	142
6.3.1.9	<i>Šířka trhlin</i>	144
6.3.1.10	<i>Přepočet průřezu 3</i>	147
6.3.2	Průřez 1, 2	150
6.3.3	Průřez 5	153
6.3.4	Průřez 4	156
6.4	SLOUPY – MSÚ	159
6.4.1	Levý sloup.....	160
6.4.1.1	<i>Návrhový moment pro maximální N + odpovídající M.....</i>	160
6.4.1.2	<i>Návrhový moment pro max. M + odp. N</i>	165
6.4.1.3	<i>Návrhový moment min N + odp M</i>	167
6.4.1.4	<i>Návrh výztuže průřezu</i>	169
6.4.1.5	<i>Přepočet průřezu levého sloupu</i>	176
6.4.2	Pravý sloup.....	181

6.5	ROZMÍSTĚNÍ VÝZTUŽE	186
6.5.1	Rozmístění výztuže příčle.....	186
6.5.1.1	<i>Kotvení výztuže</i>	187
6.5.1.2	<i>Stykování výztuže přesahem</i>	189
6.5.2	Rozmístění výztuže sloupů.....	190
6.5.2.1	<i>Kotvení výztuže</i>	190
6.5.2.2	<i>Stykování výztuže přesahem</i>	191
6.5.2.3	<i>Vzdálenost příčné výztuže (třmínků)</i>	191
	ZÁVĚR	192
	POUŽITÉ ZDROJE	193
	SEZNAM ZKRATEK	194
	SEZNAM PŘÍLOH	194

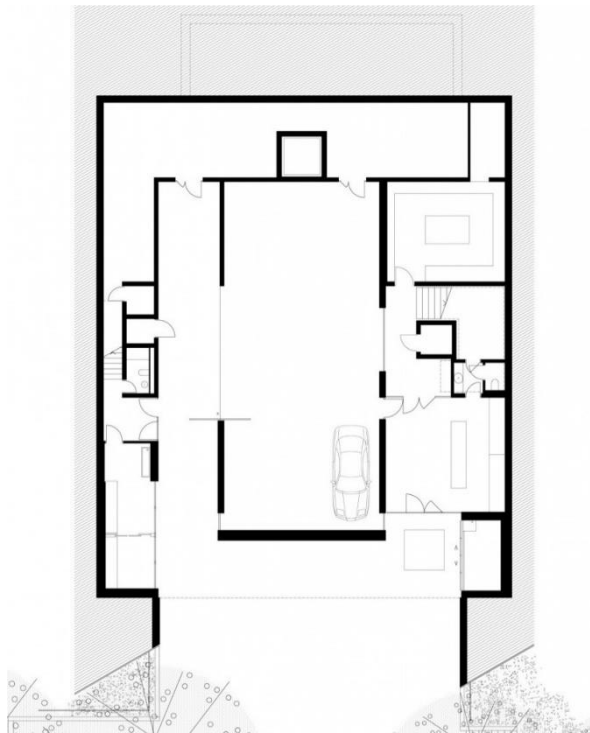
1. ÚVOD

V této práci se budu zabývat předběžným statickým výpočtem konstrukce již realizovaného objektu Vila Vista v pražských Dejvicích a dále podrobným návrhem rámu v nejnižším podlaží objektu.

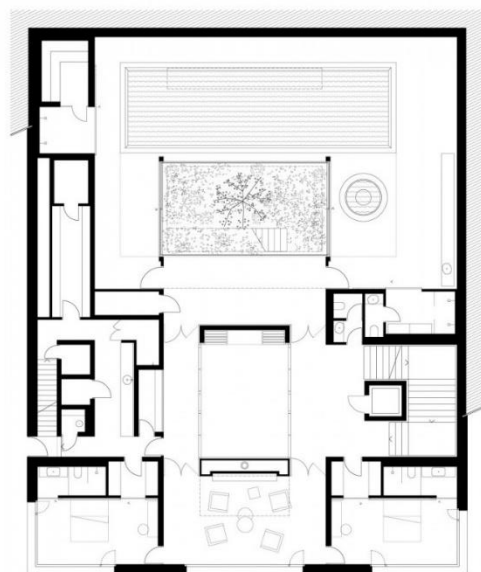
Tento objekt jsem našla na webových stránkách architektonické kanceláře znamení čtyř - architekti s.r.o. [1], odkud mám podklady – slepé půdorysy a slepý řez. Tyto podklady jsou použity v kapitole 2.1.

2. SCHÉMA A POPIS KONSTRUKCE

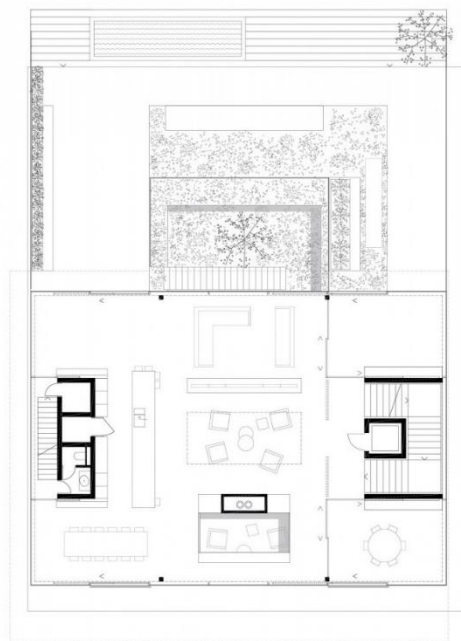
2.1 PODKLADY



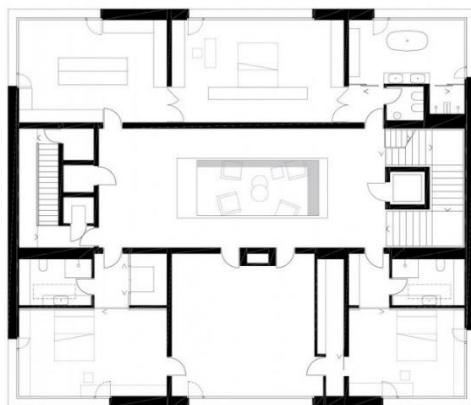
Obr. č. 1 – Slepý půdorys 1PP [1]



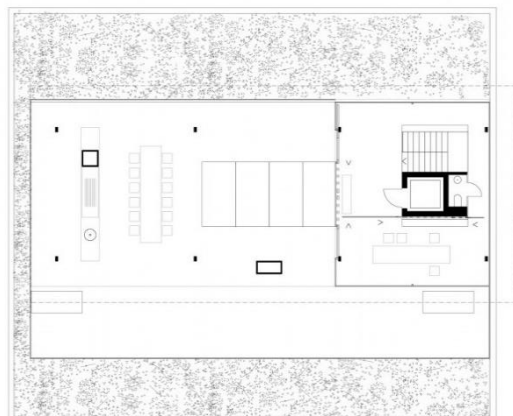
Obr. č. 2 – Slepý půdorys 1NP [1]



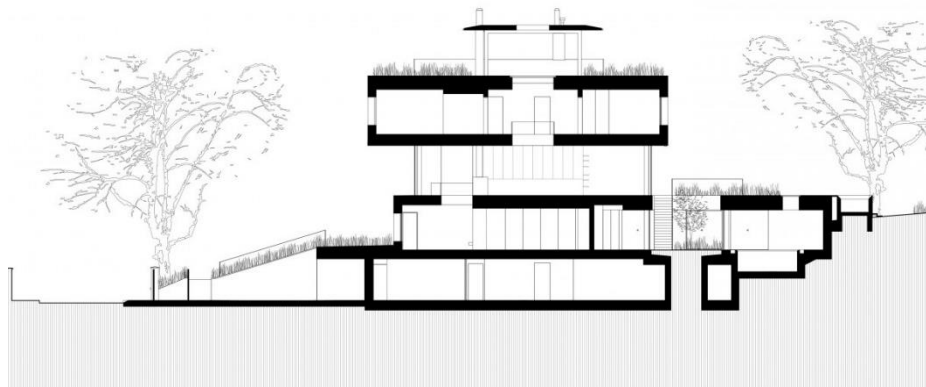
Obr. č. 3 – Slepý půdorys 2NP [1]



Obr. č. 4 – Slepý půdorys 3NP [1]



Obr. č. 5 – Slepý půdorys 4NP [1]



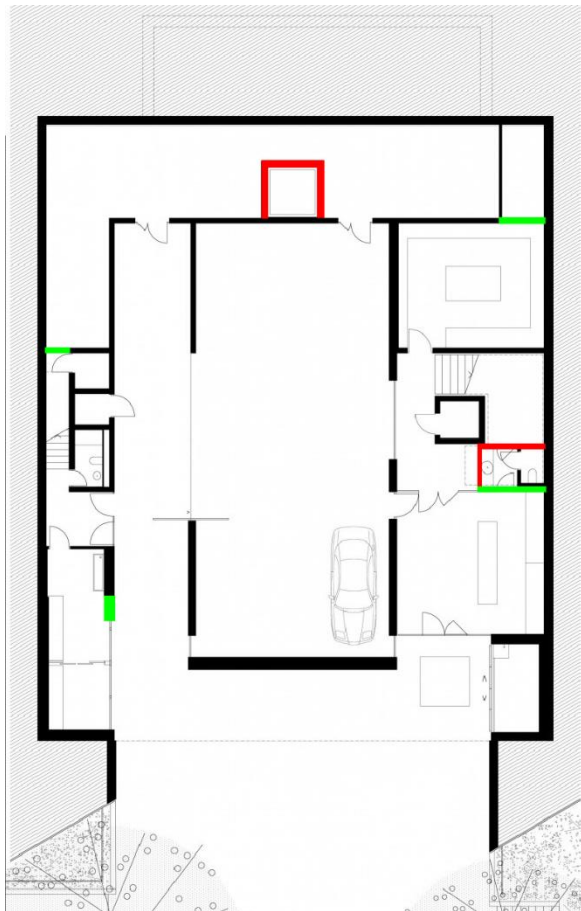
Obr. č. 6 – Slepý řez objektem [1]

2.2 ÚPRAVY SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ

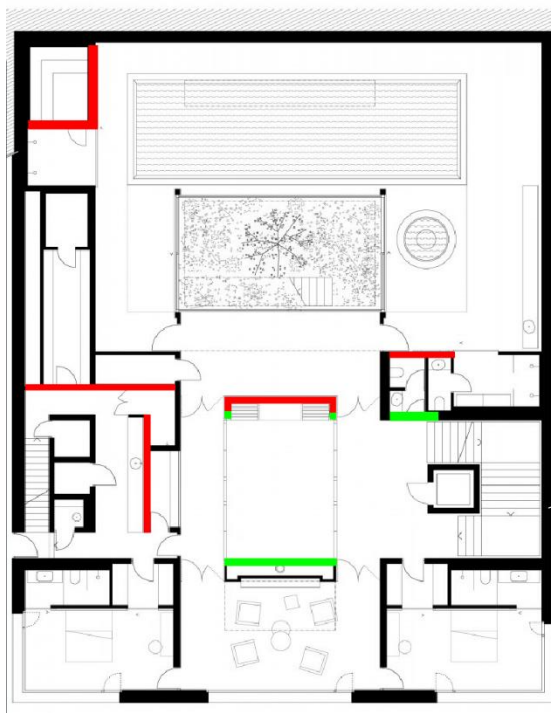
Některé konstrukce objektu byly upraveny z důvodu zjednodušení konstrukce, oddělení vytápěných a nevytápěných prostor (konkrétně v 1PP) nebo vytvoření lepších návazností konstrukcí a přenosu sil v konstrukci.

Tence zakreslené konstrukce v původních schématech uvažují jako příčky.

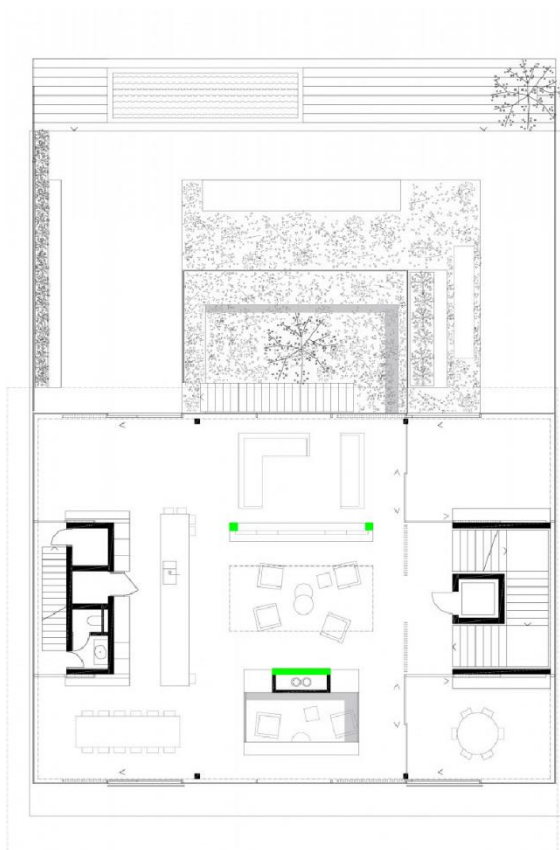
Červeně zakreslené jsou nosné konstrukce, které odstraňují. Zeleně zakreslené konstrukce jsou nově navržené.



Obr. č. 7 – Úpravy svislých konstrukcí v 1PP

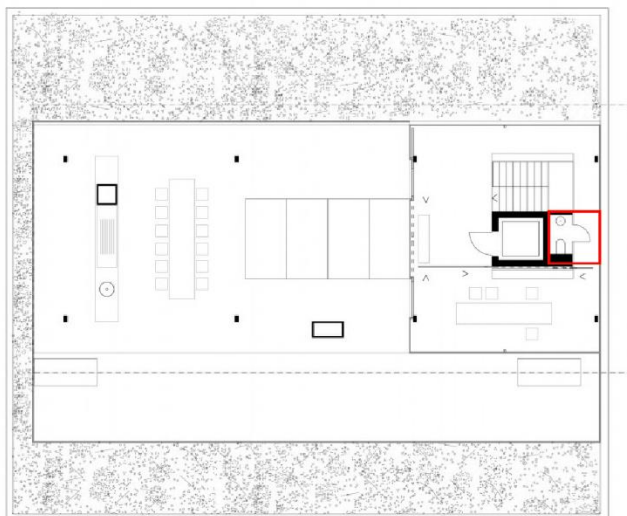


Obr. č. 8 – Úpravy svislých konstrukcí v 1NP



Obr. č. 9 – Úpravy svislých konstrukcí v 2NP

Ve 4NP je odsraněn celý prostor toalety – tímto prostorem povede schodišťové rameno z 3NP.



Obr. č. 10 – Úpravy svislých konstrukcí v 4NP

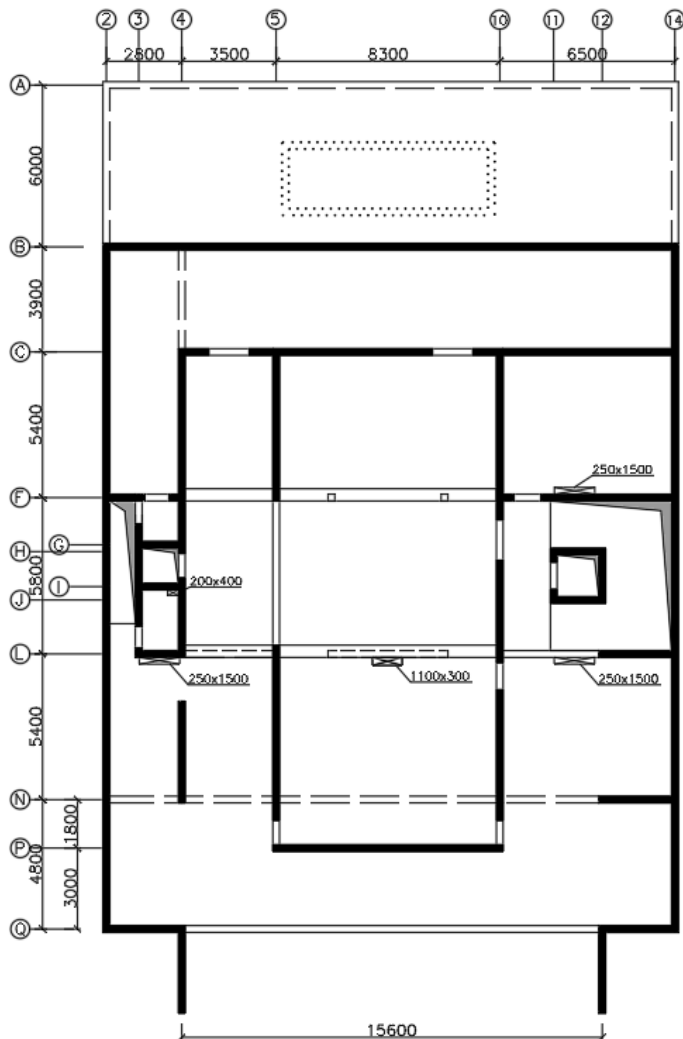
2.3 KONSTRUKČNÍ SCHÉMATA

Půdorysná schémata výkresu tvaru jednotlivých podlaží (svislé nosné konstrukce daného podlaží a vodorovné konstrukce nad daným podlažím).

konstrukční výška podlaží: 3,3m
schodiště: trojramenné prefabrikované železobetonové a jednoramenné ze dřeva

Konstrukční schéma 1.PP:

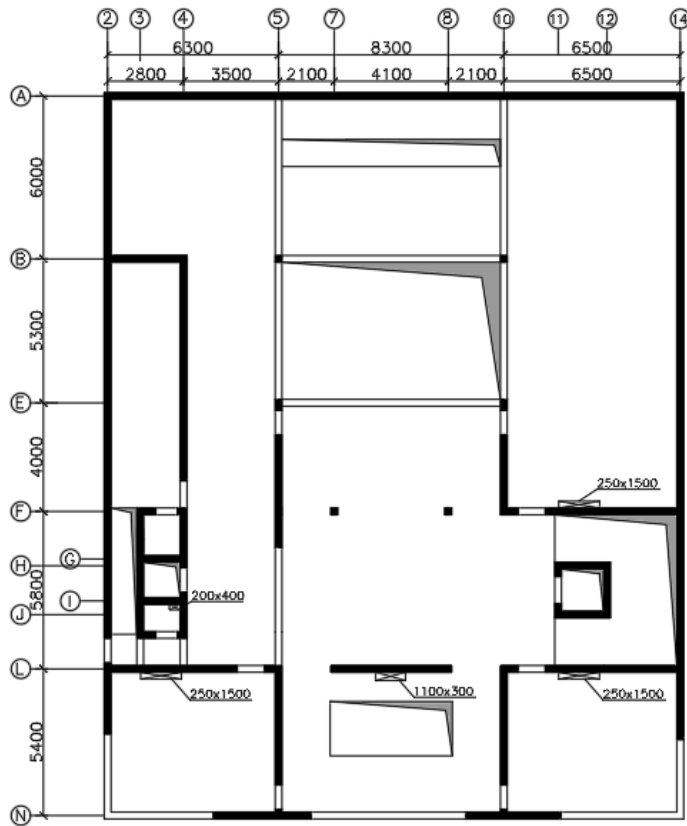
účel využití podlaží: vstup do objektu, garáže, technické zázemí
svislé nosné konstrukce: ŽB monolitické stěny
vodorovné nosné konstrukce: ŽB monolitická deska a nosníky



Obr. č. 11 – Schéma výkresu tvaru 1NP

Konstrukční schéma 1.NP:

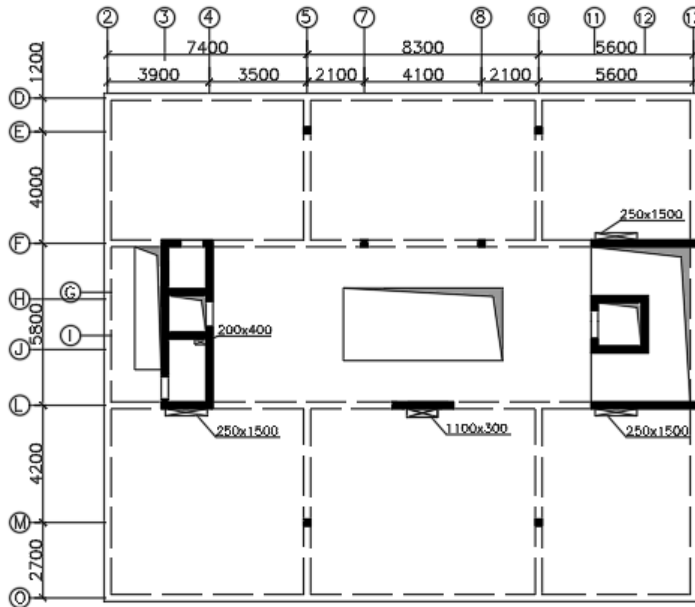
účel využití podlaží:	bazén, obytné prostory
svislé nosné konstrukce:	ŽB monolitické stěny a sloupy
vodorovné nosné konstrukce:	ŽB monolitická deska a nosníky



Obr. č. 12 – Schéma výkresu tvaru 2NP

Konstrukční schéma 2.NP:

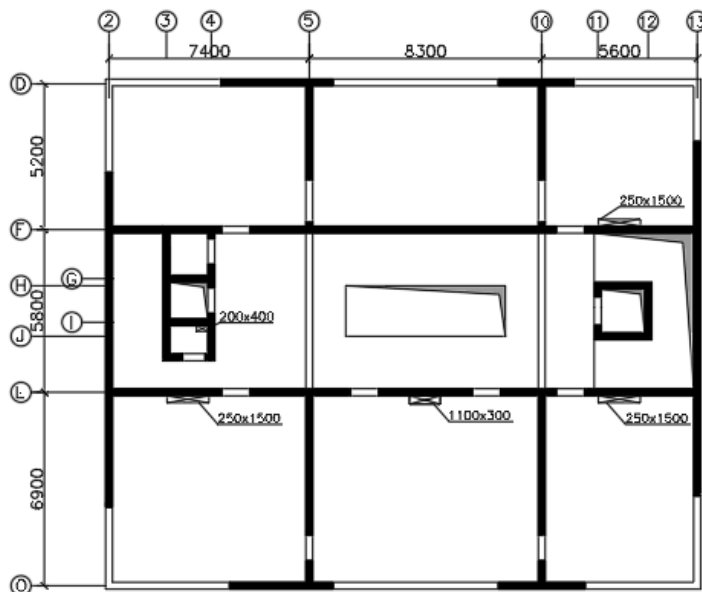
účel využití podlaží: společné obytné prostory
svislé nosné konstrukce: ŽB monolitické sloupy + stěnová jádra
vodorovné nosné konstrukce: ŽB monolitická deska



Obr. č. 13 – Schéma výkresu tvaru 3NP

Konstrukční schéma 3.NP:

účel využití podlaží: obytné prostory
svislé nosné konstrukce: ŽB monolitické stěny
vodorovné nosné konstrukce: ŽB monolitická deska



Obr. č. 14 – Schéma výkresu tvaru 4NP

Konstrukční schéma 4.NP:

účel využití podlaží:

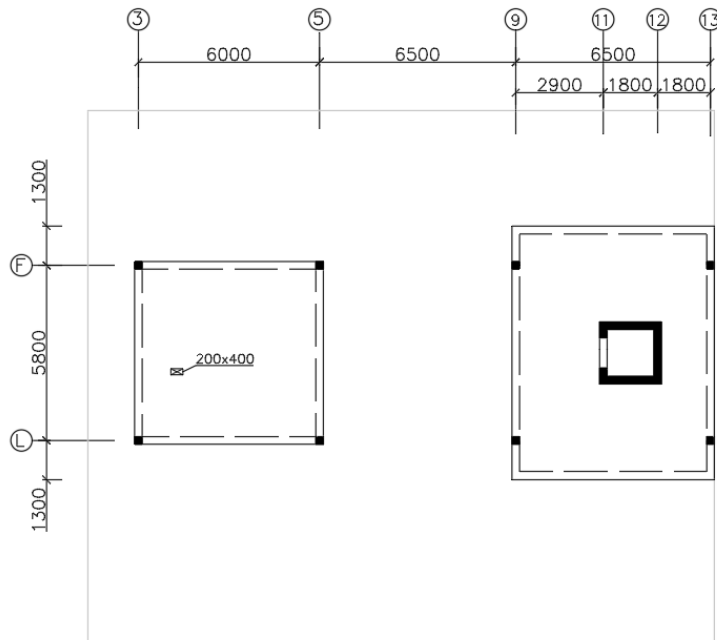
společné obytné prostory, terasa

vislé nosné konstrukce:

monolitické sloupy + stěnové jádro

vodorovné nosné konstrukce:

2x ŽB monolitická deska



Obr. č. 15 – Schéma výkresu tvaru střechy

2.4 POUŽITÉ MATERIÁLY

beton: C30/37 XC2, XF1-CI 0,2-D_{max} 22-S4

(suterénní stěny, základy)

C30/37 XC3-CI 0,2-D_{max} 22-S4

(obvodové stěny)

C30/37 XC1-CI 0,2-D_{max} 22-S3

(ostatní nosné konstrukce)

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

$$\gamma_m = 1,5$$

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

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

ocel: B500B

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

$$\gamma_m = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

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

2.5 KRYTÍ VÝZTUŽE

Krytí z hlediska třídy konstrukce a vlivu prostředí:

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

(pro beton C30/37, životnost 50 let, konstrukční třída S3, prostředí XC1)

Krytí z hlediska vyztužení:

$$c_{min,b} = \text{průměr prutu}$$

(stanoveno v jednotlivých výpočtech, uvažuji minimálně 10 mm)

Minimální krytí:

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

$$c_{dur,y}; \Delta c_{dur,st}; \Delta c_{dur,add} \quad \dots\text{uvažováno jako nulové}$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; 10; 10 \text{ mm}) = c_{min,b} \text{ (průměr prutu)}$$

Přídavek pro návrhovou odchylku:

$$\Delta c_{dev} = (5; 10) \text{ mm}$$

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

(stanoveno pro monolitické konstrukce)

Výsledná nominální tloušťka krycí vrstvy:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = \text{průměr prutu výztuže} + 10 \text{ mm}$$

3. PŘEHLED ZATÍŽENÍ

3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ

3.1.1 Nosné konstrukce

Viz kapitola 4. Předběžný návrh a posouzení nosných prvků

3.1.2 Podlahy

Tab. č. 1 - Podlaha P1 – POKOJE, SPOLEČNÉ PROSTORY, CHODBY

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	dřevěná podlaha	14	760	0,11	1,35	0,14
2	mirelon	3	-	-		-
3	anhydridový potěr	53	2200	1,17		1,57
4	systémová deska podlahového vytápění	20	2200	0,44		0,59
5	kročejová izolace Isover T-P	30	150	0,05		0,06
		Σ 120		1,76		2,37

Tab. č. 2 - Podlaha P2 – KUCHYNĚ, CHODBY, KOMORY

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	keramická dlažba + lepidlo	15	2200	0,33	1,35	0,45
2	anhydridový potěr	55	2200	1,21		1,63
3	systémová deska podlahového vytápění	20	2200	0,44		0,59
4	kročejová izolace Isover T-P	30	150	0,05		0,06
		Σ 120		2,03		2,73

Tab. č. 3 - Podlaha P3 – KOUPELNY, WC

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	keramická dlažba + lepidlo	15	2200	0,33	1,35	0,45
2	hydroizolační stěrka Baumit Baumacol	5	-	-		-
3	cementový potěr	50	2100	1,05		1,42
4	systémová deska podlahového vytápění	20	2100	0,42		0,57
5	kročejová izolace Isover T-P	30	150	0,05		0,06
		Σ 120		1,85		2,49

Tab. č. 4 - Podlaha P4 – PODLAHA K NEVYTÁPĚNĚMU PROSTORU 1

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	keramická dlažba + lepidlo	15	2200	0,33	1,35	0,45
2	anhydridový potěr	55	2200	1,21		1,63
3	systémová deska podlahového vytápění	20	2200	0,44		0,59
4	kročejová izolace Isover T-P	30	150	0,05		0,06
-	ŽB nosná konstrukce	-	-	-		-
5	lepící malta Baumit DuoContact	20	-	-		-
6	tepelná izolace Isover TOP V	230	65	0,15		0,20
		Σ 370		2,17		2,94

Tab. č. 5 - Podlaha P5 – PODLAHA K NEVYTÁPĚNĚMU PROSTORU 2

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	dřevěná podlaha	14	760	0,11	1,35	0,14
2	mirelon	3	-	-		-
3	anhydridový potěr	53	2200	1,17		1,57
4	systémová deska podlahového vytápění	20	2200	0,44		0,59
5	kročejová izolace Isover T-P	30	150	0,05		0,06
6	ŽB nosná konstrukce	-	-	-		-
7	lepící malta Baumit DuoContact	20	-	-		-
8	tepelná izolace Isover TOP V	230	65	0,15		0,20
		Σ 370		1,91		2,57

Tab. č. 6 - Podlaha P6 - SCHODIŠTĚ

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	dřevěná podlaha	14	760	0,11	1,35	0,14
2	nízkoroztažná montážní pěna	11	-	-		-
		Σ 25		0,11		0,14

Tab. č. 7 - Podlaha P7 – MEZIPODESTY

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	dřevěná podlaha	14	760	0,11	1,35	0,14
2	mirelon	3	-	-		-
3	anhydridový potěr	58	2200	1,28		1,72
		Σ 75		1,38		1,87

3.1.3 Střešní plášť

Tab. č. 8 - Střecha plochá, jednoplášťová SP1 – ZELENÁ STŘECHA

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	substrát + osev	142	2100	2,98	1,35	4,03
2	geotextilie Filtek 200	2	-	0,002		0,00
3	hydroakum. vrstva Dekdren T20 Garden	20	-	0,01		0,01
4	drenážní rohož Dekdren P900	6	-	0,01		0,01
5	separační textilie Filtek 300	2	-	-		-
6	hydroizolace Dorr Gardentop	5,2	1200	0,06		0,08
7	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
8	tepelná izolace Isover EPS 200S, ve spádu	250	30	0,08		0,10
9	parozábrana Foalbit Al S40	4	976	0,04		0,05
Σ		435		3,23		4,36

Tab. č. 9 - Střecha plochá, jednoplášťová SP2 – TERASA

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	terasová dřevěná prkna Thermowood	26	400	0,10	1,35	0,14
2	dřevěné hranoly (podepření po 500mm)	40	750	0,30		0,41
3	rektifikační terče + podložky	104	-	-		-
4	separační textilie Filtek 300	2	-	-		-
5	hydroizolace Dorr Gardentop	5,2	1200	0,06		0,08
6	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
7	tepelná izolace Isover EPS 200, ve spádu	250	30	0,08		0,10
8	parozábrana Foalbit Al S40	4	976	0,04		0,05
Σ		435		0,63		0,85

Tab. č. 10 - Střecha plochá, jednoplášťová SP3 – NEPOCHOZÍ

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	hydroizolace Elastodek 40 Medium Dekor	4	1200	0,05	1,35	0,06
2	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
3	tepelná izolace Isover EPS 200, ve spádu	250	30	0,08		0,10
4	parozábrana Foalbit Al S40	4	976	0,04		0,05
Σ		262		0,21		0,28

Tab. č. 11 - Střecha plochá, jednoplášťová SP4 – NAD NEVYTÁPĚNÝM PROSTOREM

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	hydroizolace Elastodek 40 Medium Dekor	4	1200	0,05	1,35	0,06
2	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
3	silikátová spádová vrstva (40-155mm)	98	2100	2,06		2,78
Σ		106		2,15		2,91

Tab. č. 12 - Střecha plochá, dvouplášťová SP5 – NAD BAZÉNEM

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	terasová dřevěná prkna Thermowood	26	400	0,10	1,35	0,14
2	dřevěné hranoly (podepření po 500mm)	40	750	0,30		0,41
3	rektifikační terče + podložky	100	-	-		-
4	separační textilie Filtek 300	2	-	0,003		0,00
5	hydroizolace Dorr Gardentop	5,2	1200	0,06		0,08
6	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
7	betonová deska s armovací sítí	50	-	2,46		3,32
8	tvárovky ztraceného bednění Guttadytek H10	150	-			
9	separační textilie Filtek 300	2	-	-		-
10	tepelná izolace Isover XPS Synthos	250	35	0,09		0,12
		Σ 630		3,06		4,14

Tab. č. 13 - Střecha plochá, jednoplášťová SP6 – ZELENÁ NAD NEVYTÁPĚNÝM PROSTOREM

	POPIS	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	y_f	g_d [kN/m ²]
1	substrát + osev	157	2100	3,30	1,35	4,45
2	geotextilie Filtek 200	2	-	-		-
3	hydroakum. vrstva Dekdren T20 Garden	20	-	0,01		0,01
4	drenážní rohož Dekdren P900	6	-	0,01		0,01
5	separační textilie Filtek 300	2	-	-		-
6	hydroizolace Dorr Gardentop	5,2	1200	0,06		0,08
7	hydroizolace Elastodek 40 Medium Mineral	4	1200	0,05		0,06
8	tepelná izolace Isover EPS 200S, ve spádu	100	30	0,03		0,04
9	parozábrana Foalbit Al S40	4	976	0,04		0,05
10	silikátová spádová vrstva (40-160 mm)	100	2100	2,10		2,84
		Σ 400		5,60		7,55

3.1.4 Obvodový plášť

Nosnou vrstvu obvodového pláště objektu tvoří železobetonové stěny – zatížení viz předběžný návrh prvků.

Na horní stavbě objektu je použit kontaktní zateplovací systém s minerální tepelnou izolací Isover Topsis tl. 200 mm. Vrchní stavba je dále opatřena kamenným obkladem Stonegallery SG-Q10 o hmotnosti 26 kg/m².

Na spodní stavbu je použit extrudovaný polystyren Synthos XPS Prime tl. 200 mm.

Vlastní tíha tepelné izolace:

$$g_{MTI,k} = \frac{\rho \cdot t}{100} = \frac{60 \cdot 0,2}{100} = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{XPS,k} = \frac{\rho \cdot t}{100} = \frac{35 \cdot 0,2}{100} = 0,07 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{MTI,d} = g_{MTI,k} \cdot \gamma_f = 0,12 \cdot 1,35 = 0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{XPS,d} = g_{XPS,k} \cdot \gamma_f = 0,07 \cdot 1,35 = 0,09 \text{ kN/m}^2$$

Vlastní tíha obkladu:

$$g_{OBK,k} = \frac{m}{100} = \frac{26}{100} = 0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{OBK,d} = g_{OBK,k} \cdot \gamma_f = 0,26 \cdot 1,35 = 0,35 \text{ kN/m}^2$$

3.1.5 Podhledy

Podhledy jsou téměř ve všech prostorách, kromě technického zázemí objektu. V podhledech jsou vedeny instalace TZB.

Tab .č. 14 – Použité SDK desky

POPIS	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
Rigips Xtensiv Base 33 ActivAir	10,5	0,11	1,35	0,14
Rigips Glasroc H – v prostorech se zvýšenou vlhkostí	10,5	0,11	1,35	0,14

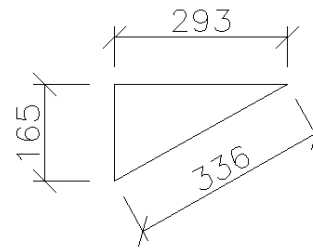
3.1.6 Schodišťové stupně

Výpočet parametrů schodiště viz 4.4.1.

Náhradní spojité zatížení od schodišťových stupňů:

$$g_k = \frac{1}{2} 0,165 \cdot 25 = 2,06 \text{ kN/m}^2$$

$$g_d = g_k \cdot \gamma_f = 2,06 \cdot 1,35 = 2,78 \text{ kN/m}^2$$



Obr. č. 16 – Skica schodišťového stupně

3.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

3.2.1 Příčky

Prostory jsou odděleny skleněnými příčkami a SDK příčkami (v nich jsou vedeny některé instalace TZB). Příčky uvažuji jako přemístitelné.

Tab. č. 15 – Skladba příček

	POPIS	TL. [mm]	VÝŠKA [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m']	γ_f	q_d [kN/m']
1	Baumit sádrová omítka - Ratio Slim	8	-	-	-	1,5	-
2	Desky Rigips Glasroc H	12,5	3080	856	0,33		0,49
3	Isover Piano	100	3080	15	0,05		0,07
4	Desky Rigips Glasroc H	12,5	3080	856	0,33		0,49
5	Baumit sádrová omítka - Ratio Slim	8	-	-	-		-
	Σ	131			0,71		1,05

Délka příček v místě jejich největší koncentrace:

$$L_p = 8,7 \text{ m}$$

$$A = 5,4 \cdot 6,7 = 34,03 \text{ mm}^2$$

$$\frac{8,7}{34,03} = 0,26 \text{ m/m}^2$$

Přepočítání na náhradní rovnoměrné zatížení:

$$q_k = 0,71 \cdot 0,26 = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = q_k \cdot \gamma_f = 0,18 \cdot 1,5 = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

Ekvivalentní rovnoměrné zatížení q_k dle ČSN EN 1991-1-1:

Přemístitelné příčky o vlastní tíze ≤ 1 kN/m délky příčky:

$$q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$
$$q_d = q_k \cdot \gamma_f = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení od příček uvažují jako náhradní rovnoměrné zatížení.

$$q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$
$$q_d = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

3.2.2 Užitná zatížení

1PP - parkovací plochy pro lehká vozidla - kategorie F:

$$q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

1-4NP - bytová část objektu - kategorie A:

Stropní konstrukce: $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Schodiště: $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$

Nepřístupná střecha s výjimkou běžné údržby a oprav – kategorie H:

$$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

Přístupné střechy - v souladu s kategorií A až D – kategorie I:

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Schodiště – kategorie A:

$$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

Užitné zatížení na terénu:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

3.2.3 Zatížení sněhem

Plochá střecha:	$\alpha < 30^\circ$
Tvarový součinitel:	$\mu = 0,8$
Součinitel expozice:	$C_e = 0,8$
Součinitel tepla:	$C_t = 1$
Sněhová oblast pro Prahu:	I

Charakteristické zatížení sněhem:

$$s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

Průměrné zatížení sněhem:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota proměnného zatížení střechy bude uvažována jako větší z hodnot:

užitné zatížení střechy: $0,75 \text{ kN/m}^2; 1,5 \text{ kN/m}^2$

zatížení sněhem: $0,45 \text{ kN/m}^2$

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ STŘECHY DLE 3.2.2 (ZATÍŽENÍ SNĚHEM NEUVAŽUJI).

3.2.4 Zatížení větrem

Větrná oblast pro Prahu:	I
Kategorie terénu:	III (plocha rovnoměrně pokrytá vegetací, budovami a překážkami)

Základní rychlost větru:

$$v_b = 22,5 \text{ m/s}$$

Základní tlak větru:

$$q_b = \frac{\rho \cdot v_b^2}{2} = \frac{1,25 \cdot 22,5^2}{2} 10^{-3} = 0,32 \text{ kPa}$$

Výška atiky nad terénem:

$$h = z = 5 \cdot 3,3 \cdot 0,6 = 17,1 \text{ m}$$

Součinitel expozice:

$$c_e(z) = 2,05 \quad (\text{viz obr. č. 17})$$

Max. dynamický tlak:

$$q_p = c_e(z) \cdot q_b = 2,05 \cdot 0,32 = 0,66 \text{ kPa}$$

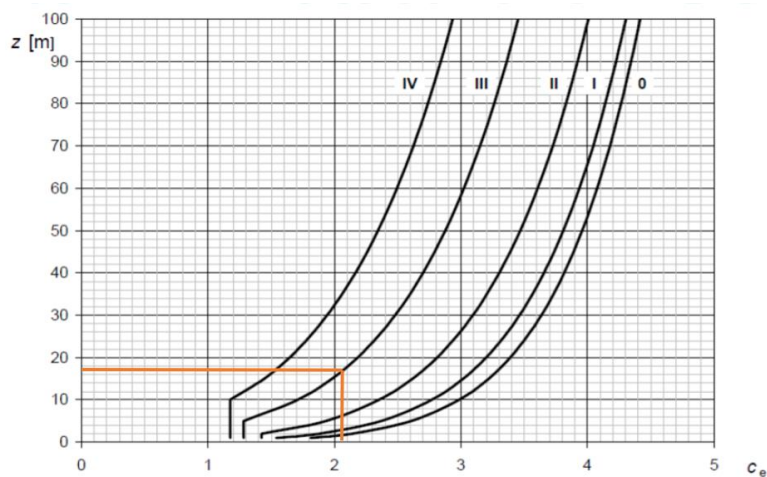
Součinitel vnějšího tlaku:

Rozhodující pozici má tlak větru na návětrné straně (oblast D) a sání na závětrné straně (oblast E). Použitý součinitel větru uvažuji jako součet těchto hodnot.

$$c_{pe} = D + E = 0,8 + 0,5 = 1,3$$

Charakteristická hodnota zatížení větrem:

$$w_k = q_p \cdot c_{pe} = 0,66 \cdot 1,3 = 0,9 \text{ kN/m}^2$$



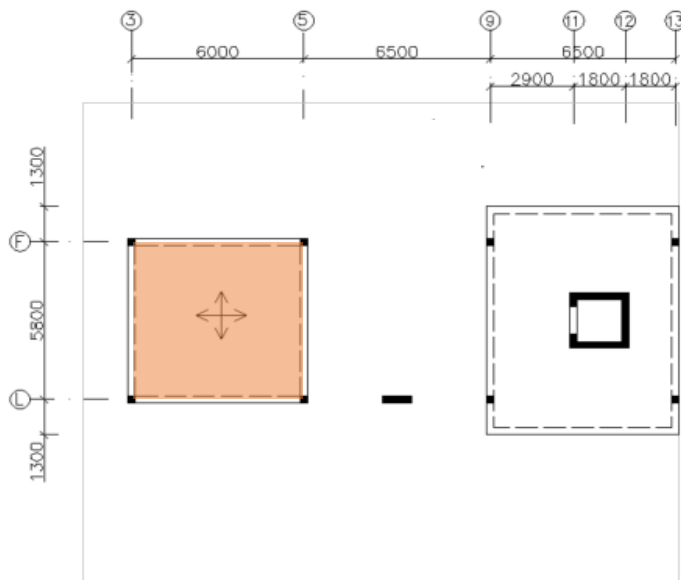
Obr. č. 17 – Graf – součinitel expozice [4]

4. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH A POSOUZENÍ NOSNÝCH PRVKŮ

4.1 STROPNÍ DESKA

Stropní desky budou provedeny v celém objektu jako monolitické, železobetonové.

4.1.1 D1 – deska nad 4NP – po obvodně podepřená deska



Obr. č. 18 – Řešená deska - D1

Empirický návrh tloušťky stropní desky D1:

$$h_d \geq 1,1 \frac{L_1 + L_2}{75} = 1,1 \frac{5,8 + 6}{75} = 173 \text{ mm}$$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$d \geq \frac{L_{min}}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad 1,2} \right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 20,5 \quad (\text{prostý nosník, C30/37, předpoklad } \rho \leq 0,5\%)$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 20,5 = 24,60$$

$$\frac{L_{min}}{\lambda_d} = \frac{5800}{24,60} = 236$$

$$\varnothing = 10 \text{ mm} \quad (\text{odhad})$$

$$h_d = d + \frac{\varnothing}{2} + c = 236 + \frac{10}{2} + (10 + 10) = 260 \text{ mm}$$

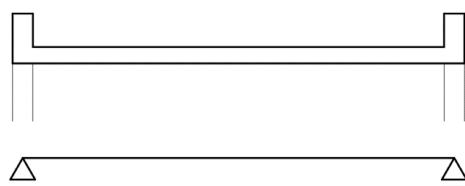
Jelikož je deska křížem pnutá, tedy příznivě staticky působí, volím tloušťku desky 220 mm. Průhyb desky bude dále předběžně ověřen v části 5.2.

Návrh: $h_d = 220 \text{ mm}$

Max. návrhový moment desky D1 – proužková metoda:

Tab. č. 16 – Zatížení na desku D1

D1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	střešní plášť SP4 (viz 2.1.3)	-	-	2,15	1,35	2,90
2	ŽB nosná konstrukce	220	2500	5,50		7,43
CELKEM				7,65		10,33
D1	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	γ_f	q_d [kN/m ²]
3	proměnná zatížení - kategorie H	-	-	0,75	1,5	1,13
CELKEM				0,75		1,13
Σ				8,40		11,45



Obr. č. 19 – Orientační řez a statické schéma desky 1D

$$l_x = 6000 \text{ mm}$$

$$l_y = 5800 \text{ mm}$$

$$f = f_x + f_y$$

$$w_x = w_y$$

$$k \frac{f_x \cdot l_x^4}{EI} = k \frac{f_y \cdot l_y^4}{EI}$$

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{l_x^4}{l_y^4}$$

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{6^4}{5,8^4} \rightarrow f_y = 1,145 f_x$$

$$f_d = f_x + 1,145 f_x$$

$$11,45 = 2,145 f_x$$

$$f_x = 5,34 \text{ kN/m}^2$$

$$f_y = 6,11 \text{ kN/m}^2$$

$$M_x = \frac{1}{8} f_x \cdot l_x^2 = \frac{1}{8} 5,34 \cdot 6^2 = 24,03 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{1}{8} f_y \cdot l_y^2 = \frac{1}{8} 6,11 \cdot 5,8^2 = 25,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 25,69 \text{ kNm}$$

Ověření desky D1 z hlediska únosnosti v ohybu, poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení:

Tab .č. 17 – Ověření desky D1

h [mm]	b [mm]	d [mm]	$M_{Ed,max}$ [kNm/m]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
220	1000	195	25,69	20	435	0,034	0,043	308	0,16

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

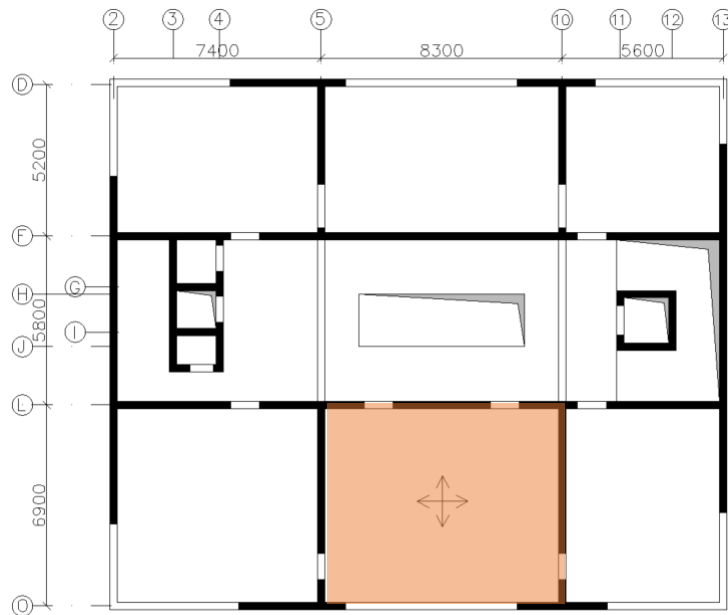
$$\xi < \xi_{opt} = 0,1 - 0,15$$

... VYHOVUJE

$$\rho \approx 0,5\%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

4.1.2 D2 – deska 4NP – po obvodně podepřená



Obr. č. 20 – Řešená deska – D2

Empirický návrh tloušťky stropní desky D2:

$$h_d \geq 1,1 \frac{L_1 + L_2}{75} = 1,1 \frac{6,9 + 8,3}{75} = 223 \text{ mm}$$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$d \geq \frac{L_{min}}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad 1,2} \right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 26 \quad (\text{krajní pole, C30/37, předpoklad } \rho \leq 0,5\%)$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 26 = 31,2$$

$$\frac{L_{min}}{\lambda_d} = \frac{6900}{31,2} = 221 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm} \quad (\text{odhad})$$

$$h_d = d + \frac{\varnothing}{2} + c = 221 + \frac{10}{2} + (10 + 10) = 246 \text{ mm}$$

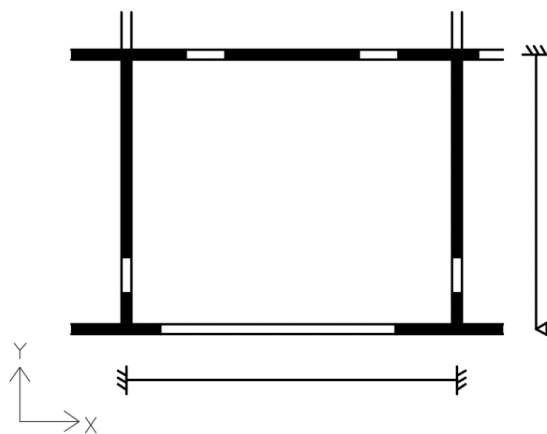
Návrh: $h_d = 220 \text{ mm}$

Průhyb desky bude předběžně ověřen v části 5.2.

Max. návrhový moment desky D2 – proužková metoda:

Tab. č. 18 – Zatížení na desku D2

D2	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	střešní plášť SP1 (viz 2.1.3)	-	-	3,23	1,35	4,36
2	ŽB nosná konstrukce	220	2500	5,50		7,43
3	podhled (viz 2.1.2)	-	-	0,11		0,15
CELKEM				8,84		11,93
D2	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	γ_f	q_d [kN/m ²]
4	proměnná zatížení - kategorie I	-	-	1,50	1,5	2,25
CELKEM				1,50		2,25
Σ				10,34		14,18



Obr. č. 21 – Pomocné schéma desky 2D

$$l_x = 8300 \text{ mm}$$

$$l_y = 6900 \text{ mm}$$

$$f = f_x + f_y$$

$$w_x = w_y$$

$$k_x \frac{f_x \cdot l_x^4}{EI} = k_y \frac{f_y \cdot l_y^4}{EI}$$

$$\frac{1}{384} \frac{f_x \cdot l_x^4}{EI} = \frac{2}{384} \frac{f_y \cdot l_y^4}{EI}$$

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{l_x^4}{2l_y^4}$$

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{8,3^4}{2 \cdot 6,9^4} \rightarrow f_y = 1,047 f_x$$

$$f_d = f_x + 1,047 f_x$$

$$14,18 = 2,047 f_x$$

$$f_x = 6,92 \text{ kN/m}^2$$

$$f_y = 7,25 \text{ kN/m}^2$$

$$M_x = \frac{1}{12} f_x \cdot l_x^2 = \frac{1}{12} 6,92 \cdot 8,3^2 = 39,73 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{1}{8} f_y \cdot l_y^2 = \frac{1}{8} 7,25 \cdot 6,9^2 = 43,15 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_{Ed,max} = 43,15 \text{ kNm}}$$

Ověření desky D2 z hlediska únosnosti v ohybu, poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení:

Tab .č. 19 – Ověření desky D2

h [mm]	b [mm]	d [mm]	$M_{Ed,max}$ [kNm/m]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
220	1000	195	43,15	20	435	0,057	0,073	524	0,27

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

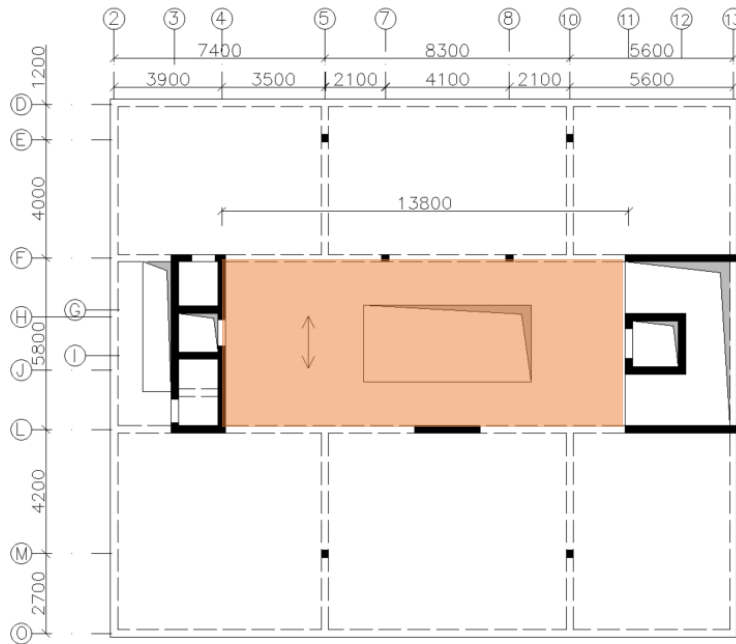
$$\xi < \xi_{opt} = 0,1 - 0,15$$

$$\rho \approx 0,5\%$$

... VYHOVUJE

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

4.1.3 D3 - deska 3NP – jednosměrně pnutá deska



Obr. č. 22 – Řešená deska – D3

Empirický návrh tloušťky stropní desky D3:

$$h_d \geq \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{25} \right) L_{min} = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{25} \right) 5800 = 193 - 223 \text{ mm}$$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$d \geq \frac{L_{min}}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2 \right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 30,8 \quad (\text{vnitřní pole, C30/37, předpoklad } \rho \leq 0,5\%)$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 30,8 = 36,96$$

$$\frac{L_{min}}{\lambda_d} = \frac{5800}{36,96} = 157 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 10 \text{ mm} \quad (\text{odhad})$$

$$h_d = d + \frac{\varnothing}{2} + c = 157 + \frac{10}{2} + (10 + 10) = 182 \text{ mm}$$

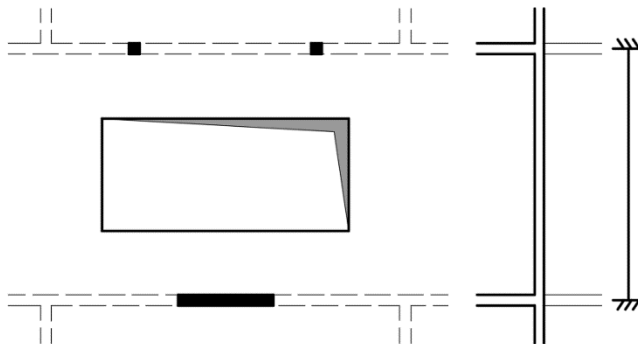
Návrh: $h_d = 220 \text{ mm}$

Max. návrhový moment desky D3 :

Tab. č. 20 – Zatížení na desku D3

D3	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	podlaha P2 (viz 2.1.2)	-	-	2,03	1,35	2,74
2	ŽB nosná konstrukce	220	2500	5,50		7,43
3	podhled (viz 2.1.2)	-	-	0,11		0,15
CELKEM				7,64		10,31
D3	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	γ_f	q_d [kN/m ²]
4	příčky (viz 2.2.1)	-	-	0,50	1,5	0,75
5	proměnná zatížení - kategorie A	-	-	1,50		2,25
CELKEM				2,00		3,00
Σ				9,64		13,31

Desku pro účel předběžného výpočtu uvažuji bez otvoru.



Obr. č. 23 – Pomocné schéma desky D3

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{12} f_d \cdot L^2 = \frac{1}{12} 13,31 \cdot 5,8^2 = 37,31 \text{ kNm}$$

Ověření desky D3 z hlediska únosnosti v ohybu, poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení:

Tab .č. 21 – Ověření desky D3

h [mm]	b [mm]	d [mm]	$M_{Ed,max}$ [kNm/m]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
220	1000	195	37,31	20	435	0,049	0,063	452	0,23

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

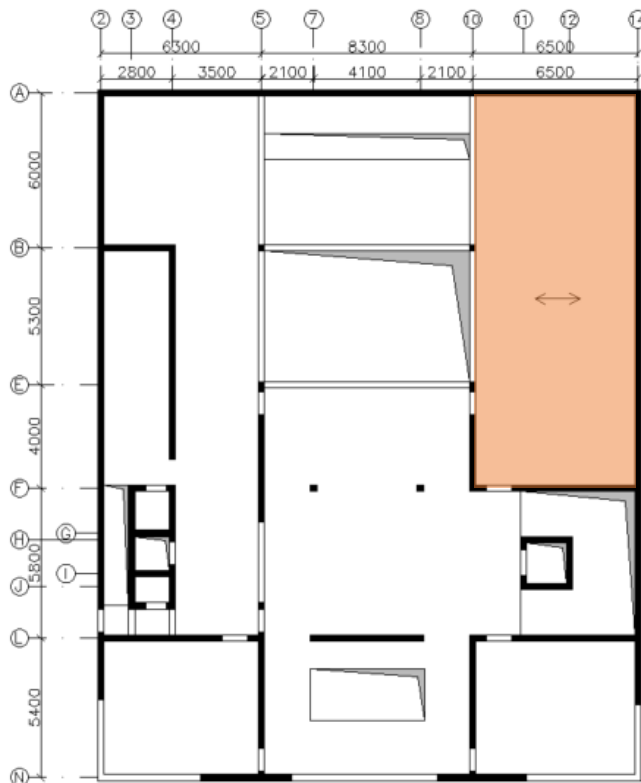
$$\xi < \xi_{opt} = 0,1 - 0,15$$

... VYHOVUJE

$$\rho \approx 0,5\%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

4.1.4 D4 - deska 2NP – jednosměrně pnutá deska



Obr. č. 24 – Řešená deska – D4

Empirický návrh tloušťky stropní desky D4:

$$h_d \geq \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{25}\right) L_{min} = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{25}\right) 6\,500 = 217 - 260 \text{ mm}$$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$d \geq \frac{L_{min}}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2\right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 26 \quad (\text{krajní pole, C30/37, předpoklad } \rho \leq 0,5\%)$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 26 = 31,20$$

$$\frac{L_{min}}{\lambda_d} = \frac{6500}{31,20} = 208 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm} \quad (\text{odhad})$$

$$h_d = d + \frac{\emptyset}{2} + c = 208 + \frac{10}{2} + (10 + 10) = 233 \text{ mm}$$

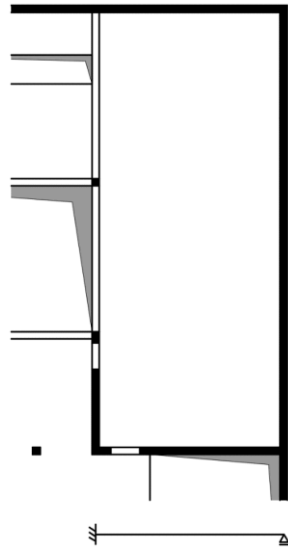
Návrh: $h_d = 220 \text{ mm}$

Průhyb desky bude předběžně ověřen v části 5.2.

Max. návrhový moment desky D4:

Tab. č. 22 – Zatížení na desku D4

D4	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_f	g_d [kN/m ²]
1	střešní plášť SP5 (viz 2.1.3)	-	-	6,02	1,35	8,13
2	ŽB nosná konstrukce	220	2500	5,50		7,43
3	podhled (viz 2.1.2)	-	-	0,11		0,15
CELKEM				11,63		15,70
D4	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	γ_f	q_d [kN/m ²]
5	proměnná zatížení - kategorie I	-	-	1,5	1,5	2,25
CELKEM				1,5		2,25
Σ				13,13		17,95



Obr. č. 25 – Pomocné schéma desky 4D

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{12} f_d \cdot L^2 = \frac{1}{12} 17,95 \cdot 6,5^2 = 63,20 \text{ kNm}$$

Ověření desky D4 z hlediska únosnosti v ohybu, poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení:

Tab .č. 23 – Ověření desky D4

h [mm]	b [mm]	d [mm]	$M_{Ed,max}$ [kNm/m]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
220	1000	195	63,20	20	435	0,083	0,108	775	0,40

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

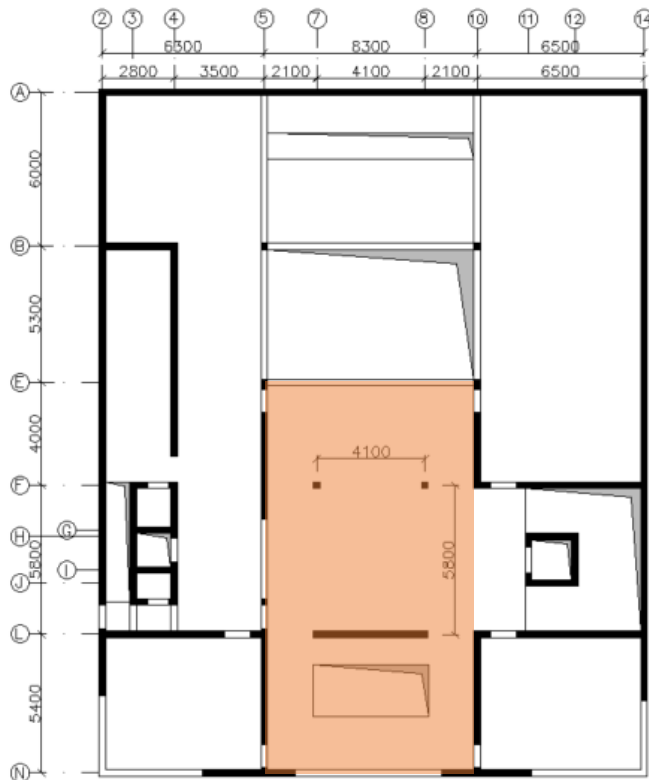
$$\xi < \xi_{opt} = 0,1 - 0,15$$

... VYHOVUJE

$$\rho \approx 0,5\%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

4.1.5 D5 - deska 2NP – lokálně podepřená deska



Obr. č. 26 – Řešená deska – 5D

Empirický návrh tloušťky stropní desky D5:

$$h_d \geq \frac{1}{33} L_{max} = \frac{1}{33} 5800 = 176 \text{ mm}$$

Návrh na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti desky:

$$d \geq \frac{L_{min}}{\lambda_d}$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2 \right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 24,6 \quad (\text{lokálně podepřená deska, C30/37, předpoklad } \rho \leq 0,5\%)$$

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 24,6 = 29,52$$

$$\frac{L_{min}}{\lambda_d} = \frac{6800}{29,52} = 196 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 10 \text{ mm} \quad (\text{odhad})$$

$$h_d = d + \frac{\varnothing}{2} + c = 196 + \frac{10}{2} + (10 + 10) = 221 \text{ mm}$$

Návrh: $h_d = 220 \text{ mm}$

Zatížení na desku:

$$\begin{aligned} \text{viz deska D2} \rightarrow f_k &= 9,64 \text{ kN/m}^2 \\ f_d &= 13,31 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Max. návrhový moment desky D5 – maximální součtový moment:
(rozměry viz Obr. č. 26)

Šířka pruhu:

$$b = \frac{4,1 + 2,1}{2} = 3,1 \text{ m}$$

Světlý rozpon pole:

$$l_n = 5,8 - 0,25 = 5,55 \text{ m}$$

Šířka sloupového pruhu:

$$b_{sloup} = \frac{4,1 + 2,1}{4} = 1,55 \text{ m}$$

Součinitel – vnitřní podpora, sloupový pruh:

$$\gamma = 0,65$$

Součinitel – pro záporný moment ve střeně podpoře:

$$\omega = 0,75$$

$$M_{tot} = \frac{1}{8} f_d \cdot b \cdot l_n^2 = \frac{1}{8} 13,31 \cdot 3,1 \cdot 5,55^2 = 158,87 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{M_{tot} \cdot \gamma \cdot \omega}{b_{sloup}} = \frac{158,87 \cdot 0,65 \cdot 0,75}{1,55} = 49,97 \text{ kNm}$$

Ověření desky D5 z hlediska únosnosti v ohybu, poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení:

Tab. č. 24 – Ověření desky D5

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M _{Ed} [kNm/m]	f _{cd} [MPa]	f _{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	A _{s,rqd} [mm ²]	ρ [%]
220	1000	195	49,97	20	435	0,066	0,085	610	0,31

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = \mu \cdot b.$$

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

$$\xi < \xi_{opt} = 0,1 - 0,15$$

... VYHOVUJE

$$\rho \approx 0,5\%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

S ohledem na protlačení, bude výztuž zhuštěna na 0,5% v šířce 1 m sloupového pruhu.

Zatížení působící na vnitřní sloup od desky D5:

Tab. č. 25 – Zatížení na vnitřní sloup

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [mm ²]	ρ [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
1	podlaha P2 (viz 2.1.2)	-	4,9.3,1 = 15,19	-	2,03	30,84	1,35	41,63
2	ŽB nosná konstrukce	220	15,19	2500	5,50	83,55		112,79
3	podhled (viz 2.1.2)	-	15,19	-	0,11	1,67		2,26
CELKEM						116,05		156,67
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [mm ²]	ρ [kg/m ³]	q _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
4	příčky (viz 2.2.1)	-	15,19	-	0,50	7,60	1,5	11,39
5	proměnná zatížení - kategorie A	-	15,19	-	1,50	22,79		34,18
CELKEM						30,38		45,57
Σ						146,43		202,24

Ověření desky D5 z hlediska protlačení:

Tl. desky:

$$h_d = 220 \text{ mm}$$

Odhad účinné výšky průřezu:

$$d = h_d - \frac{\varnothing}{2} - c = 220 - \frac{10}{2} - (10 + 10) = 195 \text{ mm}$$

Předpokládané rozměry průřezu sloupu:

$$250 \times 250 \text{ mm}$$

Obvod sloupu:

$$u_o = 4a = 4 \cdot 250 = 1000 \text{ mm}$$

Obvod ve vzdálenosti 2d od líce hlavice:

$$u_1 = 4a + 2\pi \cdot 2d = 4 \cdot 250 + 2\pi \cdot 2 \cdot 195 = 3450 \text{ mm}$$

Součinitel polohy sloupu:

$$\beta = 1,15 \quad (\text{vnitřní sloup})$$

1) únosnost tlačené diagonály v obvodě u_0 :

$$v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$$

Návrhová hodnota smykového napětí v protlačení:

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot v_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 202,24}{1 \cdot 0,195} = 1192,70 \text{ kPa}$$

Únosnost v protlačení v obvodu u_0 :

$$\begin{aligned} v_{Rd,max} &= 0,4 \cdot \nu \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = \\ &= 0,4 \cdot 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 = 4,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,0} = 1192,70 \text{ kPa} \leq v_{Rd,max} = 4220 \text{ kPa}$$

.....Únosnost tlačené diagonály v obvodě u_0 VYHOVUJE

2) únosnost na protlačení bez smykové výztuže v obvodě u_1 :

$$v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$$

Návrhová hodnota smykového napětí v protlačení:

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta \cdot v_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1,15 \cdot 202,24}{3,45 \cdot 0,195} = 345,71 \text{ kPa}$$

Únosnost v protlačení v obvodu u_1 :

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

$$k = \min\left(1 + \frac{\sqrt{200}}{d}; 2\right) = \min\left(1 + \frac{\sqrt{200}}{195}; 2\right) = 1,07$$

$$\rho = 0,005 \quad (\text{odhadovaný stupeň vyztužení})$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho \cdot f_{ck}} = \\ &= 0,12 \cdot 1,07 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,005 \cdot 30} = 316,66 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 345,71 \text{ kPa} \leq v_{Rd,c} = 316,66 \text{ kPa}$$

.....NEVYHOVUJE, nutno přidat výztuž na protlačení

Odhad vyztužení proti protlačení třmínkovými lištami:

$$k_{max} = 1,9 \quad (\text{dle výrobců})$$

$$k_{max} \cdot v_{Rd,c} = 1,9 \cdot 316,66 = 601,65 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,1} = 345,71 \text{ kPa} \leq v_{Rd,c} = 601,65 \text{ kPa}$$

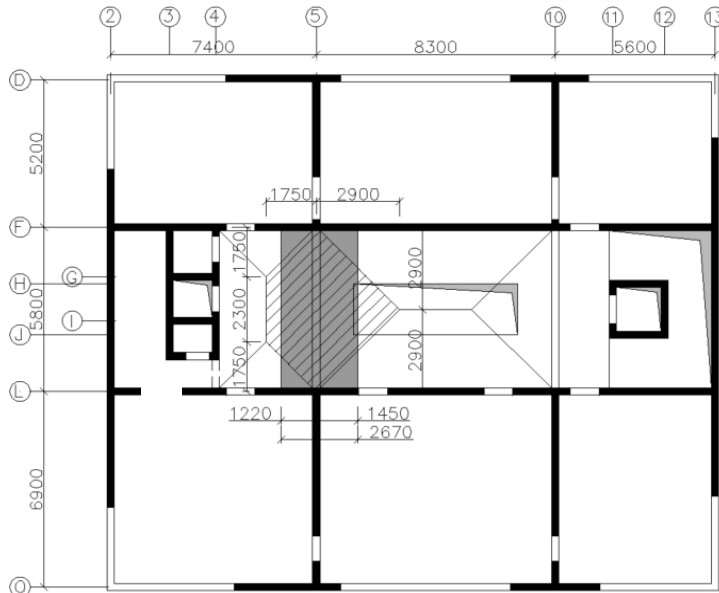
.....VYHOVUJE

DESKY V OBJEKTU JSOU JEDNOTNĚ NAVRŽENY O TLOUŠŤCE 220 mm.

4.2 ŽB PRŮVLAKY

Předběžný návrh a posouzení všech průvlaků konstrukce (atikových okrajů a parapetních nosníků) bylo provedeno v předmětu P02C a není součástí této práce.

4.2.1 P1 – Průvlak desky 4NP



Obr. č. 27 – Řešený průvlak – P1

Empirický návrh rozměrů průvlaku:

$$h_p = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8}\right) L = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8}\right) 5\,800 = 483 \sim 725 \approx 420 \text{ mm}$$

$$b_p = (0,4 \sim 0,5) h_p = (0,4 \sim 0,5) 420 = 167 \sim 210 = 200 \text{ mm}$$

Návrh rozměrů průvlaku:

$$h_p = 420 \text{ mm}$$

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

Výška byla zvolena s ohledem na světlou výšku a výšku podhledu.

Zatížení na průvlak P1:

Náhradní zatěžovací šířka:

$$A_1 = 1,75^2 + 2,3 \cdot 1,75 = 7,09 \text{ m}^2$$

$$L_1 = \frac{7,09}{5,8} = 1,22 \text{ m}$$

$$A_2 = 2,9^2 = 8,41 \text{ m}^2$$

$$L_2 = \frac{8,41}{5,8} = 1,45 \text{ m}$$

$$L = L_1 + L_2 = 1,22 + 1,45 = 2,67 \text{ m}$$

Tab. č. 26 – Zatížení na průvlak P1

P1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
1	střešní plášť SP2 (viz 2.1.3)	-	2670	-	0,63	1,68	1,35	2,27
2	ŽB nosná konstrukce	220	2670	2500	5,50	14,69		19,82
3	vlastní tíha	200	200	2500	5,00	1,00		1,35
4	podhled (viz 2.1.2)	-	2670	-	0,11	0,29		0,40
CELKEM						17,66		23,84
P1	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
5	proměnná zatížení - kategorie I	-	2670	-	1,50	4,01	1,5	6,01
CELKEM						4,01		6,01
Σ						21,67		29,85

Ověření průvlaku P1 z hlediska ohybu:

Uložení uvažuji jako částečné vetknutí a výsledný moment jako střední hodnotu kladných momentů vetknutého a prostě uloženého prutu (což odpovídá hodnotě momentu nad podporou ve vetknutí).

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{12} f_d \cdot l^2 = \frac{1}{12} 29,85 \cdot 5,8^2 = 83,68 \text{ kNm}$$

Tab. č. 27 – Ověření průvlaku P1 na ohyb

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M_{Ed} [kNm]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	ζ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
420	200	378	83,68	20	435	0,15	0,204	0,918	567	0,75

Odhad krytí: $c = 25 \text{ mm}$
 Odhad třmínků: $\phi_{tř} = 10 \text{ mm}$
 Odhad výztuže: $\phi = 14 \text{ mm}$

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

$$\xi < \xi_{opt} = 0,45$$

... VYHOVUJE

$$\rho \approx 1 \%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

Ověření průvlaku z hlediska smyku:

$$V_{Ed,max} = \frac{1}{2} f_d \cdot l = \frac{1}{2} 29,85 \cdot 5,8 = 86,57 \text{ kN}$$

Tab. č. 28 – Ověření průvlaku P1 na smyk

h [mm]	b [mm]	d [mm]	f_{cd} [MPa]	f_{ck} [MPa]	z [mm]	$\cotg\theta$ [-]	$V_{Rd,max}$ [kN]
420	200	378	20	30	340	1,5	331,42

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cotg\theta}{1 + \cotg^2\theta}$$

$$V_{Ed,max} = 86,57 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 331,42$$

...VYHOVUJE

Ověření ohybové štíhlosti:

$$\lambda_d \geq \lambda$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2\right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 25,9 \quad (\text{vnitřní pole, C30/37, předpoklad } \rho \approx 1 \%)$$

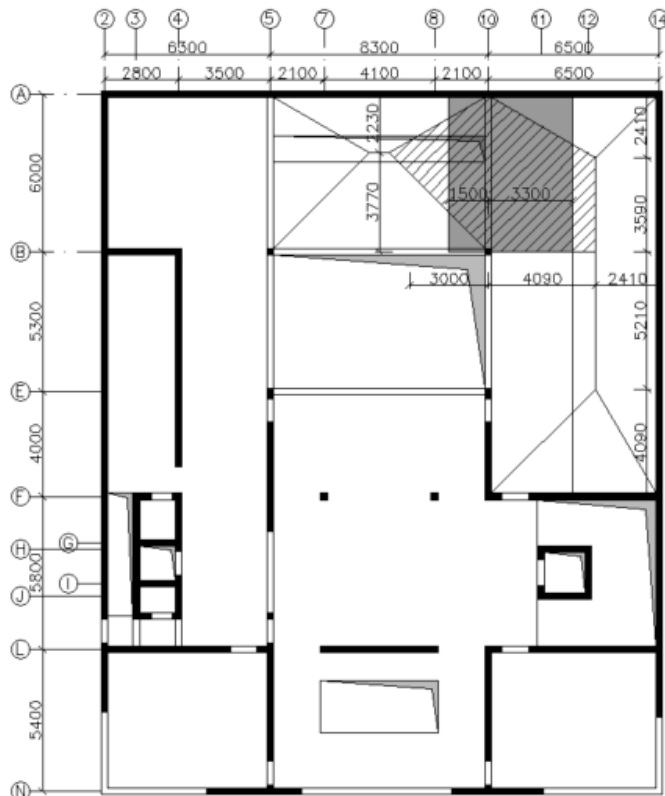
$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 25,9 = 31,08$$

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{5800}{378} = 15,34$$

$$\lambda_d = 31,08 \geq \lambda = 15,34$$

...VYHOVUJE

4.2.2 P2 – Průvlak desky 2NP



Obr. č. 28 – Řešený průvlak – P2

Empirický návrh rozměrů průvlaku:

$$h_p = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8} \right) L = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8} \right) 6\,000 = 500 \sim 750 \approx 470 \text{ mm}$$

$$b_p = (0,4 \sim 0,5) h_p = (0,4 \sim 0,5) 470 = 188 \sim 210 = 250 \text{ mm}$$

Návrh rozměrů průvlaku:

$$h_p = 470 \text{ mm}$$

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

Výška byla zvolena s ohledem na světlou výšku, šířka dána navazujícími sloupy.

Zatížení na průvlak:

Náhradní zatěžovací šířka:

$$A_1 = \frac{3 \cdot 6}{2} = 9 \text{ m}^2$$

$$L_1 = \frac{9}{6} = 1,5 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{2,41 \cdot 4,09}{2} + 4,09 \cdot 3,59 = 19,61 \text{ m}^2$$

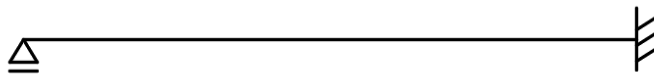
$$L_2 = \frac{19,61}{6} = 3,3 \text{ m}$$

$$L = L_1 + L_2 = 1,5 + 3,3 = 4,8 \text{ m}$$

Tab. č. 29 – Zatížení na průvlak P2

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
1	střešní plášť SP5 (viz 2.1.3)	-	4800	-	3,06	14,69	1,35	19,83
2	vlastní tíha	250	300	2500	6,25	1,88		2,53
3	ŽB nosná konstrukce	220	4800	2500	5,50	26,40		35,64
4	podhled (viz 2.1.2)	-	4800	-	0,11	0,53		0,71
CELKEM						43,49		58,71
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
5	proměnná zatížení - kategorie I	-	4800	-	1,50	7,20	1,5	10,80
CELKEM						7,20		10,80
Σ						50,69		69,51

Ověření průvlaku P2 z hlediska ohybu:



Obr. č. 29 – Uvažované statické schéma nosníku P2

$$M_{Ed,max} = \frac{1}{8} f_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} 69,51 \cdot 6^2 = 312,81 \text{ kNm}$$

Tab. č. 30 – Ověření průvlaku P2 na ohyb

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M_{ed} [kNm]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	ζ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
470	250	427	312,81	20	435	0,37	0,613	0,755	2325	2,25

Odhad krytí: $c = 35 \text{ mm}$
 Odhad třmínků: $\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$
 Odhad výztuže: $\varnothing = 25 \text{ mm}$

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$\xi = tab.$

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

$\xi \leftarrow \xi_{opt} = 0,45$

... NEVYHOVUJE

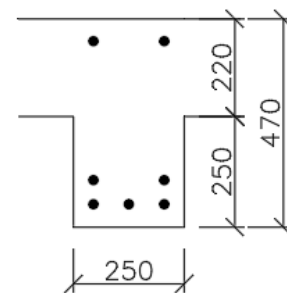
$\rho \neq 1 \%$

... NEODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

Průřez jednostranné vyztužený nevyhoví a je tedy třeba navrhnout výztuž o více řadách.
 Návrh a výpočet byl proveden v programu Excel.

Návrh výztuže ve více řadách:

- Horní výztuž: 1 řada – 3. 2x $\varnothing 25 \text{ mm}$
- Spodní výztuž: 2 řady – 2. 2x $\varnothing 25 \text{ mm}$
 – 1. 3x $\varnothing 25 \text{ mm}$



Obr. č. 30 – Skica průřezu průvlaku P2

Výpočet a posouzení průřezu s výztuží ve více řadách:

Posouzení ŽB prvku namáhaného ohybem dle ČSN EN 1992-1-1

PŘEDPOKLADY

idealizovaný pracovní diagram **betonu**:

Obdélníkový

idealizovaný pracovní diagram **výztuže**:

Vodorovný s neomezeným přetvořením

BETON

třída	C30/37
f_{ck} [MPa]	30
f_{ctm} [MPa]	2,9
γ_c [-]	1,5
f_{cd} [MPa]	20
$\varepsilon_{c,1}$ [‰]	-2,0
$\varepsilon_{c,u}$ [‰]	-3,5
max zrno [mm]	22

VÝZTUŽ

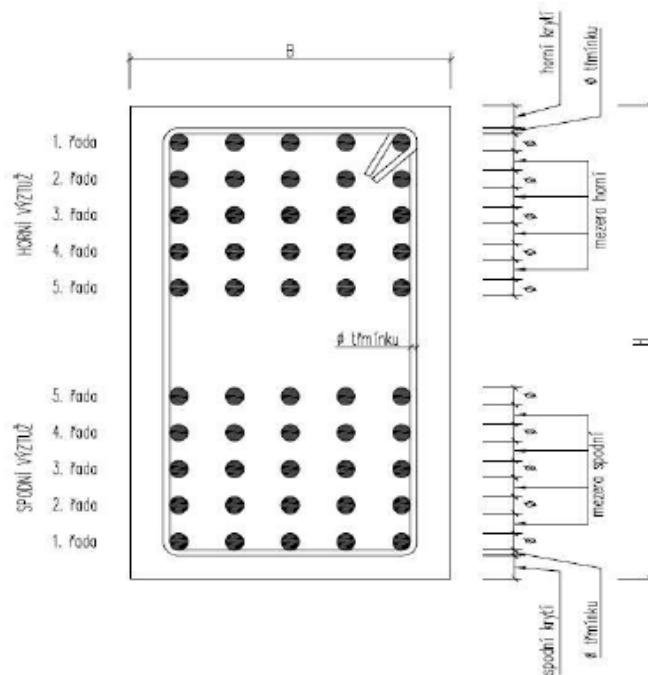
typ	R 10 505
f_{yk} [MPa]	500
γ_s [-]	1,15
f_{yd} [MPa]	434,78
E [MPa]	200000

PRŮŘEZ

H [mm]	470	
B [mm]	250	
horní krytí [mm]	35	
spodní krytí [mm]	35	
ϕ třmínku [mm]	10	
mezera horní [mm]	0	
mezera dolní [mm]	30	$\geq 30 \text{ mm} = \text{min. mezera}$ vyhovuje

NAMÁHÁNÍ

$M_{y,Ed}$ [kNm]	312,81	kladný moment táhne spodní vlákna
------------------	--------	-----------------------------------



VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU

		∅ [mm]	počet prutů	d [mm]	A _s [mm ²]	ε _s [‰]	σ _s [Mpa]	F _s [N]
HORNÍ VÝZTUŽ	1. řada <input checked="" type="checkbox"/>	25	2	57,5	981,7477	-2,2421875	-434,7826	-426846,8
	2. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	3. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	4. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	5. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
SPODNÍ VÝZTUŽ	5. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	4. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	3. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	2. řada <input checked="" type="checkbox"/>	25	2	357,5	981,7477	4,3203125	434,7826	426846,83
	1. řada <input checked="" type="checkbox"/>	25	3	412,5	1472,622	5,5234375	434,7826	640270,24

KONTROLA STUPNĚ VYZTUŽENÍ

tahová [mm²] 2454,4 > 126,9 = A_{s,min1} = 0,0013 * b_t * d
> 147,2 = A_{s,min2} = 0,26 * f_{ctm} * b_t * d / f_{yk}

vyhovuje

veškerá [mm²] 3436,1 < 4700,0 = A_{s,max} = 0,04 * b * h

vyhovuje

VÝPOČET

Kladný ohybový moment:

$$x^+ = 160,0 \text{ mm}$$

$$M_{Rd}^+ = 351,14 \text{ kNm}$$

Záporný ohybový moment:

$$x^- = 84,0 \text{ mm}$$

$$M_{Rd}^- = -172,60 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ

OHYBOVÁ ÚNOSNOST:

$$M_{Ed} = 312,81 \text{ kNm} \leq 351,14 \text{ kNm} = M_{Rd} \quad \text{vyhovuje}$$

využití: 89,08 %

Účinná výška:

$$d = \frac{\sum(A_{s,tažená,i} \cdot d_i)}{\sum A_{s,tažená,i}} = \frac{(1473 \cdot 413) + (982 \cdot 358)}{1473 + 982} = 391 \text{ mm}$$

Poměrná výška tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{160}{391} = 0,41 \leq 0,45$$

.....VYHOVUJE

Na dané namáhání lze vyztužit (ve více řadách) průřez o rozměru 250x470 mm tak, aby tažené pruty byly při mezi únosnosti za mezí kluzu. V případě přetížení by došlo k tahovému porušení.

.....ROZMĚRY PRŮŘEZU JSOU PONECHÁNY

Ověření průvlastku z hlediska smyku:

$$V_{Ed,max} = \frac{1}{2} f_d \cdot l = \frac{1}{2} 69,51 \cdot 6 = 208,53 \text{ kN}$$

Tab. č. 31 – Ověření průvlastku P2 na smyk

h [mm]	b [mm]	d [mm]	f_{cd} [MPa]	f_{ck} [MPa]	z [mm]	$\cot \Theta$ [-]	$V_{Rd,max}$ [kN]
470	250	391	20	30	352	1,5	428,90

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$V_{Ed,max} = 208,53 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 428,90 \text{ kN}$$

...VYHOVUJE

Ověření ohybové štíhlosti:

$$\lambda_d \geq \lambda$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = 1 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L < 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2\right)$$

$$\lambda_{d,tab} = 18 \quad (\text{krajní pole, C30/37, předpoklad } \rho \approx 1 \%)$$

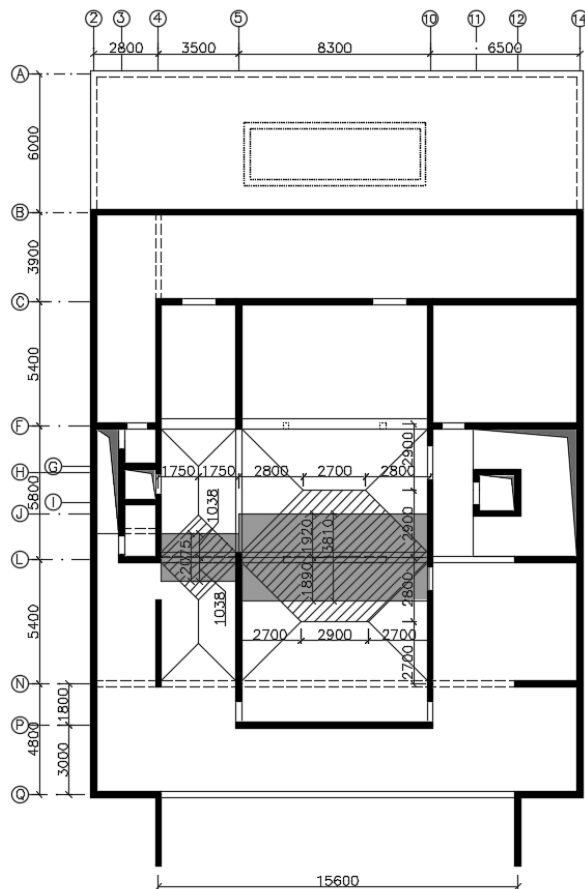
$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab} = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 18 = 21,6$$

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{6000}{417,5} = 14,37$$

$$\lambda_d = 21,60 \geq \lambda = 14,37$$

...VYHOVUJE

4.2.3 P3 – Nosník pod segmentem stěny desky 1NP



Obr. č. 31 – Řešený průvlek – P3

Navazující nosník v ose F v obrázku č. 31 do zjednodušeného předběžného výpočtu neuvažuji, jelikož jeho šířka je značně menší (250 mm) a lze uvažovat, že jeho tuhost je vůči počítanému rámu zanedbatelná. Tato úvaha bude zkontrolována v podrobnějším výpočtu. Nosník v ose F je zatěžován méně než nosník v ose L, nebude tedy počítán a jeho rozměry budou navrženy stejné jako u nosníku v ose L.

Empirický návrh rozměrů průvlatku:

$$h_p = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8}\right) L = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{8}\right) 8\,300 = 691 \sim 1038 = 900 \text{ mm}$$

$$b_p = (0,4 \sim 0,5) h_p = (0,4 \sim 0,5) 800 = 320 \sim 400 = 450 \text{ mm}$$

Návrh rozměrů průvlatku:

$$h_p = 900 \text{ mm}$$

$$b_p = 450 \text{ mm}$$

Zatížení na průvlak:

A – DESKY 2,3,4NP + SVISLÉ KONSTRUKCE 1-3NP

Ba – DESKA 1NP + VLASTNÍ TÍHA (pravé pole)

Bb – DESKA 1NP + VLASTNÍ TÍHA (levé pole)

Tab. č. 32 – Zatížení na průvlak P3 z vyšších podlaží – stálá zatížení

A	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	A [m ²]	L(TL) [mm]	ρ [kg/m ³]	f _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
1	podlaha P2 (viz 2.1.2) 2NP	36,68	-	-	2,03	74,46	1,35	100,52
2	podlaha P2 (viz 2.1.2) 3NP	41,29	-	-	2,03	83,82		113,16
3	střešní plášť SP1 (viz 2.1.3)	33,09	-	-	3,23	106,88		144,29
4	ŽB deska 2NP	36,68	220	2500	-	201,74		272,35
5	ŽB deska 3NP	41,29	220	2500	-	227,11		306,60
6	ŽB deska 4NP	33,09	220	2500	-	182,00		245,69
7	podhled (viz 2.1.2) 1NP	36,68	-	-	0,11	4,03		5,45
8	podhled (viz 2.1.2) 2NP	41,29	-	-	0,11	4,54		6,13
9	podhled (viz 2.1.2) 3NP	33,09	-	-	0,11	3,64		4,91
10	svislé nosné k-ce 1NP	0,77	4100	2500	-	78,93		106,55
11	svislé nosné k-ce 2NP	0,77	2200	2500	-	42,35		57,17
12	svislé nosné k-ce 3NP	0,77	8300	2500	-	159,78		215,70
13	sloupy 4NP (viz 3.3.2)	n = 2	-	-	-	199,44	-	271,20
14	nosníky P1	n = 2	2900	-	-	125,69	-	173,13
CELKEM						1494,40		2022,85

Tab. č. 33 – Zatížení na průvlak P3 z vyšších podlaží – proměnná zatížení

A	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	A [m ²]	f _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
15	příčky (viz 2.2.1) 2NP	36,68	0,5	18,34	1,5	27,51
16	příčky (viz 2.2.1) 3NP	41,29	0,5	20,65		30,97
17	proměnná zatížení – kategorie I 4NP	33,09	1,5	49,64		74,45
18	proměnná zatížení – kategorie A 2NP	36,68	1,5	55,02		82,53
19	proměnná zatížení – kategorie A 3NP	41,29	1,50	61,94		92,91
CELKEM				61,94		92,91

Σ

1556,34

2115,76

Tab. č. 34 – Zatížení na průvlak P3 od desky 1NP – pravé pole

Ba	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
1	podlaha P4 (viz 2.1.2)	-	3180	-	2,17	6,90	1,35	9,32
2	ŽB nosná konstrukce	220	3180	2500	5,50	17,49		23,61
3	vlastní tíha	580	450	2500	14,50	6,53		8,81
4	podhled (viz 2.1.2)	-	3180	-	0,11	0,35		0,47
CELKEM						26,53		35,82
Ba	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
5	příčky (viz 2.2.1)	-	3180	-	0,5	1,59	1,5	2,39
6	proměnná zatížení - kategorie A	-	3180	-	1,50	4,77		7,16
CELKEM						4,77		7,16
Σ						31,30		42,98

Tab. č. 35 – Zatížení na průvlak P3 od desky 1NP – levé pole

Bb	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
1	podlaha P4 (viz 2.1.2)	-	2075	-	2,17	4,51	1,35	6,09
2	ŽB nosná konstrukce	220	2075	2500	5,50	11,41		15,41
3	vlastní tíha	580	450	2500	14,50	6,53		8,81
4	podhled (viz 2.1.2)	-	2075	-	0,11	0,23		0,31
CELKEM						20,34		27,45
Bb	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
5	příčky (viz 2.2.1)	-	2075	-	0,5	1,04	1,5	1,56
6	proměnná zatížení - kategorie A	-	2075	-	1,50	3,11		4,67
CELKEM						3,11		4,67
Σ						23,45		32,12

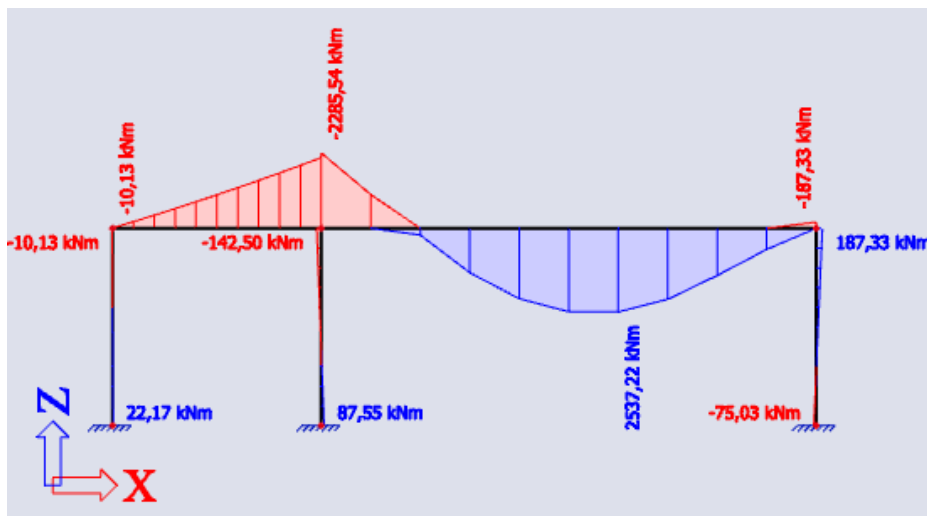
Ověření průvlaku P3 z hlediska ohybu:

Bodová síla přepočtena na liniové zatížení:

$$f_{d,A} = \frac{F_{d,A}}{L} = \frac{2115,76}{4,1} = 516,04 \text{ kN/m}$$

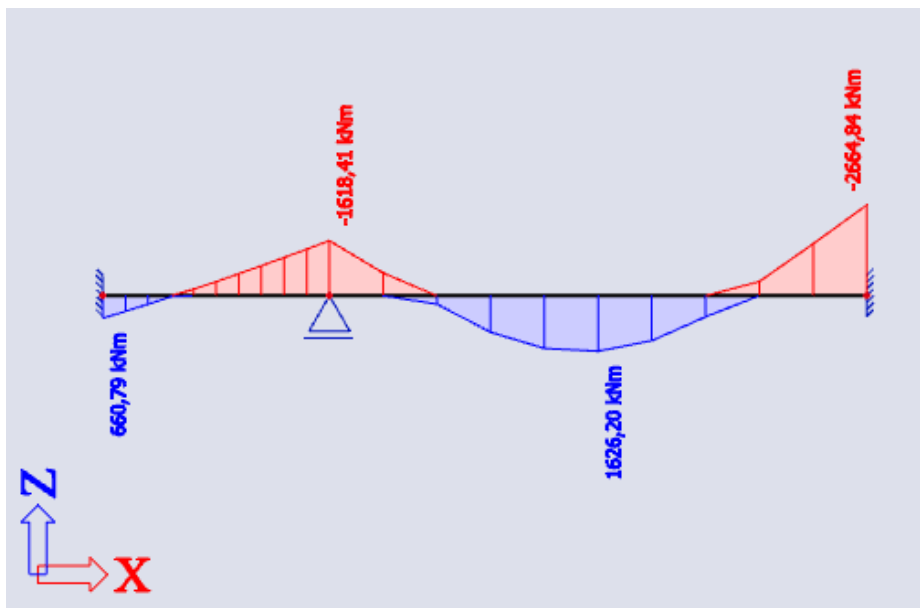
Pro ověření hodnot a pro srovnání byly účinky zatížení řešeny na rámu i na nosnících s různými okrajovými podmínkami, které mají vystihnout působení okolních prvků celé konstrukce. Vnitřní síly na konstrukci byly vypočteny v programu SCIA.

Model rámu:



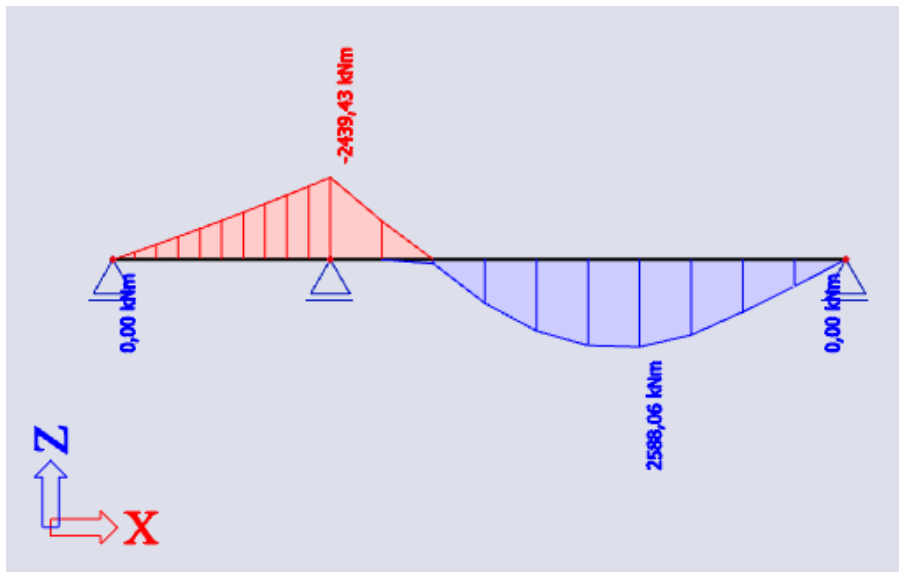
Obr. č. 32 – Vykreslené hodnoty M_y v programu Scia na průvlaku P3

Model vetknutého nosníku:



Obr. č. 33 – Vykreslené hodnoty M_y v programu Scia na prostém nosníku P3 - vetknutí

Model prostě uloženého nosníku:



Obr. č. 34 – Vykreslené hodnoty M_y v programu Scia na prostém nosníku P3 – prosté uložení

Tab. č. 36 – Hodnoty momentů na průvlaku P3

	střžení podpora [kNm]	pravé pole [kNm]	pravá podpora [kNm]
RÁM	-2285,54	2537,22	-187,33
VETKNUTÍ	-1618,41	1626,20	-2664,84
KLOUBY	-2439,43	2588,06	0

Pro kontrolu rozměrů průřezu volím moment v poli na rámu z obrázku č. 32.

$$M_{Ed,max} = 2537,22 \text{ kNm}$$

Tab. č. 37 – Ověření průvlaku P3 na ohyb

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M_{ed} [kNm]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	ζ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
900	450	427	2537,22	20	435	0,41	0,720	0,712	9939	2,45

Odhad krytí: $c = 40 \text{ mm}$
 Odhad třmínků: $\phi_{tř} = 12 \text{ mm}$
 Odhad výztuže: $\phi = 28 \text{ mm}$

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi = tab.$$

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

$$\xi \leftarrow \xi_{opt} = 0,45$$

... NEVYHOVUJE

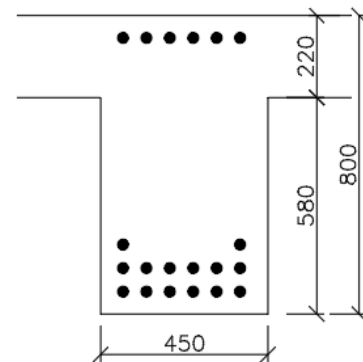
$$\rho \neq 1 \%$$

... NEODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

Průřez jednostranně vyztužený nevyhoví a je tedy třeba navrhnout výztuž o více řadách. Návrh a výpočet byl proveden v programu Excel.

Návrh výztuže ve více řadách:

- Horní výztuž: 1 řada – 4. 6xØ28 mm
- Spodní výztuž: 2 řady – 3. 2xØ28 mm
– 2. 6xØ28 mm
– 1. 6xØ28 mm



Obr. č. 35 – Skica průřezu
průvlaku P3

Výpočet a posouzení průřezu s výztuží ve více řadách:

Posouzení ŽB prvku namáhaného ohybem dle ČSN EN 1992-1-1

PŘEDPOKLADY

idealizovaný pracovní diagram **betonu:**

Obdélníkový

idealizovaný pracovní diagram **výztuže:**

Vodorovný s neomezeným přetvořením

BETON

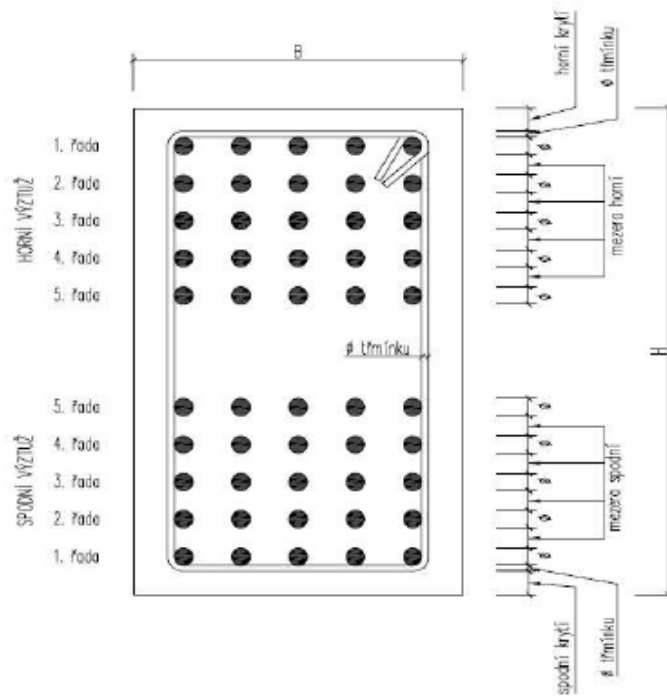
třída	C30/37
f_{ck} [MPa]	30
f_{ctm} [MPa]	2,9
γ_c [-]	1,5
f_{cd} [MPa]	20
$\epsilon_{c,l}$ [‰]	-2,0
$\epsilon_{c,u}$ [‰]	-3,5
max zrna [mm]	22

VÝZTUŽ

typ	R 10 505
f_{yk} [MPa]	500
γ_s [-]	1,15
f_{yd} [MPa]	434,78
E [MPa]	200000

PRŮŘEZ

H [mm]	900
B [mm]	450
horní krytí [mm]	40
spodní krytí [mm]	40
ϕ třmínku [mm]	12
mezera horní [mm]	0
mezera dolní [mm]	35



$\geq 35 \text{ mm} = \text{min. mezera}$ **vyhovuje**

NAMÁHÁNÍ

$M_{y,Ed}$ [kNm]	2537,2	kladný moment táhne spodní vlákna
------------------	--------	-----------------------------------

VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU

		∅ [mm]	počet prutů	d [mm]	A _s [mm ²]	ε _s [‰]	σ _s [Mpa]	F _s [N]
HORNÍ VÝZTUŽ	1. řada <input checked="" type="checkbox"/>	28	6	66	3694,513	-2,72222222	-434,7826	-1606310
	2. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	3. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	4. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	5. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
SPODNÍ VÝZTUŽ	5. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	4. řada <input type="checkbox"/>	0	0	0	0	0	0	0
	3. řada <input checked="" type="checkbox"/>	28	2	708	1231,504	4,84343434	434,7826	535436,66
	2. řada <input checked="" type="checkbox"/>	28	6	771	3694,513	5,58585859	434,7826	1606310
	1. řada <input checked="" type="checkbox"/>	28	6	834	3694,513	6,32828283	434,7826	1606310

KONTROLA STUPNĚ VYZTUŽENÍ

tahová [mm²] 8620,5 > 461,6 = A_{s,min1} = 0,0013 * b_t * d
> 535,4 = A_{s,min2} = 0,26 * f_{ctm} * b_t * d / f_{yk}

vyhovuje

veškerá [mm²] 12315 < 16200,0 = A_{s,max} = 0,04 * b * h

vyhovuje

VÝPOČET

Kladný ohybový moment:
x* = 297,0 mm
M_{Rd}⁺ = 2595,65 kNm

Záporný ohybový moment:
x = 126,0 mm
M_{Rd}⁻ = -1315,97 kNm

POSOUZENÍ

OHYBOVÁ ÚNOSNOST:

M_{Ed} = 2537,22 kNm ≤ 2595,65 kNm = M_{Rd} **vyhovuje**
využití: 97,75 %

Účinná výška:

$$d = \frac{\sum(A_{s,tažená,i} \cdot d_i)}{\sum A_{s,tažená,i}} = \frac{(834 + 771)3695 + (708 \cdot 1232)}{2 \cdot 3695 + 1232} = 789 \text{ mm}$$

Poměrná výška tlačené oblasti:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{297}{789} = 0,38 \leq 0,45$$

.....VYHOVUJE

Na dané namáhání lze vyztužit (ve více řadách) průřez o rozměru 250x470 mm tak, aby tažené pruty byly při mezi únosnosti za mezí kluzu. V případě přetížení by došlo k tahovému porušení.

.....ROZMĚRY PRŮŘEZU JSOU PONECHÁNY

Ověření průvltaku z hlediska smyku:

$$V_{Ed,max} = \frac{1}{2}f_d \cdot l + \frac{1}{2}F_d = \frac{1}{2}42,98 \cdot 8,3 + \frac{1}{2}2115,76 = 1236,25 \text{ kN}$$

Tab. č. 38 – Ověření průvltaku P10 na smyk

h [mm]	b [mm]	d [mm]	f _{cd} [MPa]	f _{ck} [MPa]	z [mm]	cotgθ [-]	V _{Rd,max} [kN]
900	450	789	20	30	710	1,5	1557,19

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = 0,6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cotg\theta}{1 + \cotg^2\theta}$$

$$V_{Ed,max} = 1236,25 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 1557,19 \text{ kN}$$

...VYHOVUJE

Ověření ohybové štíhlosti:

$$\lambda_d \geq \lambda$$

$$\kappa_{c1} = 1 \quad (\text{obdélníkový průřez})$$

$$\kappa_{c2} = \frac{7}{8,3} = 0,84 \quad (\text{rozhodující rozpětí desky } L > 7,0 \text{ m})$$

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot 1,2 = 1,2 \quad \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \geq 1 \rightarrow \text{odhad } 1,2\right)$$

$$\lambda_{d,tav} = 25,9 \quad (\text{vnitřní pole, C30/37, předpoklad } \rho \approx 1 \%)$$

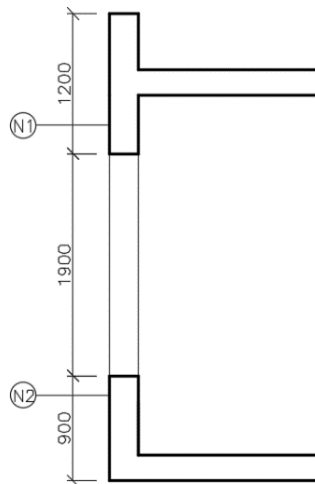
$$\lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tav} = 1 \cdot 0,84 \cdot 1,2 \cdot 25,9 = 26,11$$

$$\lambda = \frac{L}{d} = \frac{8300}{783} = 10,6$$

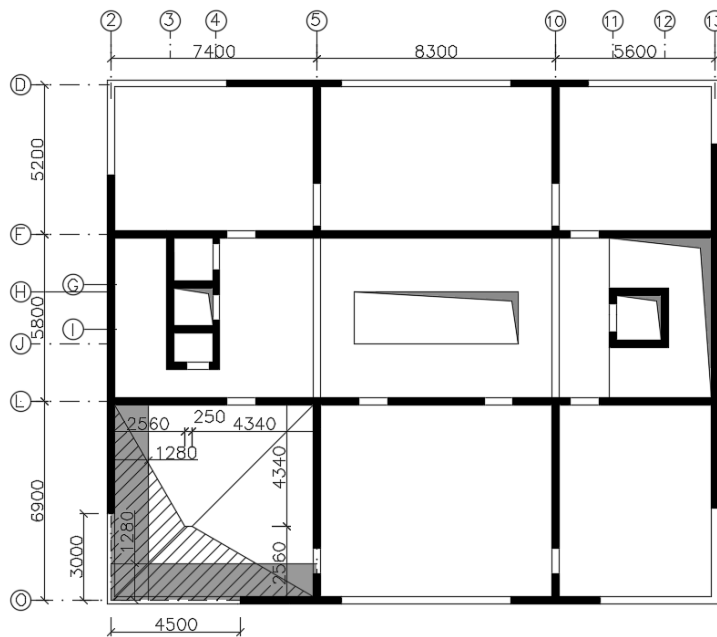
$$\lambda_d = 26,11 \geq \lambda = 10,6$$

...VYHOVUJE

4.2.4 N1, N2 – Zalomený průvlak 4NP



Obr. č. 36 – Skica průvlaku N1 a N2



Obr. č. 37 – Řešený průvlak N1 a N2

Rozměry průvlaku N1 je pevně dány šířkou stěny a výškou atiky a nadokenní:

$$h_p = 1200 \text{ mm}$$

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

Zatížení na průvlak:

Náhradní zatěžovací šířka:

$$A_1 = \frac{2,56^2}{2} + \frac{2,56 \cdot 4,34}{2} + 0,25 \cdot 2,56 = 9,47 \text{ m}^2$$

$$L_1 = \frac{9,47}{7,4} = 1,28 \text{ m}$$

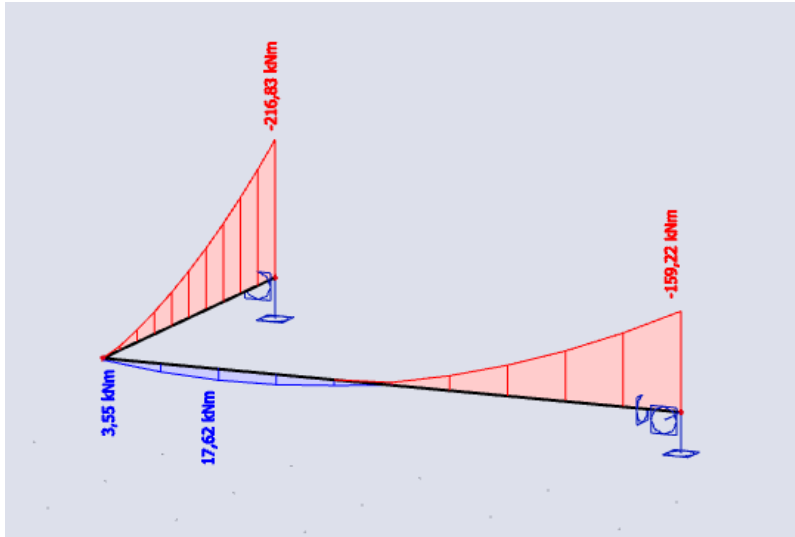
$$L_2 = \frac{2,56}{2} = 1,28 \text{ m}$$

Tab. č. 39 – Zatížení na průvlak N1

N1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
1	střešní plášť SP1 (viz 2.1.3)	-	1280	-	3,23	4,13	1,35	5,58
2	ŽB nosná konstrukce	220	1280	2500	5,50	7,04		9,50
3	vlastní tíha	-	-	-	-	-		-
4	podhled (viz 2.1.2)	-	1280	-	0,11	0,14		0,19
CELKEM						11,31		15,27
N1	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
5	proměnná zatížení - kategorie I	-	1280	-	1,50	1,92	1,5	2,88
CELKEM						1,92		2,88
Σ						13,23		18,15

Ověření průvlaku N1 z hlediska ohybu:

Vnitřní síly na konstrukci byly vypočteny v programu SCIA. Vlastní tíha byla dopočtena programem.



Obr. č. 38 – Vykreslené hodnoty M_y v programu Scia na průvlaku N1

$$M_{Ed,max} = 216,83 \text{ kNm}$$

Tab. č. 40 – Ověření průvlaku N1 na ohyb

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M_{ed} [kNm]	f_{cd} [MPa]	f_{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	ζ [-]	$A_{s,rqd}$ [mm ²]	ρ [%]
1200	250	1152	216,83	20	435	0,03	0,038	0,985	403	0,14

Odhad krytí: $c = 30 \text{ mm}$
 Odhad třmínků: $\phi_{tř} = 10 \text{ mm}$
 Odhad výztuže: $\phi = 16 \text{ mm}$

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$\xi = tab.$

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

$$\xi < \xi_{opt} = 0,45$$

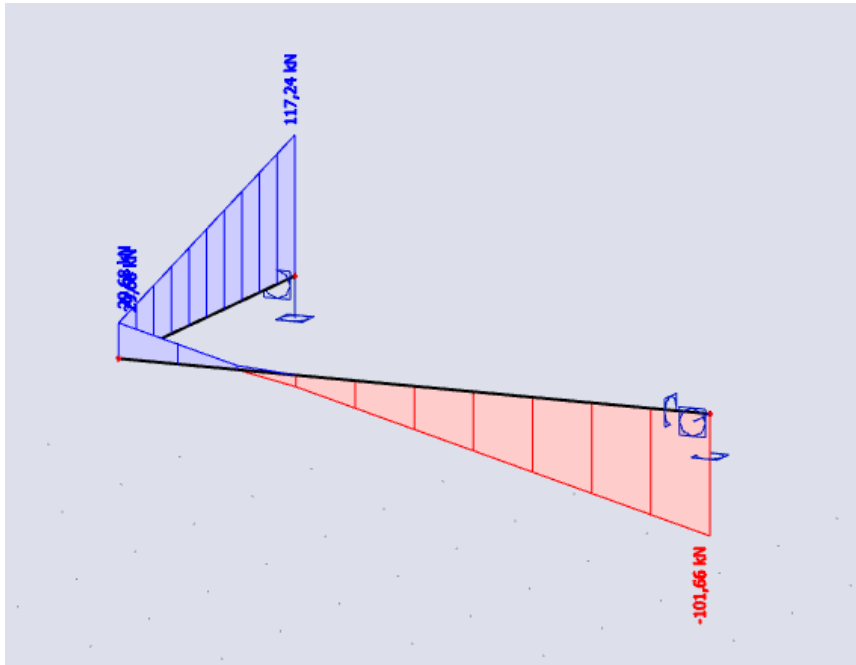
... VYHOVUJE

$$\rho \approx 1 \%$$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

Procento vyztužení bude podstatně vyšší. Zde je pouze potřeba zjistit, zda-li se do daného průřezu vejde potřebné množství výztuže.

Ověření průvlaku z hlediska smyku:



Obr. č. 39 – Vykreslené hodnoty V_z v programu Scia na průvlaku N1

$$V_{Ed,max} = 117,24 \text{ kN}$$

Tab. č. 41 – Ověření průvlaku N1 na smyk

h [mm]	b [mm]	d [mm]	f_{cd} [MPa]	f_{ck} [MPa]	z [mm]	$\cotg\theta$ [-]	$V_{Rd,max}$ [kN]
1200	250	1152	20	30	1037	1,5	1263,30

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cotg\theta}{1 + \cotg^2\theta}$$

$$V_{Ed,max} = 117,24 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 1263,30 \text{ kN}$$

....VYHOVUJE

Rozměry průvlaku N2 je pevně dány šířkou stěny a výškou parapetu.

$$h_p = 900 \text{ mm}$$

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

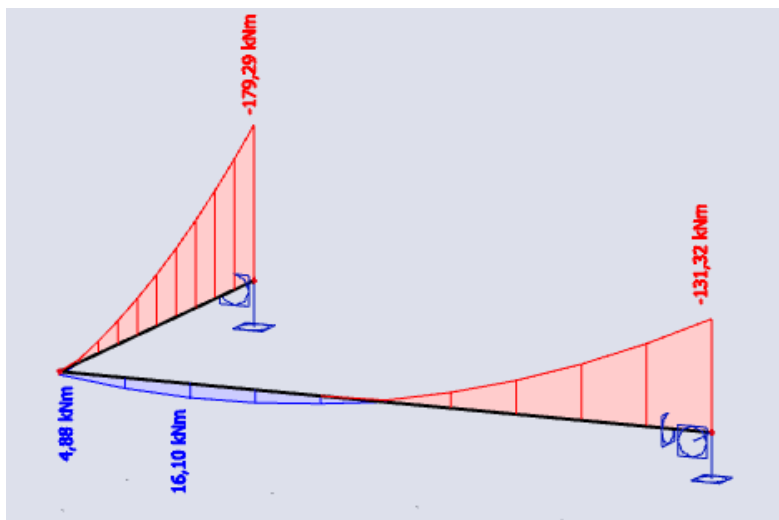
Zatížení na průvlak:

Tab. č. 42 – Zatížení na průvlak N2

N2	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
1	podlaha P2 (viz 2.1.2)	-	1280	-	2,03	2,60	1,35	3,51
2	ŽB nosná konstrukce	220	1280	2500	5,50	7,04		9,50
3	vlastní tíha	-	-	-	-	-		-
4	podhled (viz 2.1.2)	-	1280	-	0,11	0,14		0,19
CELKEM						9,78		13,20
N2	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	γ_f	f_d [kN/m]
5	příčky (viz 2.2.1)		1280	-	0,5	0,64	1,5	0,96
6	proměnná zatížení - kategorie A	-	1280	-	1,50	1,92		2,88
CELKEM						2,56		3,84
Σ						12,34		17,04

Ověření průvlaku N2 z hlediska ohybu:

Vnitřní síly na konstrukci byly vypočteny v programu SCIA. Vlastní tíha byla dopočtena programem.



Obr. č. 40 – Vykreslené hodnoty M_y v programu Scia na průvlaku N2

$$M_{Ed,max} = 179,29 \text{ kNm}$$

Tab. č. 43 – Ověření průvlaku N2 na ohyb

h [mm]	b [mm]	d [mm]	M _{ed} [kNm]	f _{cd} [MPa]	f _{yd} [MPa]	μ [-]	ξ [-]	ζ [-]	A _{s,rqd} [mm ²]	ρ [%]
900	250	852	179,29	20	435	0,05	0,064	0,974	501	0,24

Odhad krytí: $c = 30 \text{ mm}$
 Odhad třmínků: $\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$
 Odhad výztuže: $\varnothing = 16 \text{ mm}$

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$\xi = tab.$

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

$\xi < \xi_{opt} = 0,45$

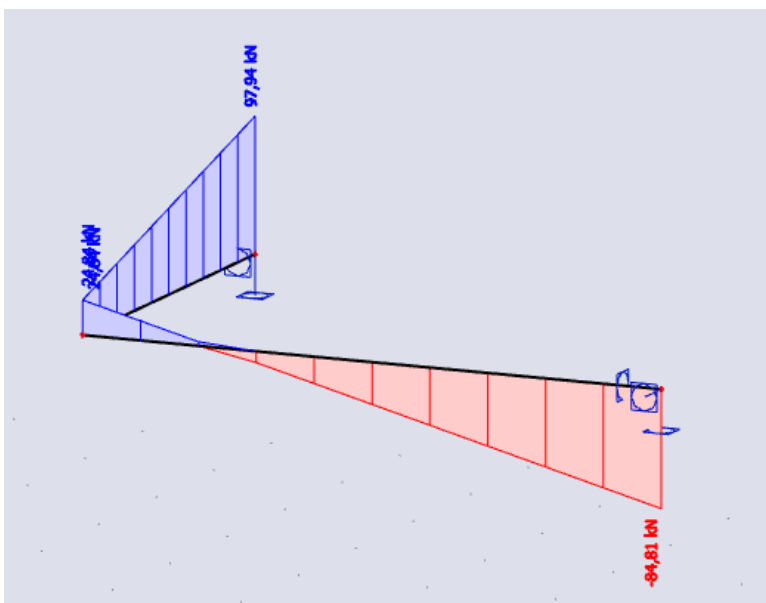
... VYHOVUJE

$\rho \approx 1 \%$

... ODPOVÍDÁ PŘEDPOKLADU

Procento vyztužení bude podstatně vyšší. Zde je pouze potřeba zjistit, zda-li se do daného průřezu vejde potřebné množství výztuže.

Ověření průvlaku z hlediska smyku:



Obr. č. 41 – Vykreslené hodnoty V_z v programu Scia na průvlaku N2

$$V_{Ed,max} = 97,94 \text{ kN}$$

Tab. č. 41 – Ověření průvlaku N2 na smyk

h [mm]	b [mm]	d [mm]	f_{cd} [MPa]	f_{ck} [MPa]	z [mm]	$\cot\theta$ [-]	$V_{Rd,max}$ [kN]
900	250	852	20	30	743	1,5	905,32

$$z = 0,9d$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta}$$

$$V_{Ed,max} = 97,94 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 995,58 \text{ kN}$$

...VYHOVUJE

Rozměry těchto zalomených nosníků lze považovat za dostatečné. Kroutící momenty by byly řešeny pomocí vhodně zvolené smykové výztuže.

4.3 SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Konstrukcí prochází protilehlá stěnová jádra.

1PP a 3NP je tvořeno pouze stěnovým systémem. V 1NP se nachází sloupy podél atria a mezi jádry, zbytek tvoří stěny. Deska nad 2NP je nesena pouze sloupy a stěnovými jádry.

Ve 4NP jsou jako svislé nosné konstrukce pouze sloupy.

4.3.1 ŽB stěny – nadzemní podlaží

Železobetonové nosné stěny jsou navrženy o tloušťce 250 mm - únosnost není potřeba prokazovat.

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

$$g_{0,k} = \frac{\rho \cdot t}{100} = \frac{2500 \cdot 0,25}{100} = \mathbf{6,25 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_{0,d} = g_{0BK,k} \cdot \gamma_f = 6,25 \cdot 1,35 = \mathbf{8,44 \text{ kN/m}^2}$$

4.3.2 ŽB sloupy

Rozměry sloupů budou předběžně navrženy pouze na dostředný tlak na maximální tlakovou sílu. Napětí ve výztuži při porušení uvažují 400 MPa.

4.3.2.1 Sloupy u bazénu (1NP) – S1

Zatížení na sloup S1:

Tab. č. 42 – Zatížení na sloup u bazénu – S1

S1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. (L) [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]	n	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
1	atika	6,8	0,15	2500	170	1	24,65	1,35	33,28
2	střešní plášť SP5 (viz 2.1.3)	-	30,81	-	3,06	1	94,28		127,28
3	ŽB nosná konstrukce - desky	0,22	30,81	2500	5,50	1	169,46		228,76
4	průvlak	9,8	0,05	2500	-	1	12,25		16,54
5	vlastní tíha	2,86	0,06	2500	71,50	1	4,47		6,03
CELKEM							305,10		411,89
S1	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. (L) [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	q _k [kN/m ²]	n	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
6	proměnná zatížení - kategorie I	-	30,81	-	1,50	1	46,22	1,5	69,32
CELKEM							46,22		69,32
Σ							351,32		481,21

Návrh rozměrů: **250x250 mm**

Ověření únosnosti v patě sloupu:

Tab. č. 43 – Ověření sloupu u bazénu S1 na dostředný tlak

h [mm]	b [mm]	A _c [mm ²]	N _{Ed} [kN]	f _{cd} [MPa]	σ _s [MPa]	ρ [-]	A _{s,min} [mm ²]	A _{s,req} [mm ²]	A _{s,max} [mm ²]
250	250	62 500	481,21	20	400	-0,02	125	-	2500

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

$$\rho = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}}{A_c \cdot \sigma_c}$$

$$A_{s,req} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002A_c\right)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$$

Jelikož je procento potřebné výztuže menší než 0, sloup bude vyztužen na $A_{s,min}$.

...SLOUP VYHOVÍ

4.3.2.2 Nejvíce zatížený sloup (2NP) – S2

Zatížení na sloup:

Tab. č. 44 – Zatížení na sloup S2

S2	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]	n	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
1	atika	0,48	11,3	2500	12	1	135,60	1,35	183,06
2	střešní plášť SP5 (viz 2.1.3)	-	44,47	-	3,23	1	143,64		193,91
3	podlaha P2 (viz 2.1.2)	-	44,47	-	2,03	1	90,27		121,87
4	ŽB nosná konstrukce - desky	0,22	44,47	2500	5,50	2	489,17		660,38
5	podhled (viz 2.1.2)	-	44,47	-	0,11	2	9,78		13,21
6	svislé nosné konstrukce	3,08	4,55	2500	77,00	1	350,35		472,97
7	vlastní tíha	3,08	0,08	2500	77,00	1	5,78		7,80
CELKEM							1224,59		1653,20
S2	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	q _k [kN/m ²]	n	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
8	příčky (viz 2.2.1)	-	44,47	-	0,5	1	22,24	1,5	33,35
9	proměnná zatížení - kategorie A	-	44,47	-	1,50	1	66,71		100,06
10	proměnná zatížení - kategorie I	-	44,47	-	1,50	1	66,71		100,06
CELKEM							155,65		233,47
Σ							1380,24		1886,66

Návrh rozměrů: 250x300 mm

Ověření únosnosti v patě sloupu:

Tab. č. 45 – Ověření sloupu S2 na dostředný tlak

h [mm]	b [mm]	A_c [mm ²]	N_{Ed} [kN]	f_{cd} [MPa]	σ_s [MPa]	ρ [-]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,req}$ [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]
250	300	75 000	1886,66	20	400	0,02	434	1717	3 000

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

$$\rho = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}}{A_c \cdot \sigma_c}$$

$$A_{s,req} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002A_c\right)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max}$$

$$434 \leq 1717 \leq 3000$$

...SLOUP VYHOVÍ

4.3.2.3 Sloup (4NP) – S3

Zatížení na sloup:

Tab. č. 46 – Zatížení na sloup S3

S3	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	n	F_k [kN]	y_f	F_d [kN]
1	atika	0,48	1,18	2500	12	1	14,16	1,35	19,12
2	střešní plášť SP4 (viz 2.1.3)	-	8,70	-	3,23	1	28,10		37,94
3	ŽB nosná konstrukce - desky	0,22	8,70	2500	5,50	1	47,85		64,60
4	vlastní tíha	3,08	0,04	2500	77,00	1	3,08		4,16
CELKEM							93,19		125,81
S3	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	n	F_k [kN]	y_f	F_d [kN]
5	proměnná zatížení - kategorie H	-	8,7	-	0,75	1	6,53	1,5	9,79
CELKEM							6,53		9,79
Σ							99,72		135,60

Návrh rozměrů: 200x200 mm

Ověření únosnosti v patě sloupu:

Tab. č. 47 – Ověření sloupu S3 na dostředný tlak

h [mm]	b [mm]	A_c [mm ²]	N_{Ed} [kN]	f_{cd} [MPa]	σ_s [MPa]	ρ [-]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,req}$ [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]
200	200	40000	135,6	20	400	-0,03	80	-	1600

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

$$\rho = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}}{A_c \cdot \sigma_c}$$

$$A_{s,req} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002A_c\right)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$$

Jelikož je procento potřebné výztuže menší než 0, sloup bude vyztužen na $A_{s,min}$.

...SLOUP VYHOVÍ

4.3.2.4 Sloup nad suterénním rámem (1NP) – S4

Zatížení na sloup:

Uvažuji, že jsou sloupy zatíženy stejně jako již počítaný segment stěny v kapitole 4.2.3.

$$V_{Ed} = \frac{2115,76}{2} = 1057,88 \text{ kN}$$

Návrh rozměrů: 250x250 mm

Ověření únosnosti v patě sloupu:

Tab. č. 48 – Ověření sloupu S4 na dostředný tlak

h [mm]	b [mm]	A_c [mm ²]	N_{Ed} [kN]	f_{cd} [MPa]	σ_s [MPa]	ρ [-]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,req}$ [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]
250	250	62500	1057,88	20	400	0,002	243	145	2500

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

$$\rho = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}}{A_c \cdot \sigma_c}$$

$$A_{s,req} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002A_c\right)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,req} \leq A_{s,max}$$

$$243 \leq 145 \leq 2500$$

Jelikož je procento potřebné výztuže menší než $A_{s,min}$, sloup bude vyztužen na $A_{s,min}$.

...SLOUP VYHOVÍ

4.3.3 Suterénní ŽB stěny

Podzemní část objektu je navržena systémem monolitických železobetonových suterénních stěn, opatřených z vnější strany asfaltovou hydroizolací a extrudovaným polystyrenem. Zásyp podzemní části objektu proveden nenamrzavou zeminou. Hladina podzemní vody nebyla zjištěna.

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

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

Suterénní stěny jsou pnuty ve svislém směru mezi podlahovou deskou 1PP a stropní deskou 1NP. (krom části schodišťových jader). Ve stěnách se nenachází žádná suterénní okna. Neposuvnost v patě stěny je zajištěna vyztuženou podlahou 1PP a základovými pasy.

Řešená část konstrukce se nachází u vnitřního bazénu. V této části má konstrukce pouze 1 podlaží, tudíž nedochází k výraznému přitížení suterénní stěny, což je v tomto případě žádané.

Návrh tloušťky stěny: $t = 250 \text{ mm}$

Zatížení na 1 m' stěny:

$$h = 2500 + 470 = 2970 \text{ mm}$$

ZEMNÍ TLAK:

Užitné zatížení na terénu:

$$q_{0,k} = 5 \text{ kN/m'}$$

Součinitel zemního tlaku v klidu:

$$K_0 = 1 - \sin\varphi = 1 - \sin 32 = 0,47$$

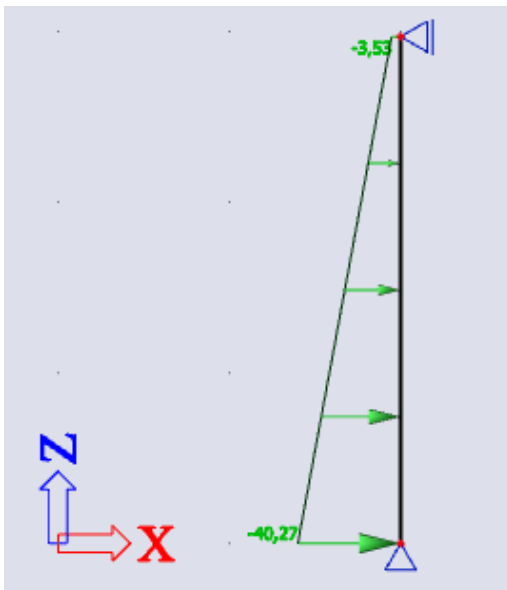
Charakteristický zemní tlak v úrovni terénu:

$$\sigma_{1,d} = K_0 \cdot \gamma_Q \cdot q_{0,k} = 0,47 \cdot 1,5 \cdot 5 = 3,53 \text{ kN/m'}$$

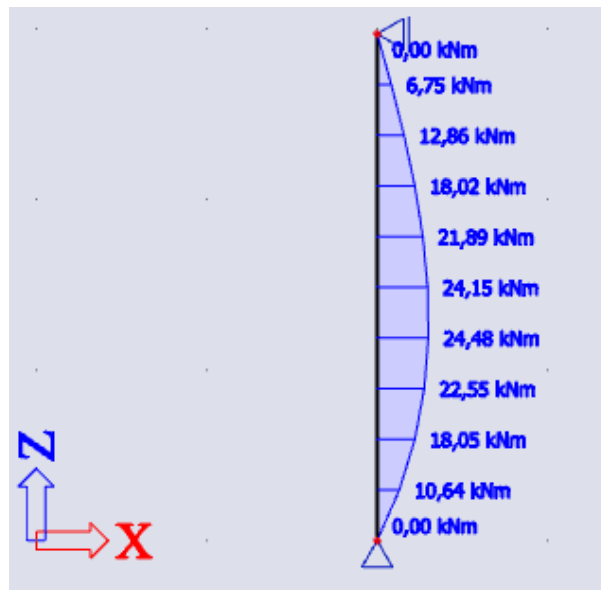
Charakteristický zemní tlak v patě:

$$\begin{aligned} \sigma_{2,d} &= K_0 \cdot (\gamma_Q \cdot q_{0,k} + \gamma_G \cdot \gamma_{zem.} \cdot h) = \\ &= 0,47(1,5 \cdot 5 + 1,35 \cdot 19,5 \cdot 2,97) = 40,27 \text{ kN/m'} \end{aligned}$$

Zjednodušené schéma zatížení:



Obr. č. 42 – Zatížení na suterénní stěnu



Obr. č. 43 – Působící moment na suterénní stěnu programu SCIA

Ověření možnosti vyztužení:

$$v = \frac{N_{max}}{b \cdot t \cdot f_{cd}} \quad (\text{neuvažuji – velká výstřednost})$$

Ověření bude provedeno na prostý ohyb.

$$\mu = \frac{M_{max}}{b \cdot t^2 \cdot f_{cd}} = \frac{24,48}{1 \cdot 0,25^2 \cdot 20\,000} = 0,02$$

$$\omega \approx 0,1$$

$$A_{s,rqd} = \frac{\omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 20}{435} 10^6 = 1\,149 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,4 \cdot A_c = 0,4 \cdot 1 \cdot 0,25 = 10\,000 \text{ mm}^2$$

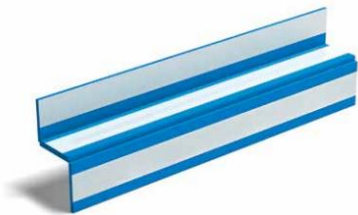
$$A_{s,rqd} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,rqd} = 1\,149 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 10\,000 \text{ mm}^2$$

... VYHOVUJE, stěnu lze dostatečně vyztužit, aby odolala zatížení od zeminy

4.4 SCHODIŠTĚ

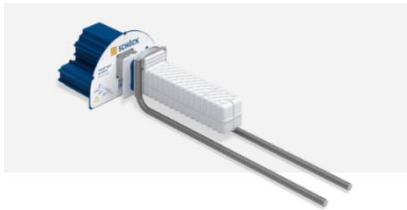
Hlavní schodiště je tříramenné, prefabrikované (včetně schodišťových stupňů). Jedná se o jednu dvakrát zalomenou desku a dvě ramena osazené na podestu a mezipodestu. Ramena jsou osazena na ozub a jsou opatřena kročejovou izolací Schock Tronsole F. Dvakrát lomená deska je uložena do obvodových stěn pomocí vyztužených akustických boxů Schock Tronsole P. Boční okraje desek jsou opatřeny kročejovou izolací Schock Tronsole L. V podzemním podlaží je uložení schodišťového ramene na základovou desku opatřeno prvkem Schock Tronsole B.



Obr. č. 44 – Schock Tronsole F [10]



Obr. č. 45 – Schock Tronsole L [10]



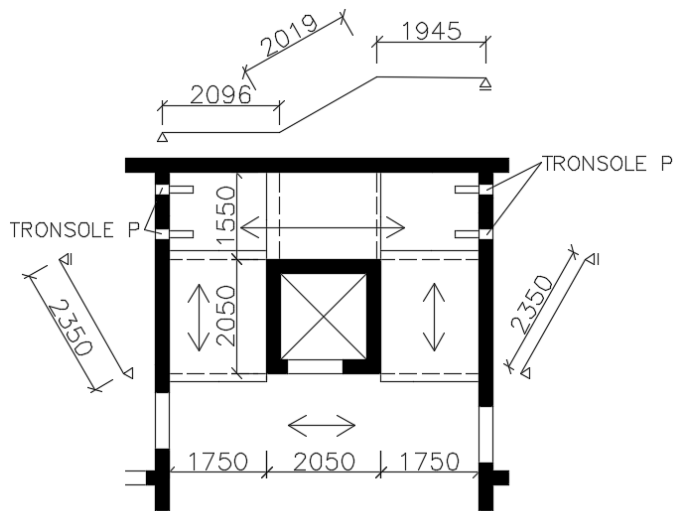
Obr. č. 46 – Schock Tronsole P [10]



Obr. č. 47 – Schock Tronsole B [10]

Vedlejší schodiště je jednoramenné a je tvořeno dřevěným výrobkem.

4.4.1 Výpočet parametrů betonového schodiště



Obr. č. 48 – Schéma schodiště s rozměry pro výpočet

$$h = \frac{k \cdot v}{n} = \frac{3300}{20} = 165 \text{ mm}$$

$$b = 630 - 2h = 630 - 2 \cdot 165 = 300 \text{ mm} \rightarrow 293 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b} = \frac{165}{293} \rightarrow \alpha = 29^\circ$$

$$h_1 = 1500 + \frac{750}{\cos \alpha} = 1500 + \frac{750}{\cos 29} = 2356 \text{ mm} \geq 2100 \text{ mm}$$

$$h_2 = 750 + 1500 \cdot \cos \alpha = 750 + 1500 \cos 29 = 2064 \text{ mm} \geq 1900 \text{ mm}$$

$$h_{r1} = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right) L_1 = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right) 6060 = 303 \sim 242 = 240 \text{ mm}$$

$$h_{r2} = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right) L_2 = \left(\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25} \right) 2350 = 118 \sim 94 = 200 \text{ mm (kvůli naváznostem)}$$

Tab. 49 – Parametry železobetonového schodiště

PARAMETRY	ZN.	JEDNOTKA	HODNOTA
konstrukční výška podlaží	kv	mm	3300
šířka mezipodest a ramen	L	mm	1750
počet stupňů	n	-	20
šířka stupně	b	mm	293
výška stupně	h	mm	165
úhel stoupání	α	°	29
podchodná výška	h_1	mm	2356
průchodná výška	h_2	mm	2064
teoretické rozpětí lomené desky	L_1	mm	6060
teoretické rozpětí desky ramene	L_2	mm	2350
tloušťka 2x lomené desky	h_{r1}	mm	240
tloušťka ramene	h_{r2}	mm	200

4.4.2 Výpočet množství kotevních akustických boxů

Tab. 50 – Zatížení na schodiště 1PP

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [m ²]		ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	F_k [kN]	y_f	F_d [kN]
1	podlaha P6 (viz 2.1.2) - schodiště	-	2,05(1,75+2,45)/2	4,31	-	0,11	0,47	1,35	0,64
2	podlaha P7 (viz 2.1.2) - mezipodesta	-	1,75x2,45	3,80	-	1,38	5,24		7,07
3	deska schodišťové desky	200	1,2x1,75	2,10	2500	-	10,50		14,18
4	deska 2x lomené schodišťové desky	240	2,9x2,45	7,11	2500	-	42,63		57,55
CELKEM							58,84		79,44
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [m ²]		ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	F_k [kN]	y_f	F_d [kN]
5	proměnná zatížení - kategorie A	-	8,10		-	3,00	24,31	1,5	36,46
CELKEM							24,31		36,46
Σ							83,15		115,90

Tab. 51 – Zatížení na schodiště NP

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [m ²]		ρ [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
1	podlaha P6 (viz 2.1.2) - schodiště	-	2,05(1,75+1,55)/2		3,38	-	0,11	0,37	0,50
2	podlaha P7 (viz 2.1.2) - mezipodesta	-	1,75x1,55		2,71	-	1,38	3,74	5,05
3	deska schodišťové desky	200	1,2x1,75		2,10	2500	-	10,50	14,18
4	deska 2x lomené schodišťové desky	240	2,9x1,55		4,50	2500	-	26,97	36,41
CELKEM							41,59	1,35	56,14
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	A [m ²]		ρ [kg/m ³]	g _k [kN/m ²]	F _k [kN]	y _f	F _d [kN]
5	proměnná zatížení - kategorie A	-	6,10		-	3,00	18,29	1,5	27,43
CELKEM							18,29		27,43
Σ							59,87		83,57

Únosnost 1 boxu Schock Tronsole P je 46,8 kN →

$$1PP \quad \frac{115,90}{46,8} = 2,47 \quad \rightarrow \quad \text{navrženy 3 boxy na každé straně}$$

$$NP \quad \frac{83,57}{46,8} = 1,79 \quad \rightarrow \quad \text{navrženy 2 boxy na každé straně}$$

4.5 ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Objekt je založen na převážně na základových pasech. Vnitřní svislé konstrukce okolo garáží leží na pasech o šířce 1,8 m a výšce 1,0 m. Zbylé pasy jsou široké 0,9 m a vysoké 0,8 m.

V oblasti jader, kde je soustředěno větší množství nosných stěn je založení na základové desce. Jejich tloušťky se liší v návaznosti na základové pasy a úroveň založení.

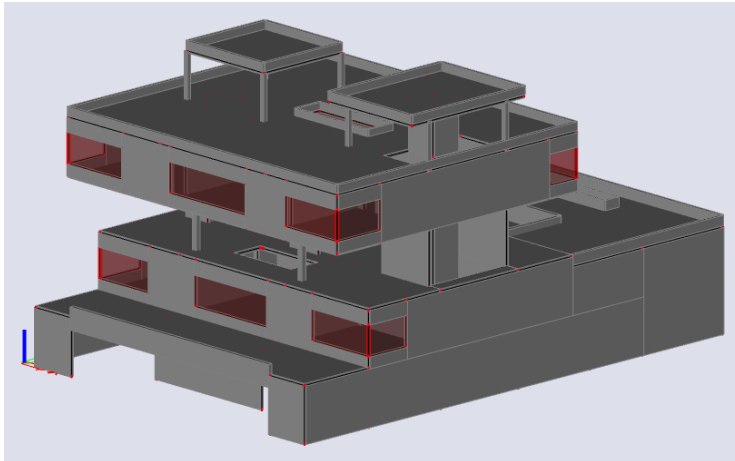
Prostory bazénu, které se nachází v prvním nadzemním podlaží jsou založeny ve stejné úrovni jako ostatní základové konstrukce – bazén je tedy nesen systémem podzemních stěn. Tyto základy jsou řešeny jako bílá vana, ostatní základové konstrukce jsou opatřeny hydroizolací.

Podrobné řešení založení objektu bylo řešeno v projektu 133P02C a nebude řešeno i v této práci.

5. 3D MODEL

Pro účel podrobného návrhu byl vytvořen model objektu v programu SCIA Engineer 21.0. Program počítá dle lineárně pružné analýzy (předpoklad lineárního chování), což zjednodušuje zadávání zatížení, geometrie i vlastností materiálů. Výpočet neuvažuje vliv smršťování a dotvarování betonu.

Rozměry jednotlivých konstrukcí byly modelovány dle předběžného výpočtu. Konstrukce na něž navazují základové konstrukce jsou modelovány jako vetknuté.

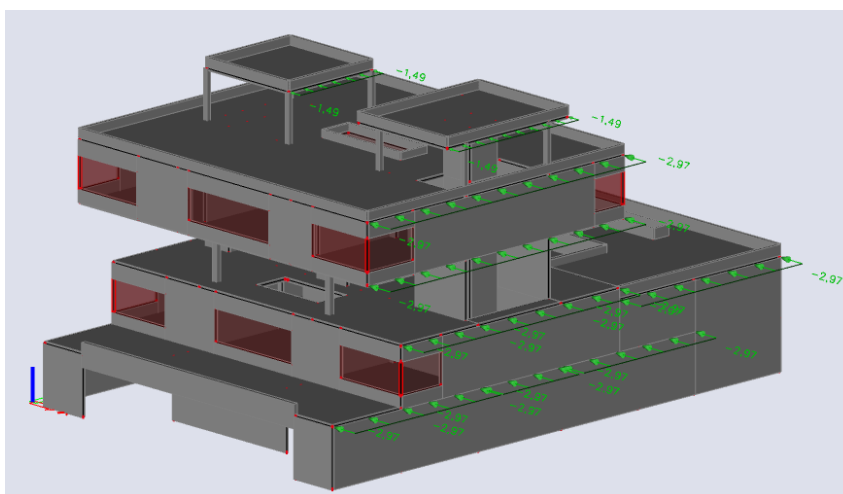


Obr. č. 49 – Pohled na 3D model

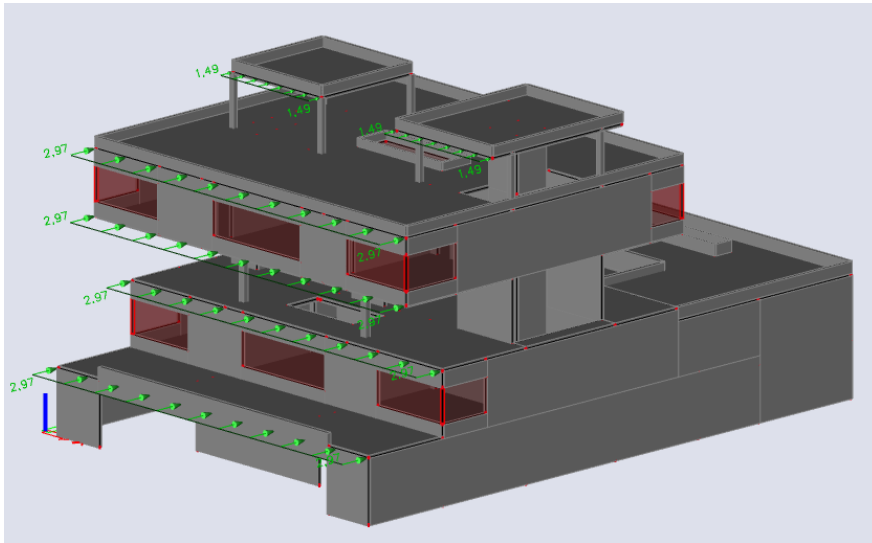
5.1 OVĚŘENÍ PROSTOROVÉ TUHOSTI

Je potřeba ověřit, zda nevzniká tah v základové spáře. Zatížení od větru na fasádu je modelováno jako vodorovné liniové zatížení do desek jednotlivých podlaží (plošné zatížení přenásobeno konstrukční výškou podlaží).

Zatížení je zadáno z každé strany objektu (zatěžovací stavy nastaveny, aby se navzájem zatížení nevylučovalo).



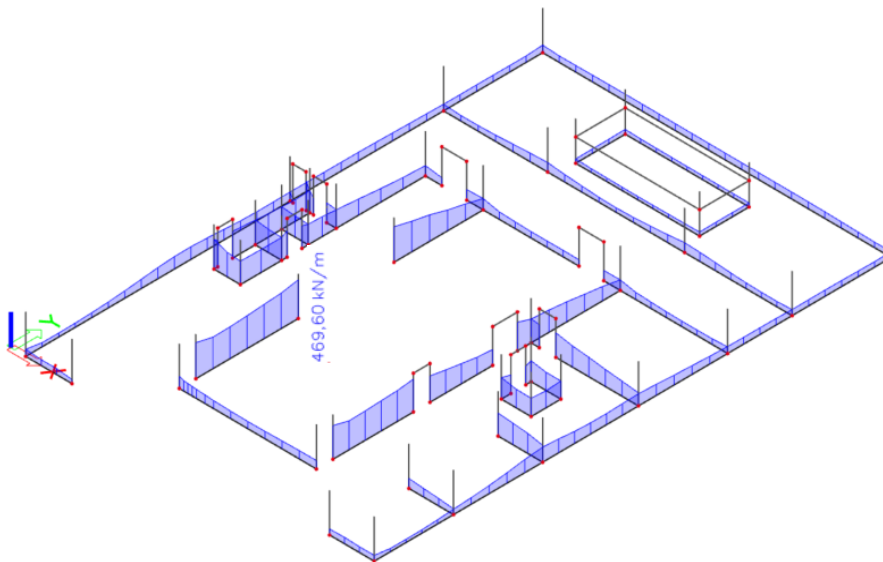
Obr. č. 50 – Zatížení 3D modelu zatížením od větru



Obr. č. 51 – Zatížení 3D modelu zatížením od větru

5.1.1 Stavební stádium

V kombinaci zatížení pro stavební stádium se ověří působení vlastní se součinitelem $\gamma_G=1$ a působení větru se součinitelem $\gamma_Q=1$.

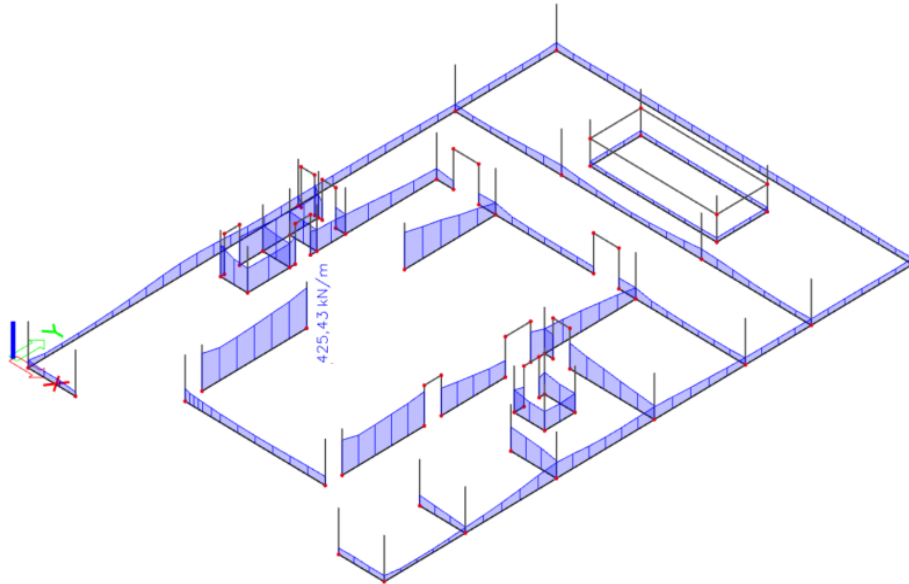


Obr. č. 52 – Reakce v základové spáře – stavební stádium

V konstrukci při charakteristické kombinaci zatížení nevzniká tah (viz Obr. 52). Kritérium splněno a lze bezpečně říct, že tuhost objektu je zajištěna.

5.1.2 Návrhová kombinace

V návrhové kombinaci se ověří působení vlastní se součinitelem $\gamma_G=0,9$ a působení větru se součinitelem $\gamma_Q=1,5$.

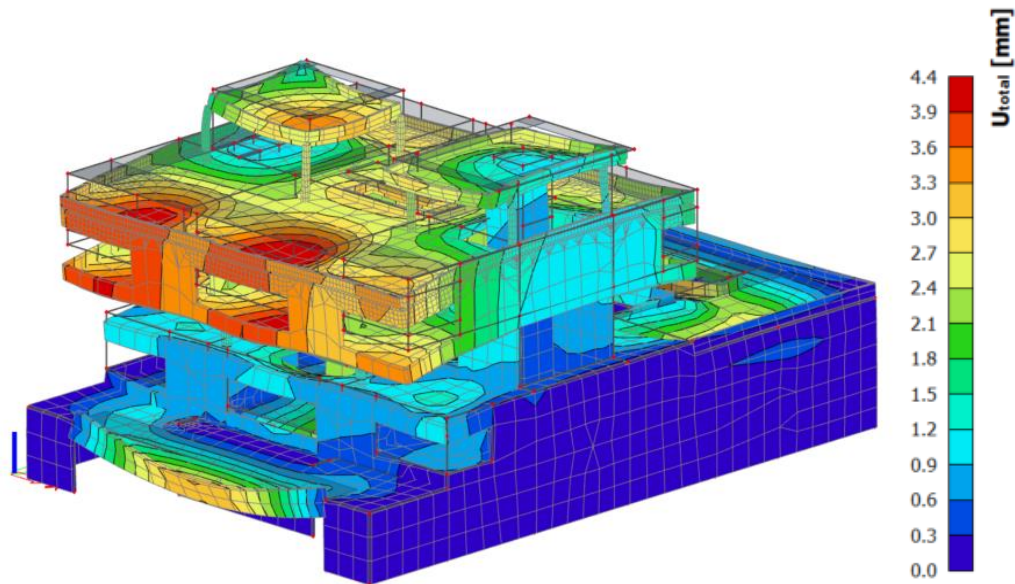


Obr. č. 53 – Reakce v základové spáře – návrhová kombinace

V konstrukci ani při návrhové kombinaci zatížení nevzniká tah. Kritérium je splněno, prostorová tuhost objektu je zajištěna.

5.2 OVĚŘENÍ PRŮHYBŮ DESEK

Průhyby nosných konstrukcí železobetonových desek budou v této kapitole zkontrolovány a předběžně posouzeny.



Obr. č. 54 – Vykreslené pružné deformace 3D modelu

Průhyby jsou ověřovány při kvazistálé kombinaci zatížení, kde stálá zatížení jsou počítána s koeficientem $\gamma_G=1$ a proměnná zatížení se součinitelem $\gamma_Q=0,3$.

Na obrázku č. 54 jsou znázorněny pružné deformace, pro model se sníženou tuhostí stěn na 10 GPa. Průhyb s vlivem trhlin, dotvarování betonu a smršťování betonu odhadují na pětinasobek pružného průhybu. Jde o odhad, pro návrh by bylo potřebné dopočítat hodnoty momentů setrvačnosti průřezů s trhlínami i bez trhlin a určit hodnotu součinitele dotvarování, pro získání hodnot průhybu.

PRŮHYB DESKY NAD 4NP:

$$f_{4NP} = 3,6 \cdot 5 = 18 \text{ mm} < f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5\,800}{250} = 23,2 \text{ mm}$$

PRŮHYB DESKY NAD 3NP A 2NP:

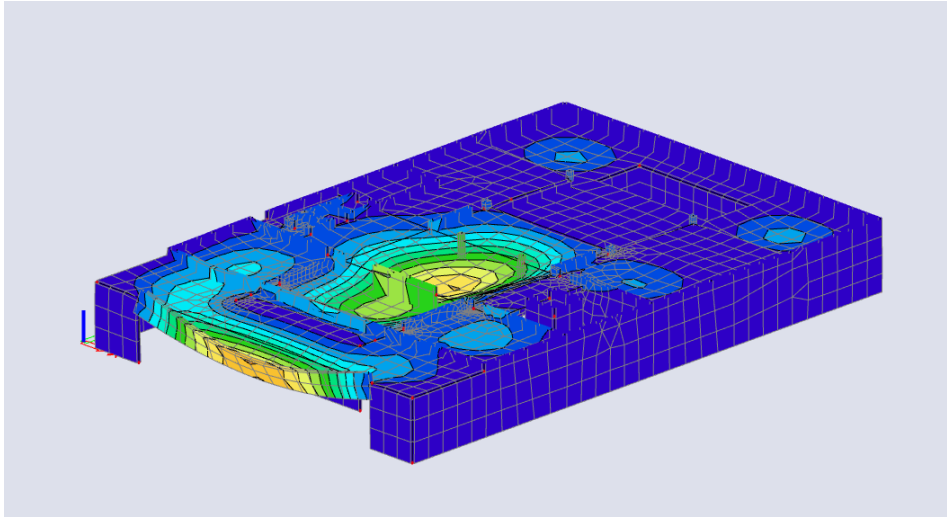
$$f_{3NP,2NP} = 4,4 \cdot 5 = 22 \text{ mm} < f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6\,900}{250} = 27,6 \text{ mm}$$

PRŮHYB DESKY NAD 1NP:

$$f_{1NP} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ mm} < f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6\,500}{250} = 26 \text{ mm}$$

PRŮHYB DESKY NAD 1PP:

$$f_{1PP} = 2,7 \cdot 5 = 13,5 \text{ mm} < f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5\,800}{250} = 23,2 \text{ mm}$$



Obr. č. 55 – Vykreslené pružné deformace 3D modelu pro desku nad 1PP

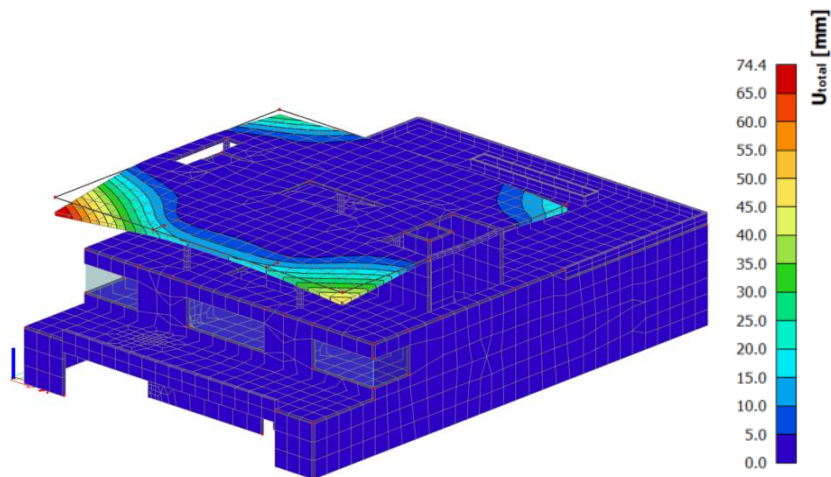
**...lze říci, že desky na průhyb VYHOVÍ
(odhady nepřesahují limitní hodnoty)**

Nejvíce deformované jsou desky nad 2NP a 3NP, kde je konstrukce překonzolovaná.

5.2.1 Průhyb desky nad 2NP

Na obrázku č. 56 jsou vykresleny deformace na modelu, kde byly odebrány konstrukce 3NP a 4NP a deska nad 2NP byla zatížena od chybějících podlaží. V tomto případě nedochází ke spolupůsobení desky se svislými nosnými konstrukcemi 3NP, vodorovnými nosnými konstrukcemi (parapetní nosníky) 3NP a částečně i deskou nad 3NP. Maximální pružný průhyb na této konstrukci je 74,4 mm v místě překonzolování desky, což je o 70 mm více oproti původnímu maximálnímu průhybu na stejné desce, který se nacházel ve středu rozpětí desky mezi vynášejícími stěnami 3NP.

Tento průhyb nastane v případě, že konstrukce spolu nespolečně působí – např. svislé nosné konstrukce v 3NP by byly nahrazeny zděnými prvky. Z hodnot průhybů je zřejmé, že tato varianta provedení je nereálná a objekt musí železobetonový monolitický



Obr. č. 56 – Vykreslené deformace 3D modelu pro desku nad 2NP bez spolupůsobení se svislými konstrukcemi 3NP

Aby se konstrukce celého objemu 3NP chovala jako kompaktní spolupůsobící celek a bylo zajištěno spolupůsobení obou desek prostřednictvím svislých stěn, jako je tomu na obrázku č. 54, je potřeba zavést určitá opatření a to hlavně při realizaci stavby. Spolupůsobení bude dosaženo potřebným provázáním výztuže všech konstrukcí podlaží a způsobem betonáže – zejména umístěním pracovních spar a dobou trvání podstojkování celku.

6. PODROBNÝ STATICKÝ VÝPOČET RÁMU V 1PP

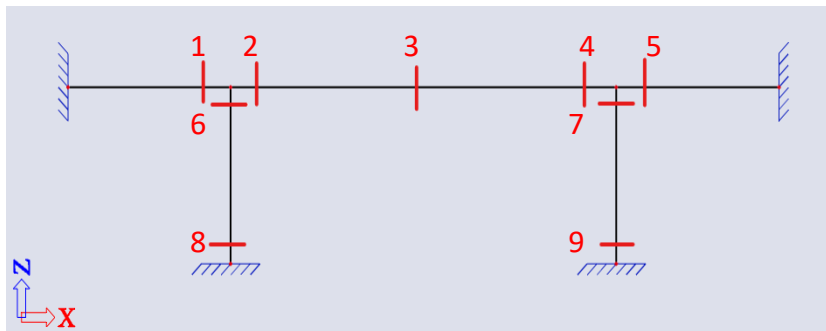
Pro podrobné dimenzování byl v rámci této práce vybrán železobetonový rám v podzemním podlaží, jehož příčel je součástí desky 1NP a je nesená stěnami v 1PP.

Rám byl modelován ve vícero obměnách. Cílem bylo predikovat rozložení tuhostí jednotlivých prvků s ohledem na předpokládaný vznik trhlin.

Vstupy zatížení jsou popsány v kapitole 3.

6.1 VOLBA MODELU PRO VÝPOČET

V této kapitole budou porovnány modely konstrukce s ohledem na vnitřní síly na řešené příčli. Výsledky jsou uvedeny pro návrhovou kombinaci MSÚ – tedy s koeficienty $\gamma_G=1,35$ a $\gamma_Q=1,5$. Všechna zatížení byla modelována jako plošná. Hodnoty vnitřních sil budou vykresleny i na méně zatíženém průvlaku o dvou polích, pro kontrolu, aby nevznikala případná maxima zde.



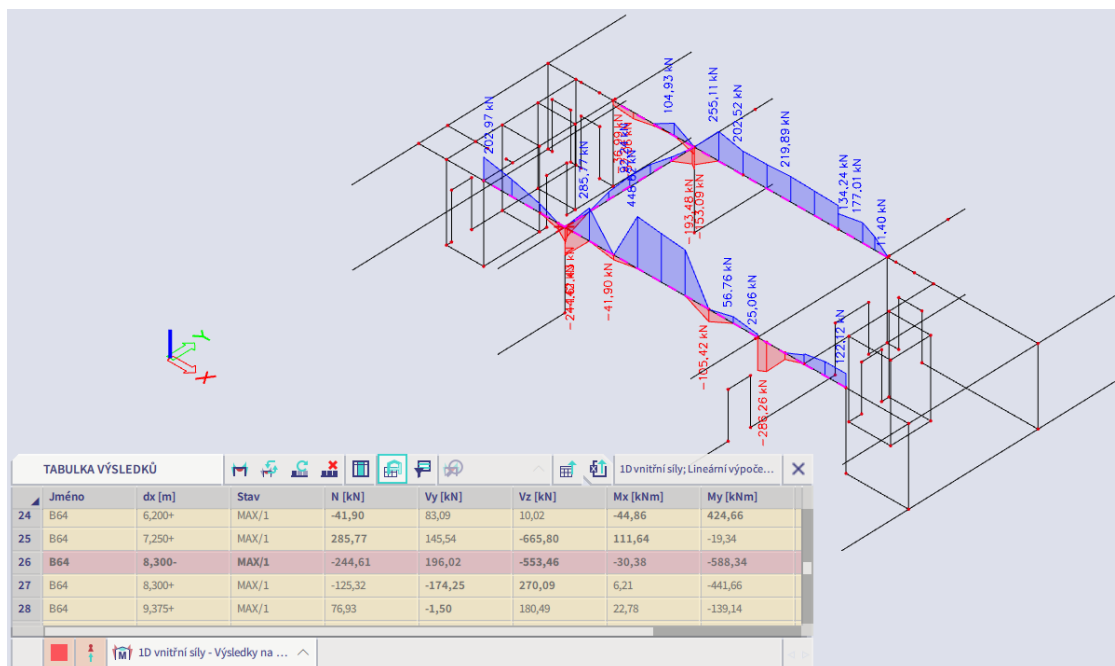
Obr. č. 57 – Řešené průřezy na rámu

6.1.1 Celkový model

6.1.1.1 Tuhý model konstrukce

Veškeré konstrukce tohoto modelu jsou modelovány s plnou tuhostí $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$.

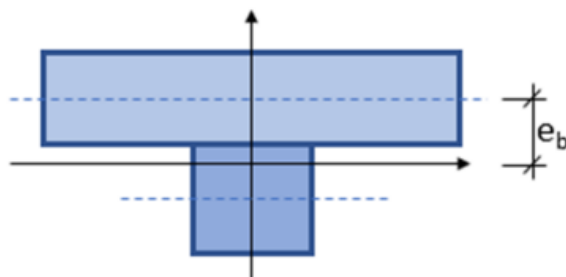
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



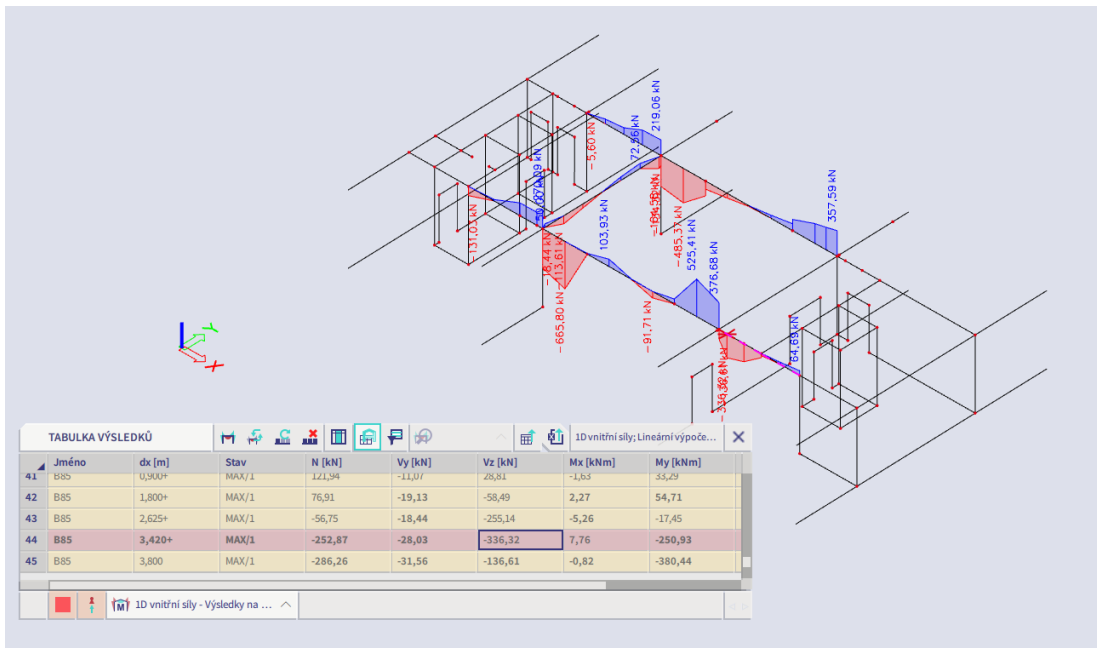
Obr. č. 58 – Vykreslené hodnoty normálových sil v průvlacích v 1PP pro konstrukce plné tuhosti

Reakce od normálové síly na nosníku jsou vzniklé v důsledku toho, že nosníky byly modelovány jako žebro. SCIA pracuje se žebry jako s nosníky excentricky připojenými k desce, tímto vzniká excentricita mezi osou desky a osou žebra. Je-li žebro modelováno pod deskou, což je tento případ, vzniká v něm normálová síla od excentricity. Stejná normálová síla, ale opačně orientovaná vznikne v desce nad žebrem. Tato tahová síla bude připočtena k momentovým reakcím jako dodatečný moment od normálové síly na rameni (excentricitě) e_b mezi těžištěm desky a celkovým těžištěm průřezu (viz obrázek č. 59).

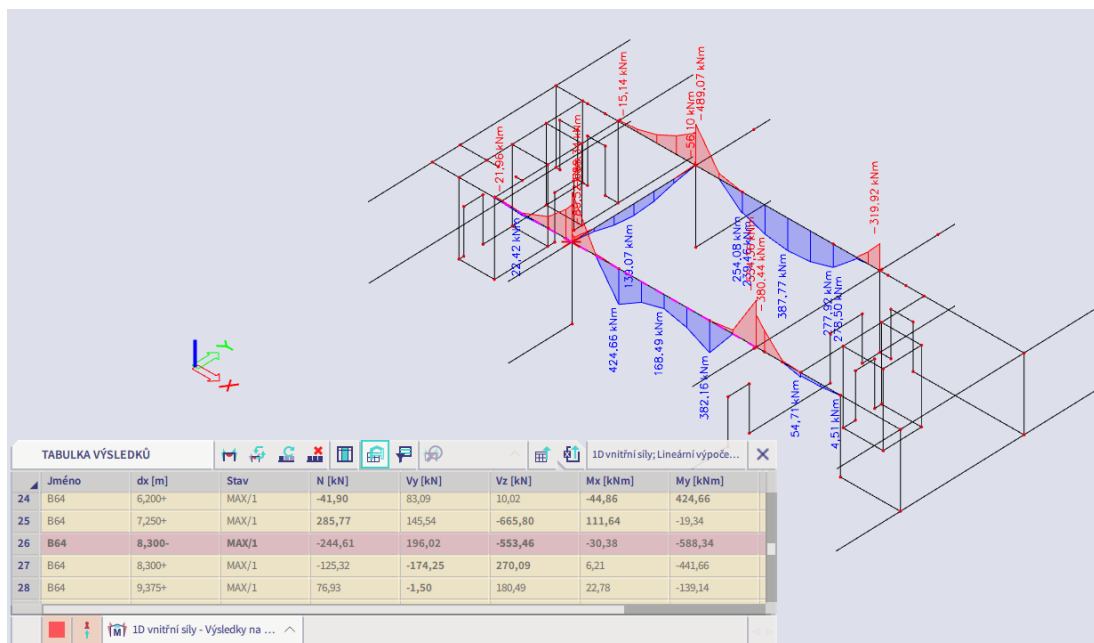
$$e_b = \frac{h_p}{2} - \frac{h_d}{2} = \frac{900}{2} - \frac{220}{2} = 340 \text{ mm}$$



Obr. č. 59 – Excentricita e_b žebra desky [9]



Obr. č. 60 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil v průvlacích v 1PP pro konstrukce plně tuhosti



Obr. č. 61 – Vykreslené hodnoty momentů v průvlacích v 1PP pro konstrukce plně tuhosti

Tab. č. 52 – Síly na nosníku – tuhý celkový model

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-441,66	-588,34	424,66	-554,36	-380,44
N [kN]	-125,32	-244,61	448,62	25,06	-286,26
$M_y + N e_b$ [kNm]	-484,27	-671,51	577,19	-554,36	-477,77
$ V_z $ [kN]	270,09	553,46	-	525,41	336,32

Případ, kdy by moment od excentricity snížil hodnotu výsledného působícího momentu, nebyl uvažován.

Pro zjištění, zda jsou reakce na nosníku relevantní, je vytvořena tabulka č. 53 pro porovnání těchto vnitřních sil s vnitřními silami na rámu z předběžného výpočtu. Jelikož u předběžného výpočtu byl pro výpočet zvolen model, ve kterém se neuvažovalo s navazujícím užším průvlakem (tudíž chybí hodnoty pro průřez 5), nemusí být hodnoty pro průřez 4 relevantní.

Tab. č. 53 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – tuhý model

M_y [kNm]	1	2	3	4
TUHÝ MODEL (B)	-484,27	-671,507	577,19	-554,36
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-2143,04	-2285,54	2537,22	-187,33
A/B	4,43	3,40	4,40	0,34

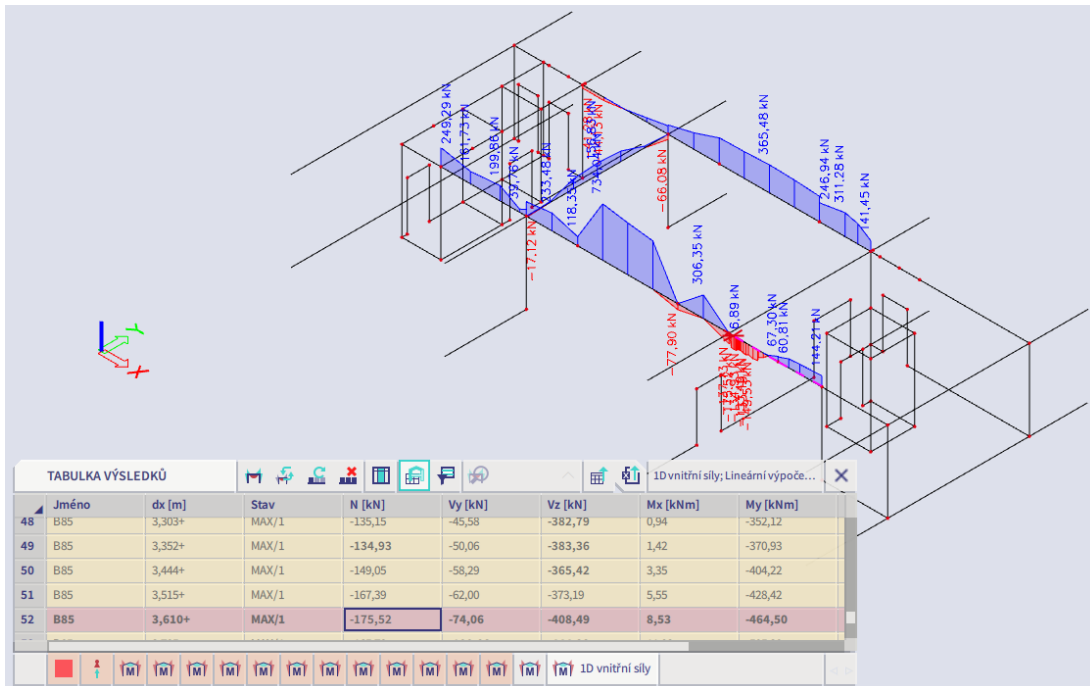
V tabulce č. 53 je uvedeno kolikrát je hodnota z předběžného výpočtu větší než z řešeného modelu.

Hodnoty z tuhého modelu jsou přibližně 4x menší než hodnoty z předběžného výpočtu (kromě průřezu 4, jehož hodnoty jsou zkreslené volbou odlišného modelu), tudíž nejsou vhodné pro návrh. Konstrukce by byla značně poddimenzovaná.

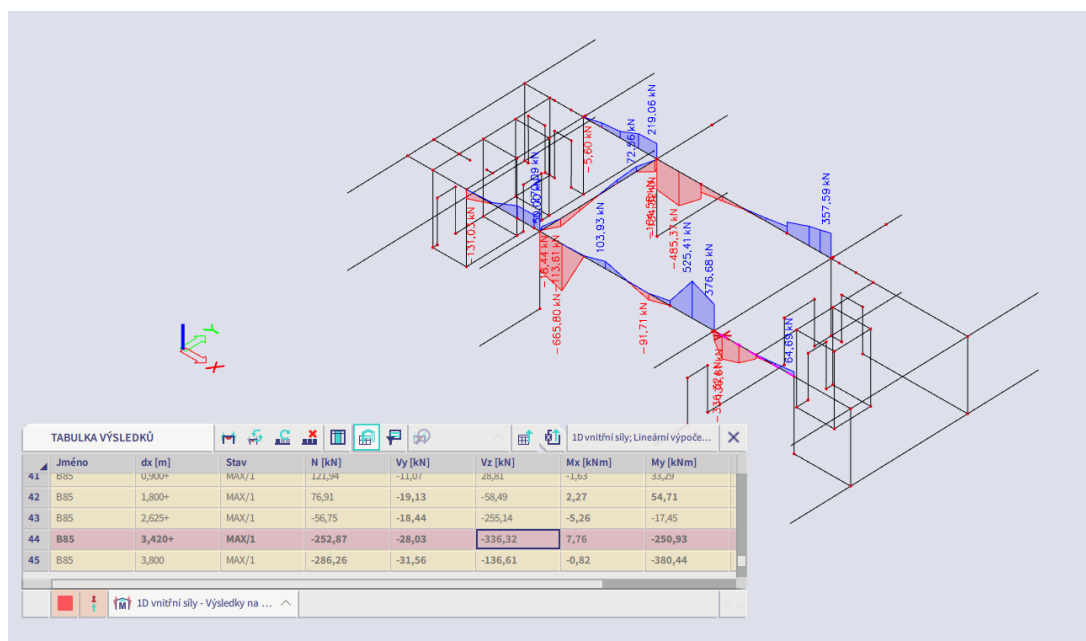
6.1.1.2 Model se sníženou tuhostí okolních stěn

Tuhost okolních stěn v tomto modelu je snížena na 10 GPa. Snížením tuhostí dojde k přenosu více sil do tuhých segmentů stěn (a sloupů) a dále do řešeného rámu. Hodnoty vnitřních sil budou větší než v předešlém modelu.

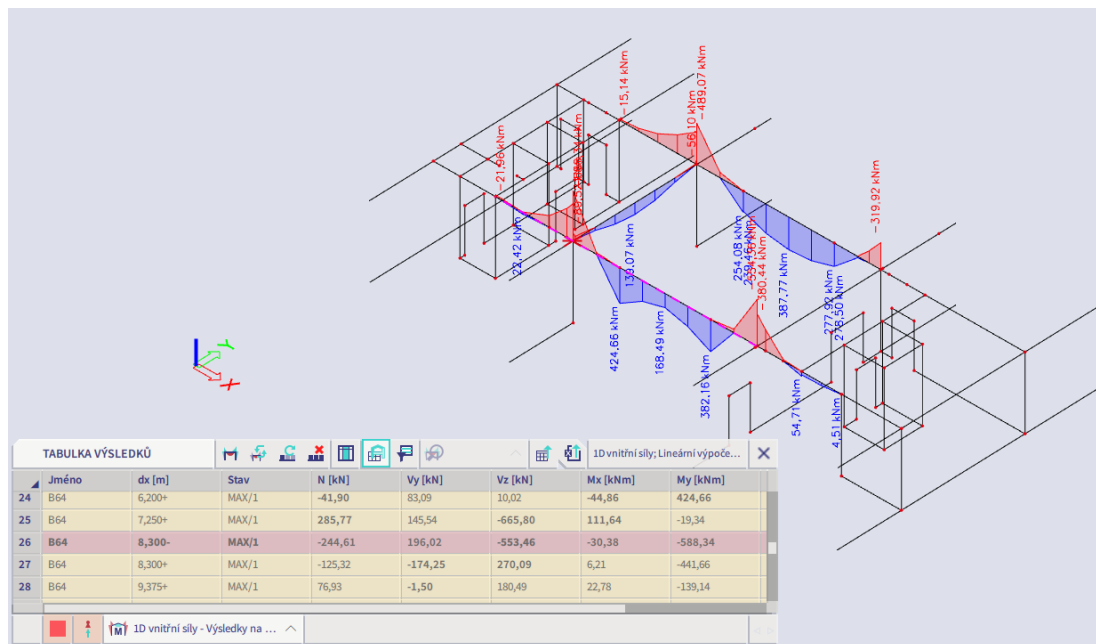
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 62 – Vykreslené hodnoty normálových sil v průvlacích v 1PP pro konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn



Obr. č. 63 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil v průvlacích v 1PP pro konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn



Obr. č. 64 – Vykreslené hodnoty momentů v průvlacích v 1PP pro konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn

Tab. č. 54 – Síly na nosníku – model se sníženou tuhostí okolních stěn

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-545,72	-698,59	583,22	-689,79	-557,60
N [kN]	88,24	187,13	734,04	-137,13	-175,52
$M_y + N e_b$ [kNm]	-545,72	-698,59	832,79	-736,414	-617,28
$ V_z $ [kN]	251,26	679,5	-	735,85	444,22

Tab. č. 55 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model se sníženou tuhostí okolních stěn

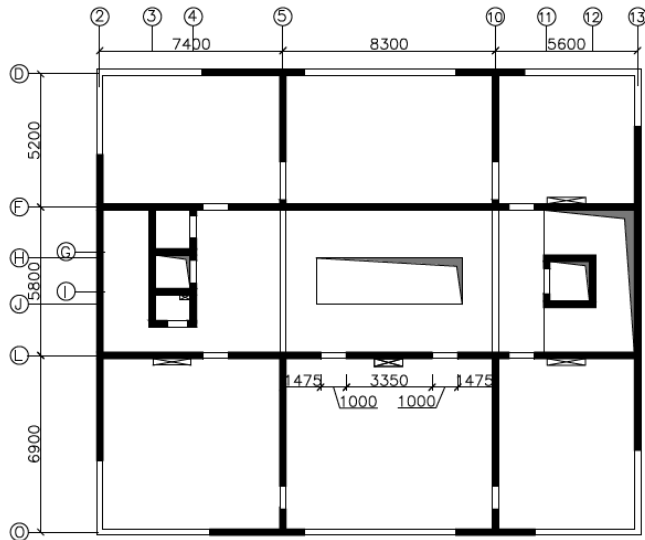
M_y [kNm]	1	2	3	4
MODEL SE SNÍŽENOU TUHOSTÍ (C)	-545,72	-698,59	832,7936	-736,414
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-2143,04	-2285,54	2537,22	-187,33
A/C	3,93	3,27	3,05	0,25

Hodnoty z modelu se sníženou tuhostí okolních stěn jsou také násobně menší než hodnoty z předběžného výpočtu (kromě průřezu 4) a to přibližně 3,5x. Došlo k přenosu více sil do rámu, ale návrh na tyto hodnoty by byl stále nevhodný a poddimenzovaný.

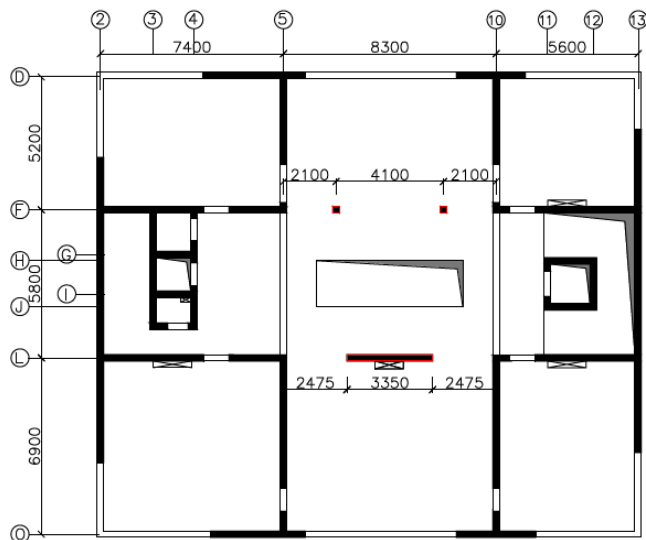
6.1.1.3 Model se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí 3np

Aby došlo ještě k většímu přenosu sil z konstrukce do rámu byl vytvořen model s upravenou kompozicí 3NP, kde jsou stěny, navazující na segment stěny a sloupy v 2NP, nahrazeny stejnými konstrukcemi jako ve 2NP. Touto úpravou se snižuje možnost přenesení sil do okolních konstrukcí stěn.

Tato úprava je provedena pouze pro účely porovnání sil na rámu. Kompozice 3NP zůstává stejná, hlavně kvůli kompaktnosti objemu 3NP.

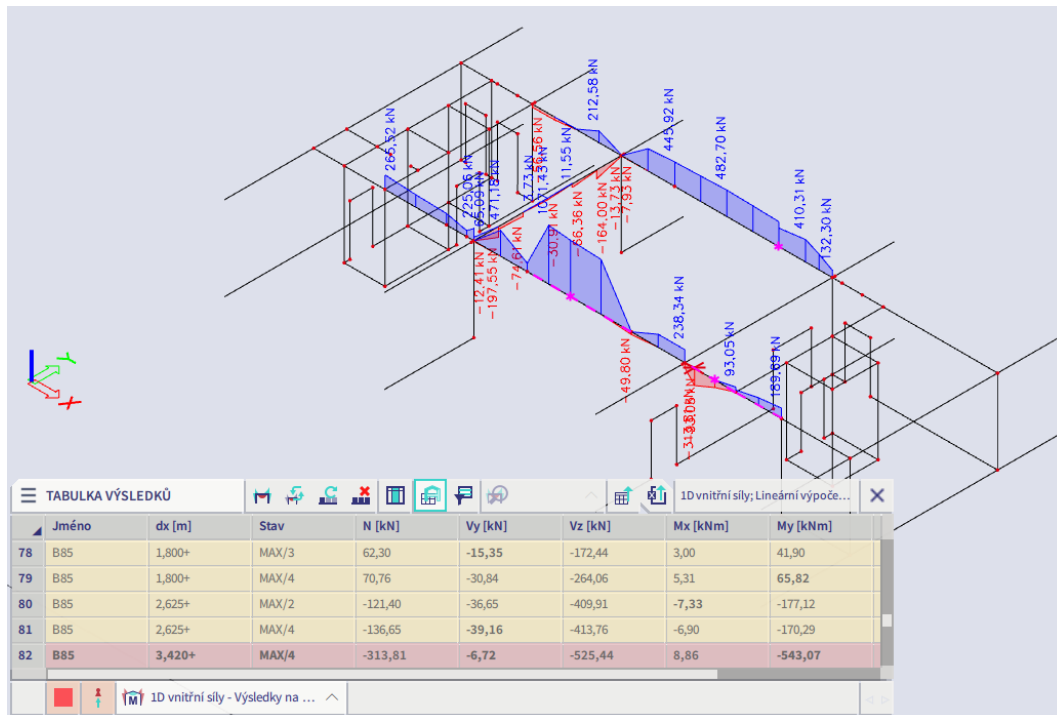


Obr. č. 65 – Původní kompozice 3NP

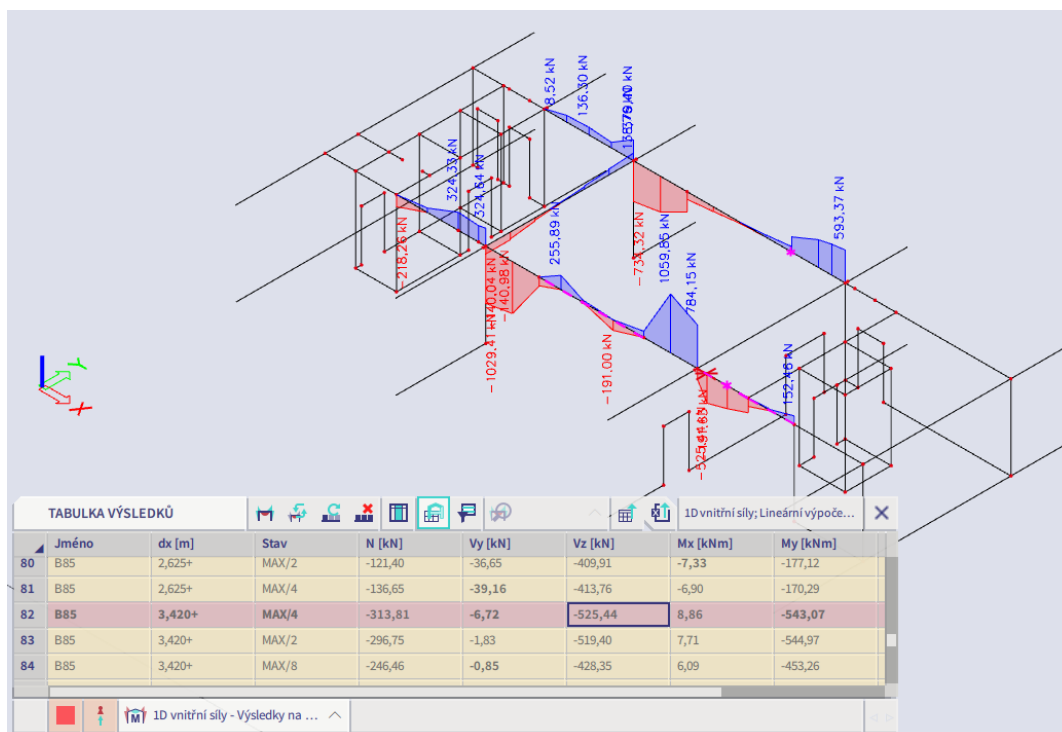


Obr. č. 66 – Upravená kompozice 3NP pro účel porovnání vnitřních sil

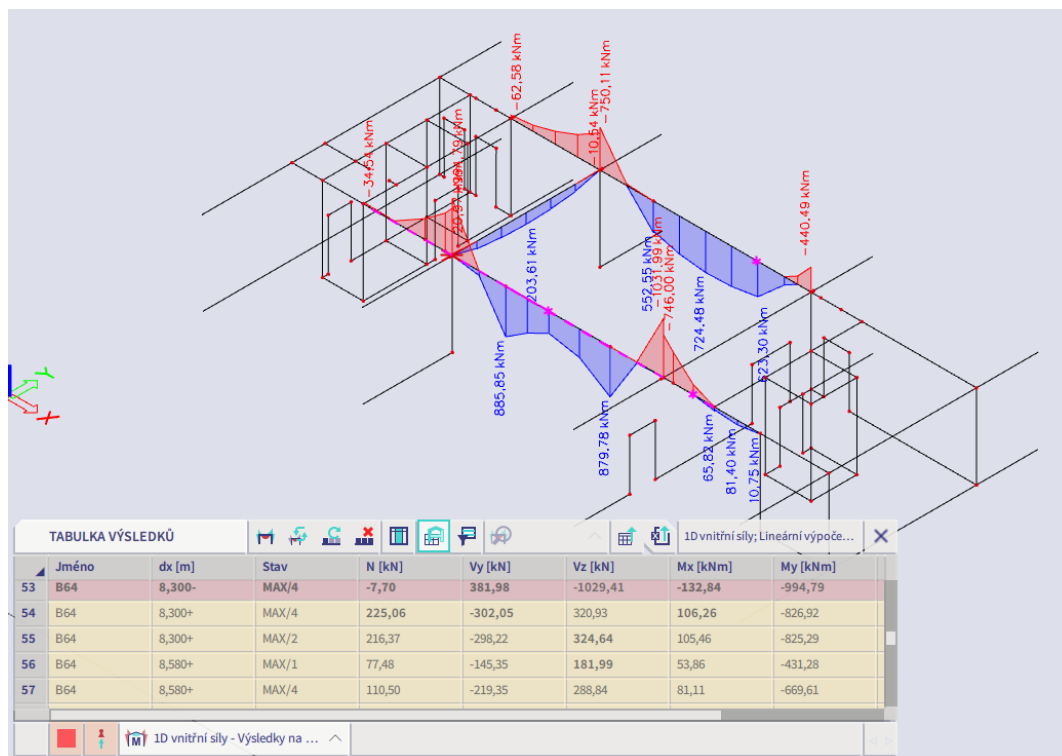
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 67 – Vykreslené hodnoty normálových sil v průvlacích v 1PP konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí



Obr. č. 68 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil v průvlacích v 1PP konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí



Obr. č. 69 – Vykreslené hodnoty momentů v průvlacích v 1PP konstrukci se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí

Tab. č. 56 – Síly na nosníku – model se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-826,92	-994,79	885,85	-1031,99	-746,00
N [kN]	225,06	-	1071,43	238,34	-313,81
$M_y + N e_b$ [kNm]	-826,92	-994,79	1250,14	-1031,99	-852,70
$ V_z $ [kN]	324,64	1029,41	-	784,15	525,44

Tab. č. 57 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model se sníženou tuhostí okolních stěn a upravenou kompozicí

M_y [kNm]	1	2	3	4
MODEL SE SNÍŽENOU TUHOSTÍ A UPRAVENOU KOMPOZICÍ (D)	-826,92	-994,79	1250,136	-1031,99
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-2143,04	-2285,54	2537,22	-187,33
A/D	2,59	2,30	2,03	0,18

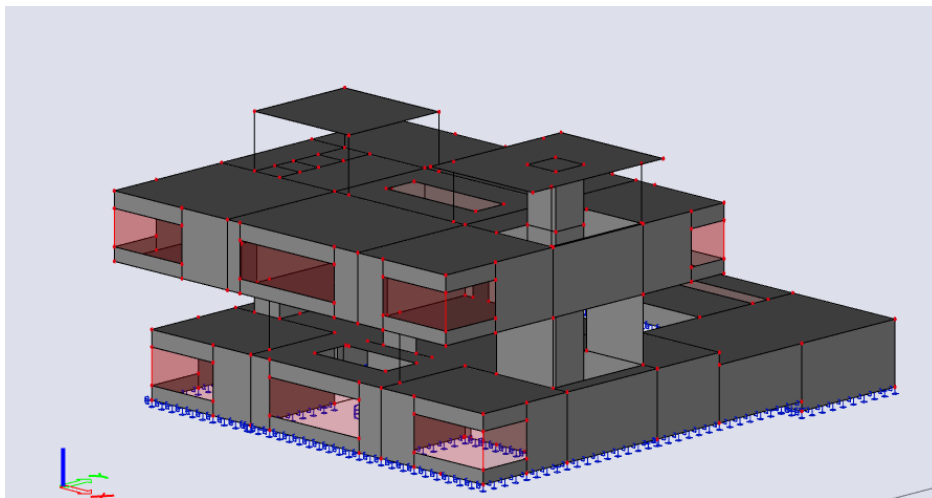
Hodnoty vnitřních sil z tohoto modelu jsou již poměrně vyšší než z původního tuhého modelu, ale stále jsou přibližně 2,5x menší (kromě průřezu 4) než hodnoty z předběžného výpočtu. Použití celého 3D modelu pro návrh rámu není vhodný a je potřeba najít jinou alternativu získání vnitřních sil na rámu.

6.1.2 Rozdělený model

Pro přesnější určení chování konstrukce a porovnání průběhů vnitřních sil na rámu byly vytvořeny pro tuhý model a model se sníženou tuhostí stěn jejich upravené varianty. Tyto modely zohledňují postup výstavby a reálné chování konstrukce – kdy není dokonale tuhá a nedochází k plnohodnotnému spolupůsobení všech navazujících konstrukcí.

Objekt byl v modelu rozdělen na dvě části:

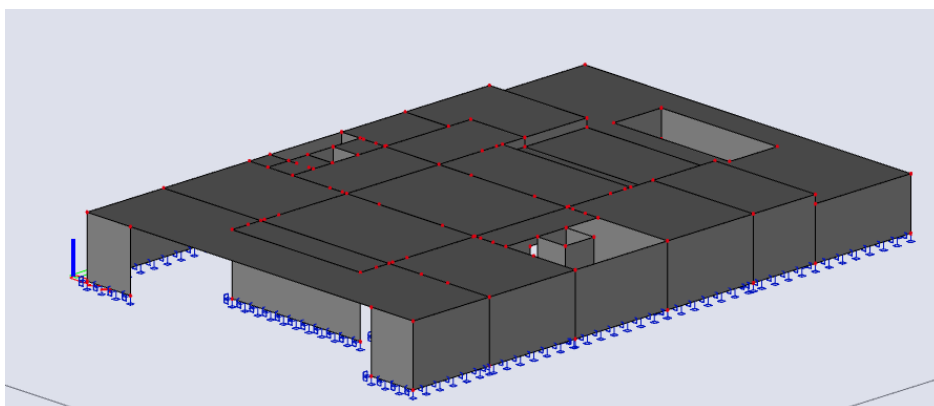
- (1) Konstrukce objektu bez podzemního podlaží (1PP) a desky nad ním viz obrázek č. 70.



Obr. č. 70 – Model objektu bez 1PP a desky nad ním

V místech, kde svíslé nosné konstrukce navazovali na 1PP je modelováno vetknutí, pro získání potřebných reakcí.

- (2) Konstrukce podzemního podlaží včetně desky a průvlaků viz obrázek č. 71.



Obr. č. 71 – Model 1PP a desky nad ním, včetně průvlaků

Model 1PP bude zatěžován liniovými a bodovými reakcemi z modelu nadzemních podlaží z obrázku č. 70 a plošným stálým i proměnným zatížením v plné ploše.

Pro získání více variant pro porovnání průběhu vnitřních sil byl vytvořen ještě samostatný model rámu, který zahrnuje i navazující užší pole průvlastu viz obrázek č.72. Dále jsou, oproti původnímu modelu rámu z předběžného výpočtu, konstrukce krajních stěn, které přenáší zatížení z průvlastů modelovány jako vetknutí a střední stěny jsou modelovány jako sloupy s průřezem 250x450 mm (v návaznosti na konstrukci průvlastu a stěny).

Rám bude taktéž zatěžován liniovými a bodovými reakcemi z modelu nadzemních podlaží z obrázku č. 70. stálým i proměnným liniovým zatížením z desky 1NP. Rám bude zatížen i zatížením z předběžného návrhu pro lepší porovnání s ostatními výsledky.



Obr. č. 72 – Upravený model rámu

6.1.2.1 Rám + zatížení z předběžného výpočtu

Kvůli poměrně složité konstrukci a nepravidelného uspořádání svislých konstrukcí objektu je vypočtené zatížení z předběžného návrhu uvažováno jako pouze orientační.

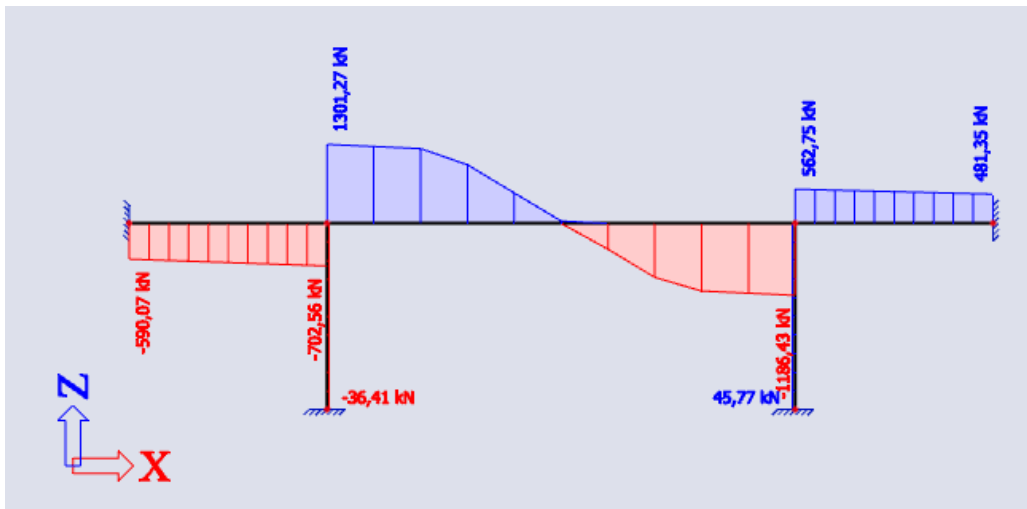
Tento výpočet je proveden pouze pro více zatížený rám, tedy rám nesoucí segment stěny.

Pro pravé pole je potřeba dopočítat zatížení od desky nad 1NP:

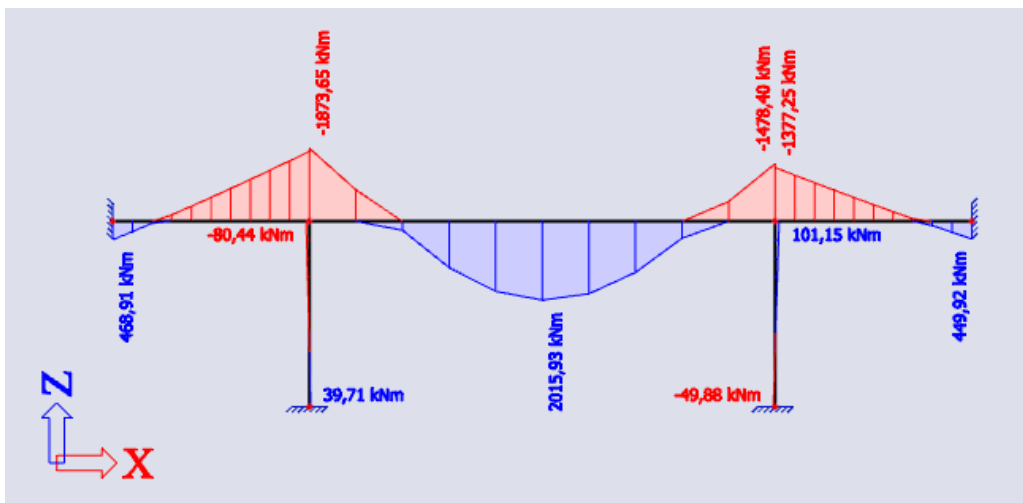
Tab. č. 58 – Zatížení na průvlast od desky 1NP – krajní pravé pole

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
1	podlaha P4 (viz 2.1.2)	-	1570	-	2,17	3,41	1,35	4,60
2	ŽB nosná konstrukce	220	1570	2500	5,50	8,64		11,66
3	podhled (viz 2.1.2)	-	1570	-	0,11	0,17		0,23
CELKEM						12,22		16,49
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL. [mm]	L [mm]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	f_k [kN/m]	y_f	f_d [kN/m]
4	příčky (viz 2.2.1)	-	1570	-	0,50	0,79	1,5	1,18
5	proměnná zatížení - kategorie A	-	1570	-	1,50	2,36		3,53
CELKEM						2,36		3,53
Σ						14,58		20,02

VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 73 – Vykreslení posouvajících sil na rámu od zatížení z předběžného výpočtu

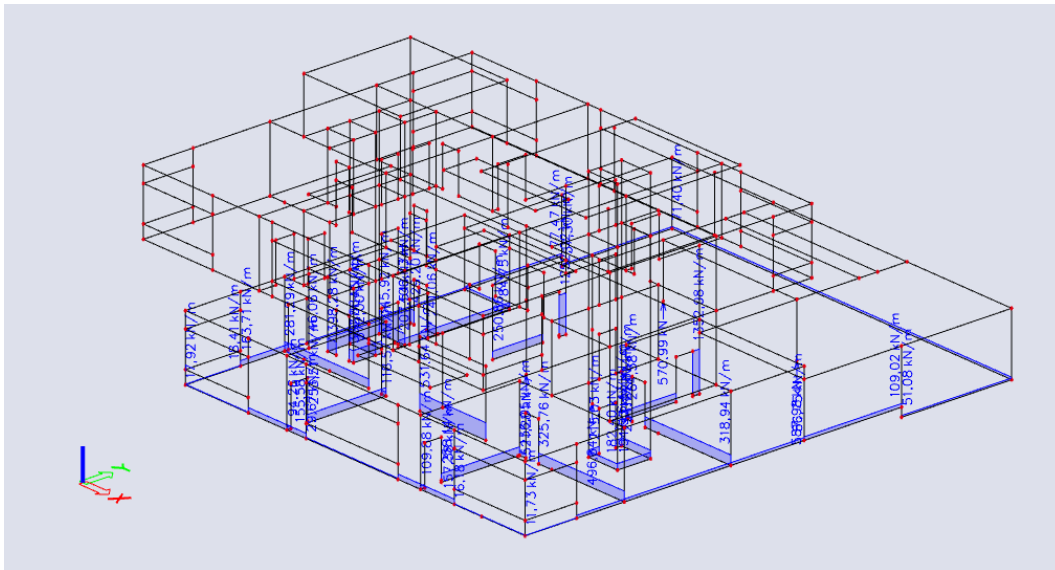


Obr. č. 74 – Vykreslení momentů na rámu od zatížení z předběžného výpočtu

K zatížení na rám není připočteno zatížení do sloupů, proto pro tento případ nejsou uvedeny hodnoty normálových sil.

6.1.2.2 Tuhý model

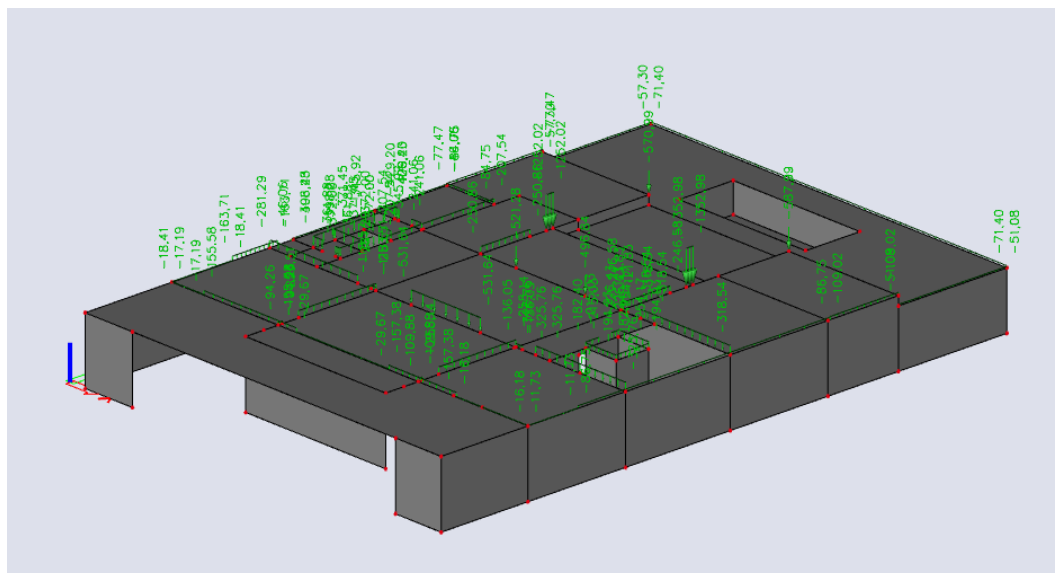
Veškeré konstrukce tohoto modelu jsou modelovány s plnou tuhostí $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$.



Obr. č. 75 – Reakce na modelu nadzemních podlaží ne směru Z (1)

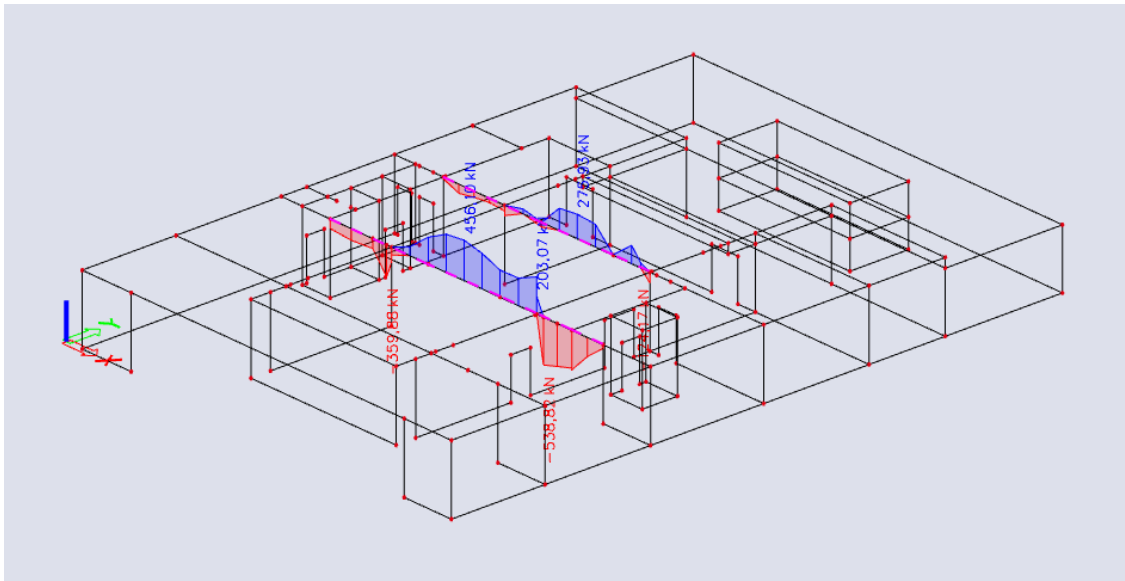
Hodnoty reakcí jsou na obrázku č. 75 vykresleny jako průměrné hodnoty na jednotlivých liniových podporách, pro zjednodušené zadávání zatížení.

MODEL 1PP:

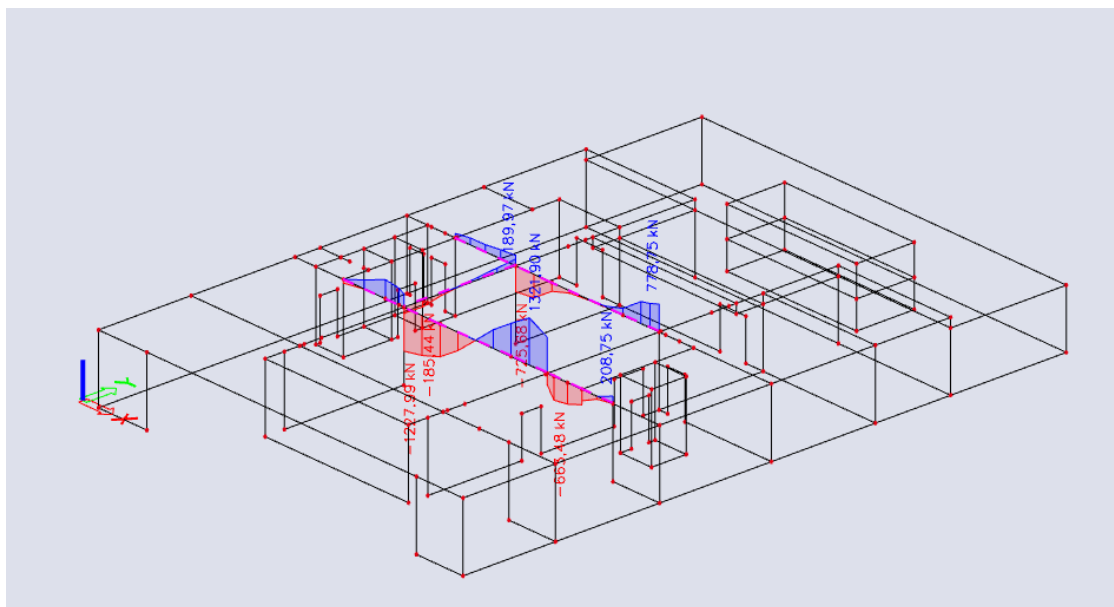


Obr. č. 76 – Model 1PP zatížený od reakcí z modelu nadzemních podlaží (2)

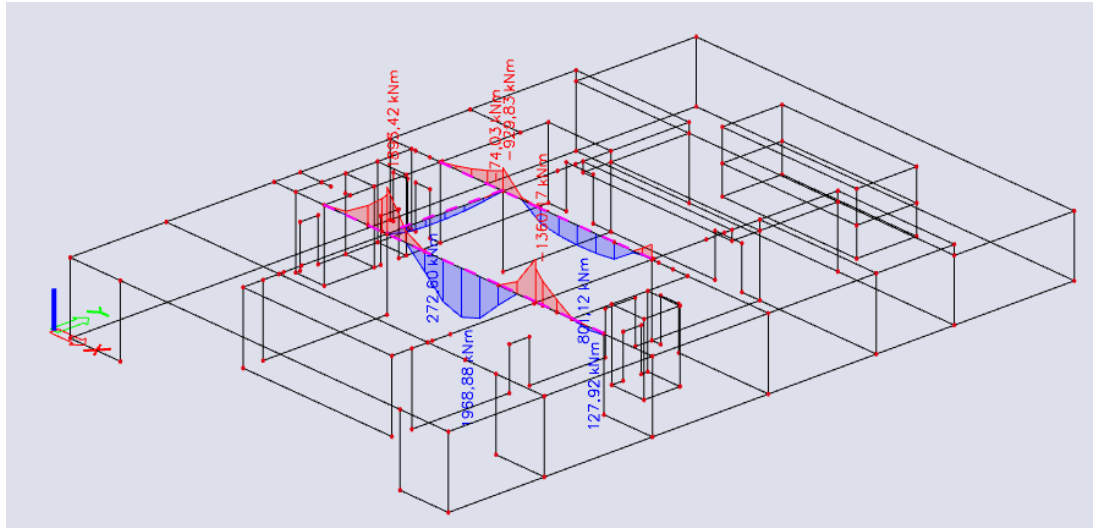
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 77 – Vykreslené hodnoty normálových sil v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu s plnou tuhostí



Obr. č. 78 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu s plnou tuhostí



Obr. č. 79 – Vykreslené hodnoty momentů v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu s plnou tuhostí

Tab. č. 59 – Síly na nosníku – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-1575,4	-1893,42	1968,88	-1762,21	-1360,17
N [kN]	-359,88	-	456,10	419,86	-538,82
$M_y + N e_b$ [kNm]	-1697,76	-1893,42	2123,95	-1762,21	-1543,37
$ V_z $ [kN]	533,06	1227,99	-	1321,90	663,48

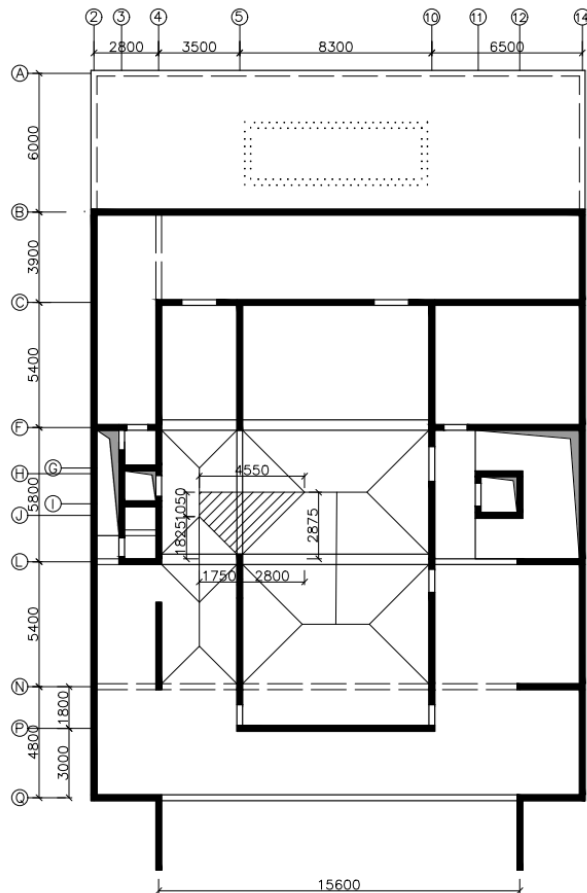
Tab. č. 60 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

M_y [kNm]	1	2	3	4	5
MODEL 1PP ZATÍŽENÝ SILAMI Z MODELU S PLNOU TUHOSTÍ (B)	-1697,76	-1893,42	2123,95	-1762,21	-1543,37
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-1793,21	-1873,65	2015,93	-1478,40	-1377,25
A/B	1,06	0,99	0,95	0,84	0,89

Hodnoty vnitřních sil z tohoto modelu jsou velmi podobné hodnotám z předběžného výpočtu v kapitole 6.1.2.1, liší se pouze v desítkách kNm.

MODEL RÁMU:

Pro dopočet normálových sil je potřeba dopočítat bodovou sílu od kolmého průvlnaku a zatížení na něj:



Obr. č. 80 – Zatěžovací plocha pro dopočet zatížení od kolmého nosníku

Tab. č. 61 – Zatížení na levý sloup od kolmého nosníku

	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	TL.(L) [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	g_k [kN/m ²]	F_k [kN]	γ_f	F_d [kN]
1	podlaha P2 (viz 2.1.2) 1NP	-	7,46	-	2,03	15,14	1,35	20,44
3	ŽB nosná konstrukce - deska 1NP	0,22	7,46	2500	-	41,03		55,39
4	podhled (viz 2.1.2) 1NP	-	7,46		0,11	0,82		1,11
5	průvlnak	2,90	0,23	2500		16,31		22,02
CELKEM						73,31		98,96
	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	TL.(L) [m]	A [m ²]	ρ [kg/m ³]	q_k [kN/m ²]	F_k [kN]	γ_f	F_d [kN]
6	příčky (viz 2.2.1) 1NP	-	7,46	-	0,5	3,73	1,5	5,60
7	proměnná zatížení 1NP - kategorie A	-	7,46	-	1,50	11,19		16,79
CELKEM						14,92		22,38
Σ						88,23		121,34

Dále je potřeba zadat hodnoty zatížení do uvažovaných sloupů od konstrukce nadzemních podlaží. Tato síle je brána jako liniové zatížení nad sloupy přenásobené polovinou rozměru sloupu (na osu).

ZATÍŽENÍ DO SLOUPŮ OD NADZEMNÍCH PODLAŽÍ:

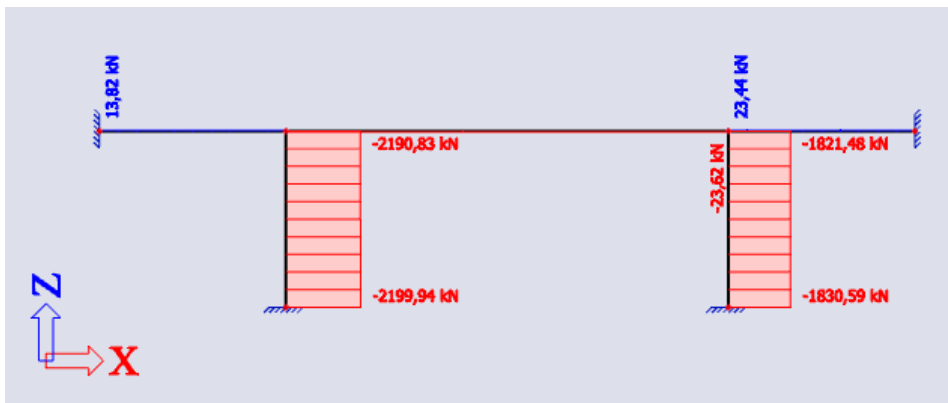
Pro levý sloup:

$$F_{d,l} = f_{d,l} \frac{b}{2} 152,23 \frac{0,45}{2} = 34,25 \text{ kN}$$

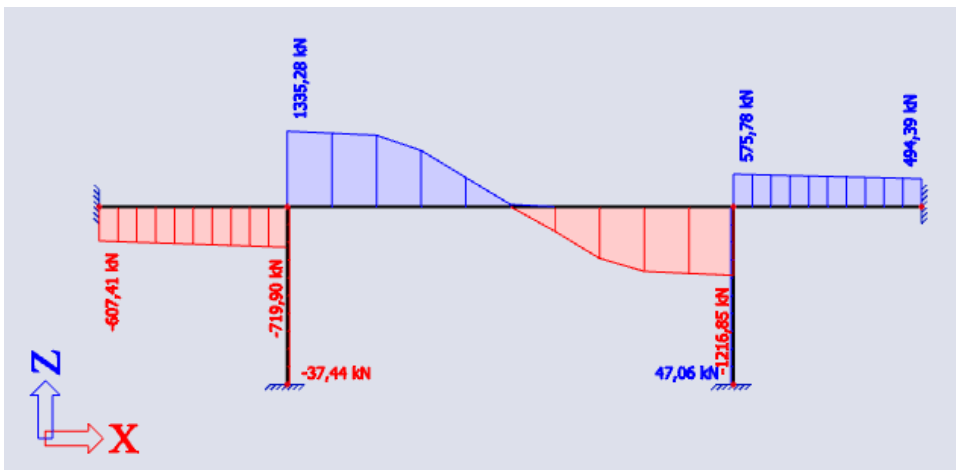
Pro pravý sloup:

$$F_{d,p} = f_{d,p} \frac{b}{2} = 262,31 \frac{0,45}{2} = 59,02 \text{ kN}$$

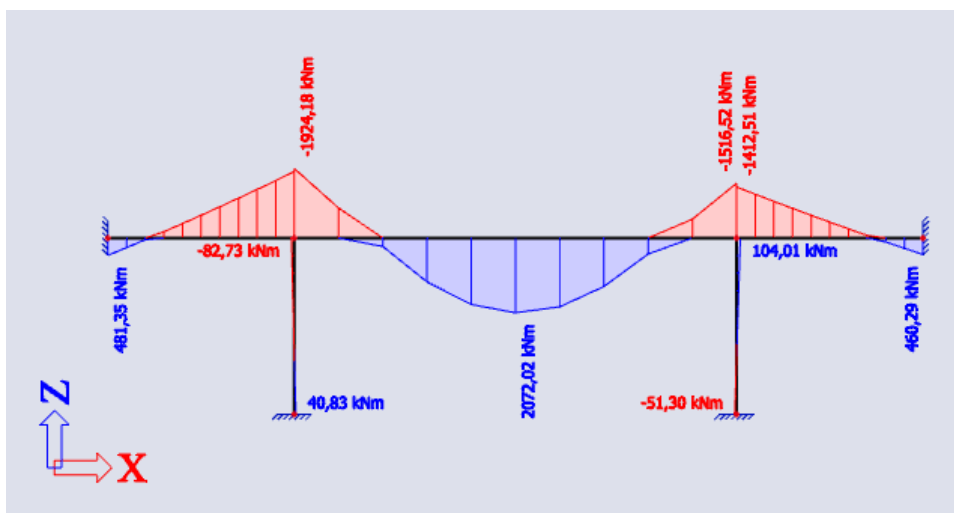
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 81 – Vykreslené hodnoty normálových sil na rámu, zatíženém silami z modelu s plnou tuhostí



Obr. č. 82 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil na rámu, zatíženém silami z modelu s plnou tuhostí



Obr. č. 83 – Vykreslené hodnoty momentů na rámu, zatíženém silami z modelu s plnou tuhostí

Tab. č. 62 – Síly na nosníku – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-1841,45	-1924,18	2072,02	-1516,52	-1412,51
$ V_z $ [kN]	719,9	1335,28	0	1216,85	575,78

Tab. č. 63 – Síly ve sloupech – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

průřez	6	7	8	9
M_y [kNm]	-82,73	40,83	104,01	-51,30
N [kN]	-2190,83	-2199,94	-1821,48	-1830,59

Tab. č. 64 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

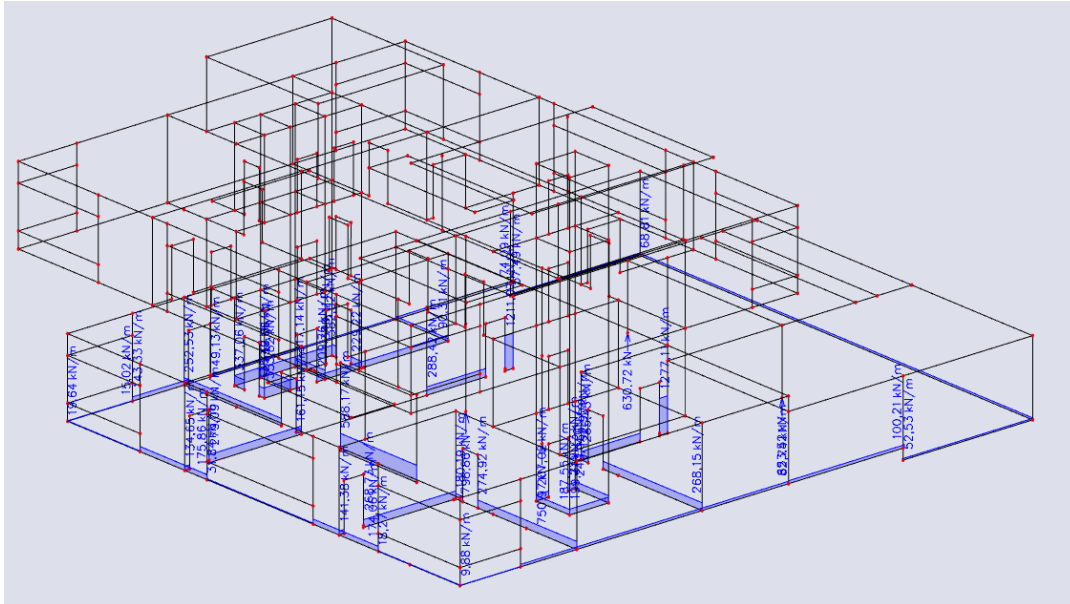
M_y [kNm]	1	2	3	4	5
MODEL 1PP ZATÍŽENÝ SILAMI Z MODELU S PLNOU TUHOSTÍ (B)	-1697,76	-1893,42	2123,95	-1762,21	-1543,37
RÁM ZATÍŽENÝ SILAMI Z MODELU S PLNOU TUHOSTÍ (C)	-1841,45	-1924,18	2072,02	-1516,52	-1412,51
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-1793,21	-1873,65	2015,93	-1478,4	-1377,25
A/C	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98

Hodnoty momentů na rámu zatíženém od vrchních konstrukcí jsou téměř stejné jako z předběžného návrhu z kapitoly 6.1.2.1, liší se v desítkách kNm.

Oproti hodnotám z celkového modelu 1PP jsou na samostatném rámu síly přerozděleny příznivěji – hodnoty momentu v poli jsou menší a hodnoty nad podporou naopak vyšší. Došlo tedy k přesunu sil z více do méně namáhaných průřezů – podobně jako u redistribuce sil.

6.1.2.3 Model se sníženou tuhostí okolních stěn

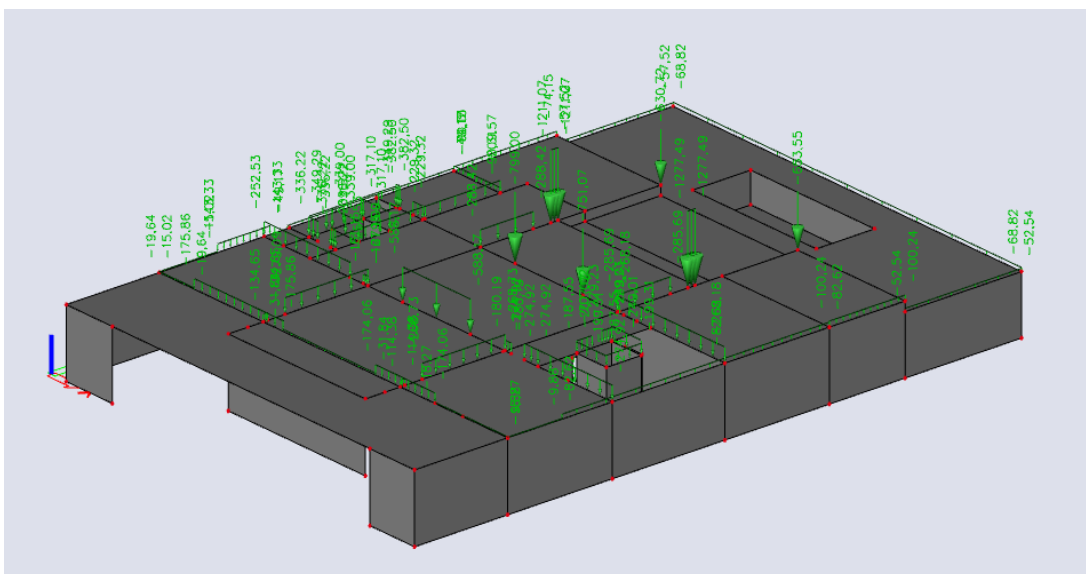
Tuhost okolních stěn v tomto modelu je snížena na $E_{cm} = 10$ GPa



Obr. č. 84 – Reakce na modelu nadzemních podlaží se sníženou tuhostí stěn

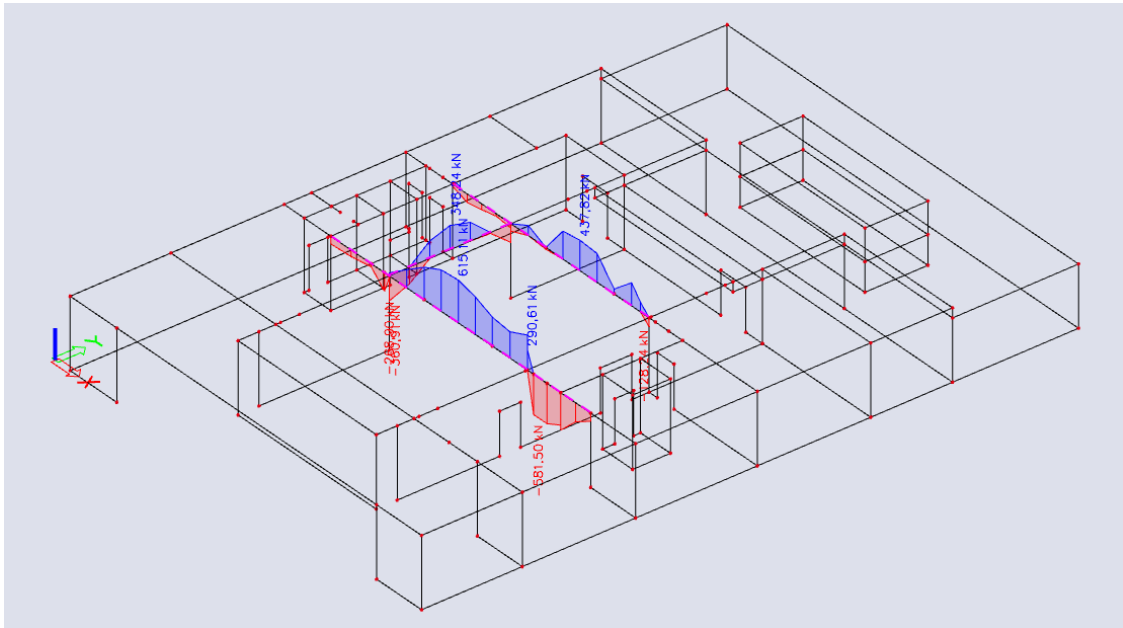
Hodnoty reakcí jsou na obrázku č. 84 vykresleny jako průměrné hodnoty na jednotlivých liniových podporách.

MODEL 1PP:

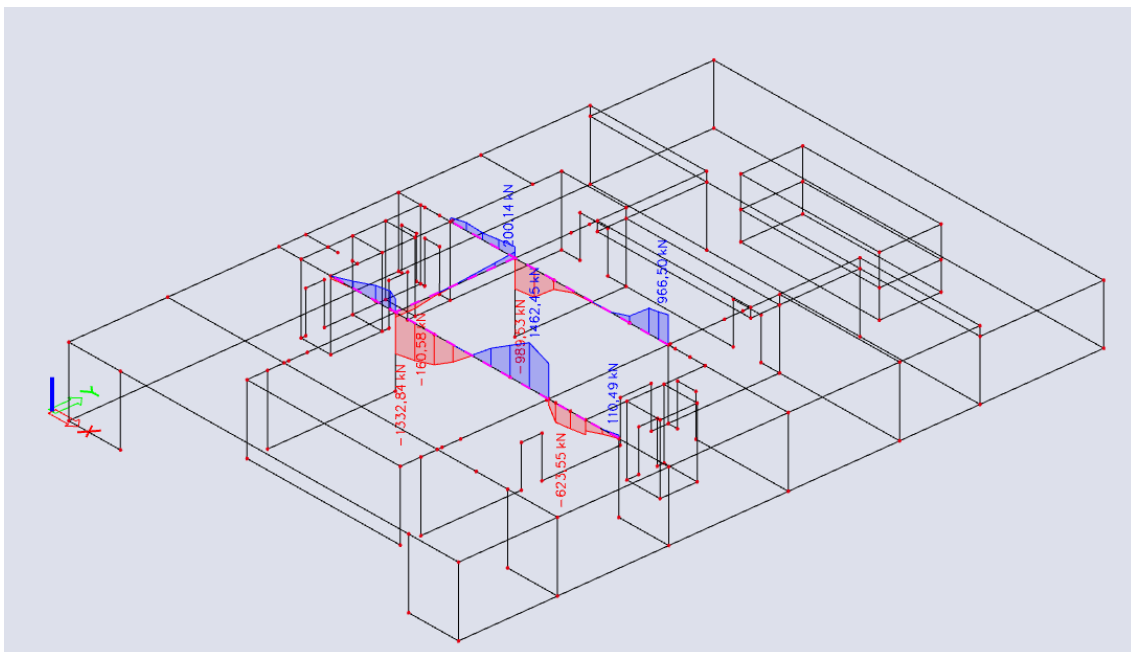


Obr. č. 85 – Model 1PP zatížený od reakcí z modelu nadzemních podlaží se sníženou tuhostí stěn

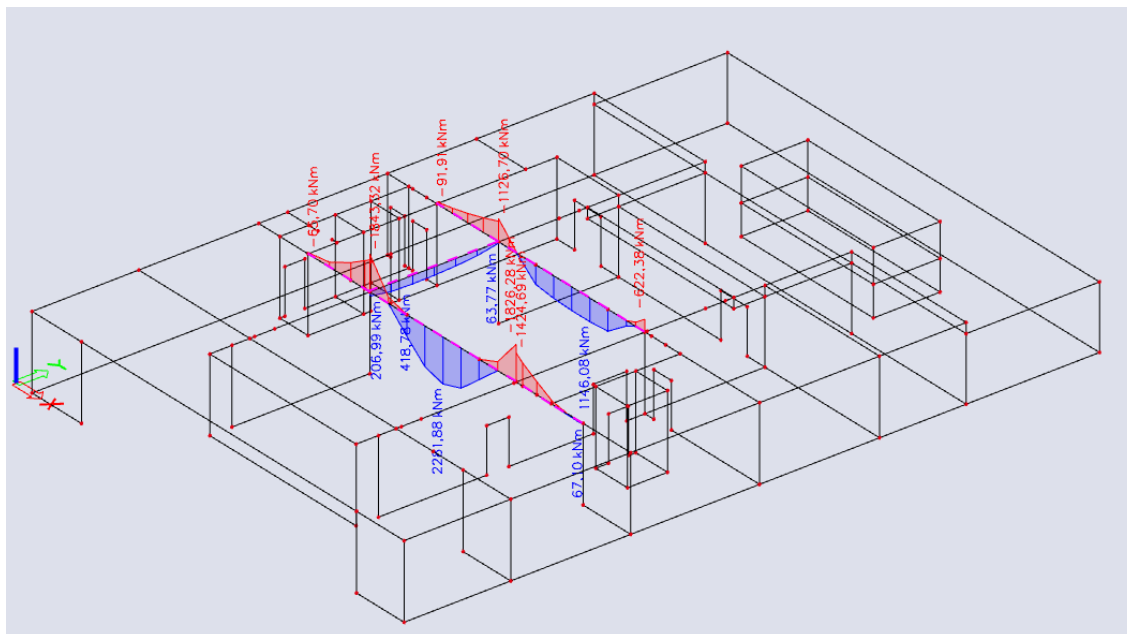
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 86 – Vykreslené hodnoty normálových sil v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu se sníženou tuhostí



Obr. č. 87 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu se sníženou tuhostí



Obr. č. 88 – Vykreslené hodnoty momentů v průvlacích v modelu 1PP, zatíženého silami z modelu se sníženou tuhostí

Tab. č. 65 – Síly na nosníku – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-1743,85	-1843,32	2281,88	-1826,28	-1424,69
N [kN]	-268,90	0	615,11	290,61	-581,50
$M_y + N e_b$ [kNm]	-1835,28	-1843,32	2491,02	-1826,28	-1622,40
$ V_z $ [kN]	637,73	1332,84	-	1462,45	623,55

Tab. č. 66 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

M_y [kNm]	1	2	3	4	5
MODEL 1PP ZATÍŽENÝ SILAMI Z MODELU S PLNOU TUHOSTÍ (B)	-1697,76	-1893,42	2123,95	-1762,21	-1543,37
MODEL 1PP ZAT. SILAMI Z MODELU SE SNÍŽENOU TUHOSTÍ (D)	-1835,28	-1843,32	2491,02	-1826,28	-1622,40
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-1793,21	-1873,65	2015,93	-1478,40	-1377,25
A/D	0,98	1,02	0,81	0,81	0,85

Oproti hodnotám z modelu, zatíženého tuhou konstrukcí, jsou tyto hodnoty o něco vyšší a to i od hodnot z předběžného výpočtu z kapitoly 6.1.2.1.

MODEL RÁMU:

ZATÍŽENÍ DO SLOUPŮ OD NADZEMNÍCH PODLAŽÍ:

Pro levý sloup:

$$F_{d,l} = f_{d,l} \frac{b}{2} = 209,12 \frac{0,45}{2} = 47,05 \text{ kN}$$

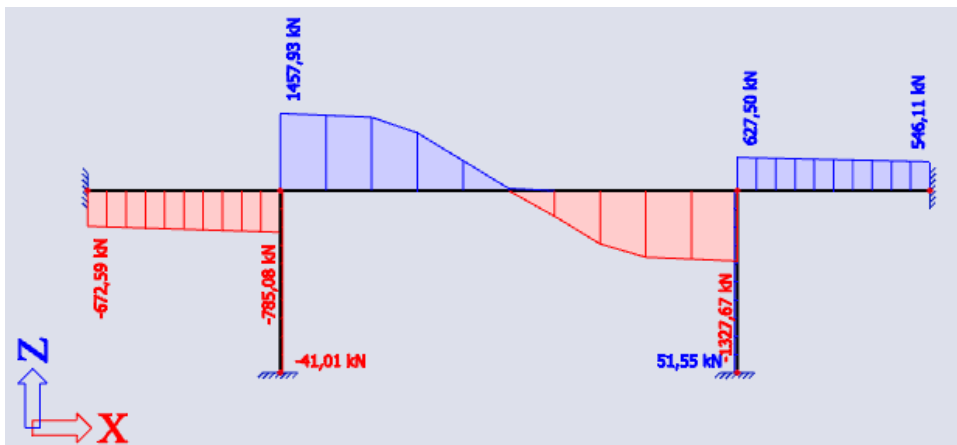
Pro pravý sloup:

$$F_{d,p} = f_{d,p} \frac{b}{2} = 280,66 \frac{0,45}{2} = 63,15 \text{ kN}$$

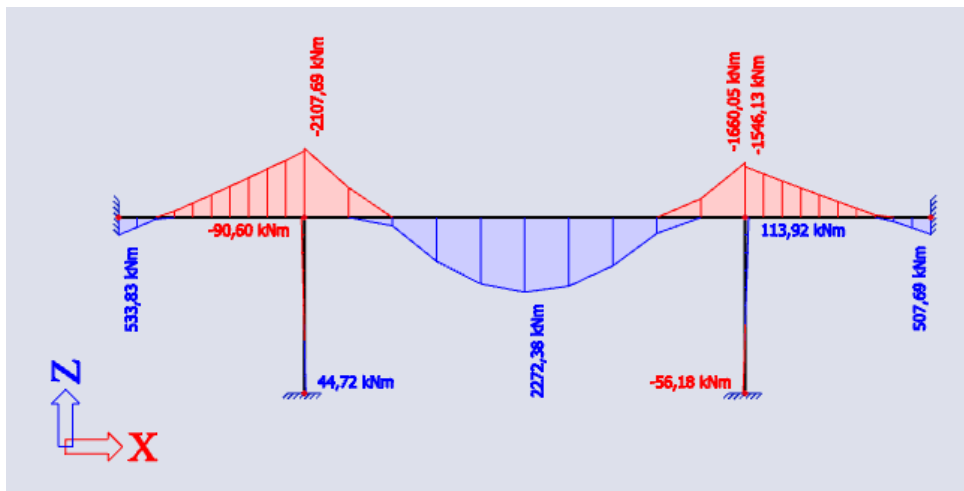
VNITŘNÍ SÍLY NA KONSTRUKCI:



Obr. č. 89 – Vykreslené hodnoty normálových sil na rámu, zatíženém silami z modelu se sníženou tuhostí



Obr. č. 90 – Vykreslené hodnoty posouvajících sil na rámu, zatíženém silami z modelu se sníženou tuhostí



Obr. č. 91 – Vykreslené hodnoty momentů na rámu, zatíženém silami z modelu se sníženou tuhostí

Tab. č. 67 – Síly na nosníku – model 1PP zatížený silami z modelu se sníženou tuhostí

průřez	1	2	3	4	5
M_y [kNm]	-2017,09	-2107,69	2272,38	-1660,05	-1546,13
$ V_z $ [kN]	785,08	1457,93	0	1327,67	627,50

Tab. č. 68 – Síly ve sloupech – model 1PP zatížený silami z modelu se sníženou tuhostí

průřez	6	7	8	9
M_y [kNm]	-90,60	44,72	113,92	-56,18
N [kN]	-2384,91	-2394,01	-1986,04	-1995,14

Tab. č. 69 – Porovnání momentů na nosníku s hodnotami z předběžného výpočtu – model 1PP zatížený silami z modelu s plnou tuhostí

M_y [kNm]	1	2	3	4	5
MODEL 1PP ZAT. SILAMI Z MODELU SE SNÍŽENOU TUHOSTÍ (D)	-1835,28	-1843,32	2491,02	-1826,28	-1622,40
RÁM ZATÍŽENÝ SILAMI Z MODELU SE SNÍŽENOU TUHOSTÍ (C)	-2017,09	-2107,69	2272,38	-1660,05	-1546,13
PŘEDB. VÝPOČET (A)	-1793,21	-1873,65	2015,93	-1478,40	-1377,25
A/E	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89

Oproti hodnotám z celkového modelu 1PP jsou na samostatném rámu síly přerozděleny příznivěji – hodnoty momentu v poli jsou menší a hodnoty nad podporou naopak vyšší. Došlo tedy k přesunu sil z více do méně namáhaných průřezů – podobně jako u redistribuce sil.

V navazujících výpočtech pro dimenzování nosné výztuže řešeného rámu budou uvažovány hodnoty vnitřních sil z tohoto modelu - model se sníženou tuhostí stěn v konstrukci nad rámem.

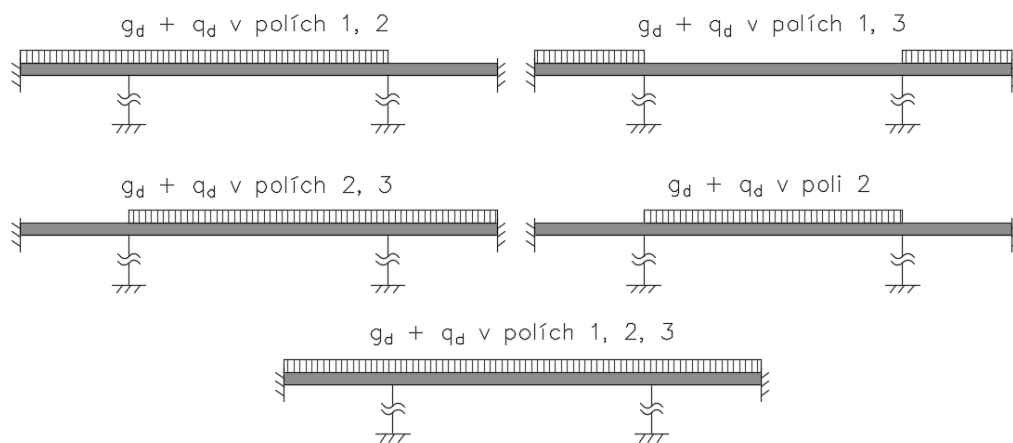
6.2 PŘÍČEL – MSÚ

Mezní stav únosnosti je počítán na návrhovou kombinaci zatížení. Počítá se tedy s dílčími součiniteli zatížení:

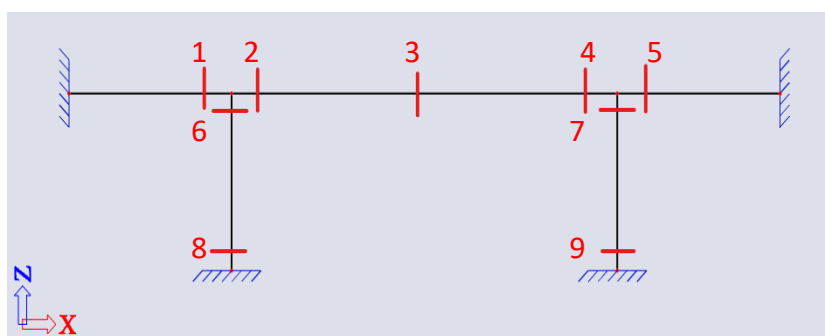
- pro stálá zatížení $\gamma_G = 1,35$
- pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1,5$

VSTUPNÍ HODNOTY PRO VÝPOČET:

Návrh výztuže příčle bude proveden pro maximální hodnoty vnitřních sil v daném průřezu. Pro získání těchto maximálních hodnot je potřeba vytvořit kombinace zatěžovacích stavů pro proměnné zatížení, které jsou znázorněny na obrázku č. 94. Hodnoty vnitřních sil z těchto kombinací jsou zapsány v tabulce č. 67.



Obr. č. 92 – Kombinace zatížení na rámu



Obr. č. 57 – Řešené průřezy na rámu

Tab. č. 70. – Vstupní hodnoty pro výpočet MSÚ příčle

zatěžovací stav	$M_{Ed,1}$ [kNm]	$M_{Ed,2}$ [kNm]	$M_{Ed,3}$ [kNm]	$M_{Ed,4}$ [kNm]	$M_{Ed,5}$ [kNm]	$V_{Ed,1}$ [kN]	$V_{Ed,2}$ [kN]	$V_{Ed,4}$ [kN]	$V_{Ed,5}$ [kN]
$g_d + q_d$ v polích 1,2	-2017,36	-2107,97	2272,78	-1658,97	-1544,94	-785,18	1458,09	-1327,50	622,43
$g_d + q_d$ v polích 1,3	-1985,02	-2074,13	2240,68	-1633,69	-1521,55	-773,42	1427,63	-1298,82	618,20
$g_d + q_d$ v polích 2,3	-2016,28	-2106,97	2272,68	-1660,16	-1546,23	-778,79	1457,64	-1327,77	627,54
$g_d + q_d$ v polích 2	-2016,55	-2107,25	2273,08	-1659,08	-1545,04	-778,89	1457,81	-1327,61	622,47
$g_d + q_d$ dv polích 1, 2, 3	-2017,09	-2107,69	2272,38	-1660,05	-1546,13	-785,08	1457,93	-1327,67	627,50
Maximální hodnoty	-2017,36	-2107,97	2273,08	-1660,16	-1546,23	-785,18	1458,09	-1327,77	627,54

6.2.1 Průřez 3 – pole

Z důvodů návazností na užší příčel a použití čtyřstržňných třmínků je potřeba zvolit čtyři pruty v řadě, takto se pruty vlezou na šířku průřezu a mohou přímo navazovat na užší příčel.

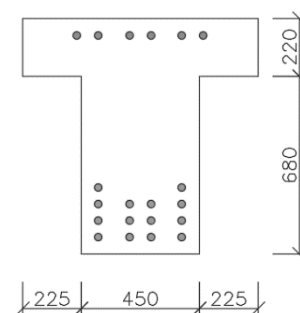
VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{Ed} = 2273,08 \text{ kNm}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

NÁVRH VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 1 řada – 5. $6 \times \varnothing 28 \text{ mm}$
- Spodní výztuž: 4 řady – 4. $2 \times \varnothing 28 \text{ mm}$
– 3. $4 \times \varnothing 28 \text{ mm}$
– 2. $4 \times \varnothing 28 \text{ mm}$
– 1. $4 \times \varnothing 28 \text{ mm}$



Obr. č. 93 – Skica průřezu 3

Výztuž byla zvolena s ohledem na její využití. Při zvolení dvou řad tlačené výztuže by nebyla plně využita.

Pro posouzení mezipodporového průřezu byla uvažována pouze šířka žebra, spolupůsobící deska byla v prospěch bezpečnosti zanedbána.

VÝPOČET A POSOUZENÍ – OHYB:

$$c = \emptyset + 10 = 28 + 10 = 38 \approx 40 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{tř} = 12 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 35 \text{ mm}$$

$$a_{min} = \max(1,2\emptyset; d_g; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 28; 22; 20) = 33,6 \text{ mm}$$

$$A_{s,5} = 3695 \text{ mm}^2$$

$$d_5 = c + \emptyset_{tř} + \frac{\emptyset_5}{2} = 40 + 12 + \frac{28}{2} = 66 \text{ mm}$$

$$A_{s,1} = A_{s,2} = A_{s,3} = 2463 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = h - \left(c + \emptyset_{tř} + \frac{\emptyset_1}{2} \right) = 900 - \left(40 + 12 + \frac{28}{2} \right) = 834 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 - \left(a + \frac{\emptyset_1}{2} + \frac{\emptyset_2}{2} \right) = 834 - \left(35 + \frac{28}{2} + \frac{28}{2} \right) = 771 \text{ mm}$$

$$d_3 = d_2 - \left(a + \frac{\emptyset_2}{2} + \frac{\emptyset_3}{2} \right) = 771 - \left(35 + \frac{28}{2} + \frac{28}{2} \right) = 708 \text{ mm}$$

$$A_{s,4} = 1232 \text{ mm}^2$$

$$d_4 = d_3 - \left(a + \frac{\emptyset_3}{2} + \frac{\emptyset_4}{2} \right) = 708 - \left(35 + \frac{28}{2} + \frac{28}{2} \right) = 645 \text{ mm}$$

TLAČENÁ VÝŠKA PRŮŘEZU:

$$A_{s,tláčená} = A_{s,5} = 3695 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,tažená} = A_{s,1} + A_{s,2} + A_{s,3} + A_{s,4} = 8621 \text{ mm}^2$$

$$x = \frac{(A_{s,tažená} - A_{s,tláčená}) \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{(8621 - 3695) \cdot 435}{0,8 \cdot 450 \cdot 20} = 298 \text{ mm}$$

POMĚRNÉ PŘETVOŘENÍ OCELI:

$$\varepsilon_{s,5} = \frac{3,5(x - d_5)}{x} = \frac{3,5(298 - 66)}{298} = 2,72 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,18 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s,4} = \frac{3,5(d_4 - x)}{x} = \frac{3,5(645 - 298)}{298} = 4,10 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,18 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s,3} = \frac{3,5(d_3 - x)}{x} = \frac{3,5(708 - 298)}{298} = 4,82 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,18 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{3,5(d_2 - x)}{x} = \frac{3,5(771 - 298)}{298} = 5,59 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,18 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s,1} = \frac{3,5(d_1 - x)}{x} = \frac{3,5(834 - 298)}{298} = 6,28 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,18 \text{ ‰}$$

..... NENÍ POTŘEBA PŘEPOČET TLAČENÉ VÝŠKY

ÚČINNÁ VÝŠKA:

$$d = \frac{\sum(A_{s,tažená,i} \cdot d_i)}{\sum A_{s,tažená,i}} =$$
$$= \frac{(2463 \cdot 834) + (2463 \cdot 771) + (2463 \cdot 708) + (1232 \cdot 645)}{3 \cdot 2463 + 1232} = 753 \text{ mm}$$

POMĚRNÁ VÝŠKA TLAČENÉ OBLASTI:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{298}{753} = 0,40 \leq 0,45$$

.....VYHOVUJE

Výztuž musí být v okamžiku porušení betonu za mezí kluzu, průřez tuto podmínku splňuje.

RAMENO SIL:

$$z_5 = d_1 - d_5 = 834 - 66 = 768 \text{ mm}$$

$$z_4 = d_1 - d_4 = 834 - 645 = 189 \text{ mm}$$

$$z_3 = d_1 - d_3 = 834 - 708 = 126 \text{ mm}$$

$$z_2 = d_1 - d_2 = 834 - 771 = 63 \text{ mm}$$

$$z_{cc} = d_1 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 834 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 298 = 715 \text{ mm}$$

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$F_{cc} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 298 \cdot 450 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 2146 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_{cc} \cdot z_{cc} + A_{s,5} \cdot f_{yd} \cdot z_5 - A_{s,4} \cdot f_{yd} \cdot z_4 - A_{s,3} \cdot f_{yd} \cdot z_3 - A_{s,2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 = \\ &= (2146 \cdot 10^3 \cdot 715 + 3695 \cdot 435 \cdot 768 - 1232 \cdot 435 \cdot 189 - \\ &\quad - 2463 \cdot 435 \cdot 126 - 2463 \cdot 435 \cdot 63) 10^{-6} = 2465,03 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 2465,03 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2273,08 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 753 = 508 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 753}{500} = 511 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 900 = 16200 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 12316 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$511 < 12316 < 16200 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ 3 VYHOVUJE

6.2.2 Průřez 1,2

VNITŘNÍ SÍLY:

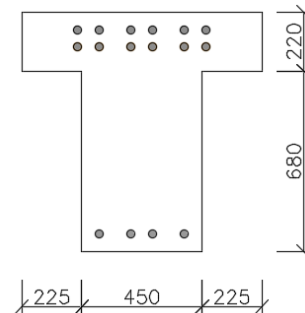
$$M_{Ed} = 2107,97 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = 1458,090 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

NÁVRH VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 2 řady – 1. 6xØ28 mm
– 2. 6xØ28 mm
- Spodní výztuž: 1 řada – 3. 4xØ28 mm



Obr. č. 94 – Skica průřezu 1,2

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 71 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 1,2

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ε_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
6xØ28 mm	3695	834	298	6,31	803	0,37	-	2253,85	2107,97
6xØ28 mm	3695	771		5,57			63		
4xØ28 mm	2463	66		2,72			768		
				> 2,18			< 0,45	VYHOVUJE	

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 2253,85 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2107,97 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 803 = 542 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 803}{500} = 545 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 900 = 16200 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 9853 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$545 < 9853 < 16200 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

$$- b = 450 \text{ mm} \rightarrow \emptyset_{sw} = 12 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

VÝPOČET SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

ÚNOSNOST TLAČENÉ DIAGONÁLY:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,53$$

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 803 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 298 = 684 \text{ mm}$$

$$\cot g\theta = 1,5$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot g\theta}{1 + \cot g^2\theta} = 0,53 \cdot 20 \cdot 450 \cdot 684 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^{-3} =$$
$$= 1504,60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1504,60 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1458,090 \text{ kN}$$

.....VYHOVUJE

OSOVÁ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ:

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_{sw}^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 452 \text{ mm}^2$$

$$s_1 \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot g\theta}{V_{Ed,1}} = \frac{452 \cdot 435 \cdot 684 \cdot 1,5}{785,18} 10^{-3} = 257 \text{ mm} \rightarrow 250 \text{ mm}$$

$$s_2 \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot g\theta}{V_{Ed,2}} = \frac{452 \cdot 435 \cdot 684 \cdot 1,5}{1458,09} 10^{-3} = 138 \text{ mm} \rightarrow 120 \text{ mm}$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08\sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08\sqrt{30})}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{w,1} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_1} = \frac{452}{450 \cdot 380} = 0,00264 \geq \rho_{w,min} = 0,00088$$

$$\rho_{w,2} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_2} = \frac{452}{450 \cdot 200} = 0,00502 \geq \rho_{w,min} = 0,00088$$

.....VYHOVUJE

Maximální osová vzdálenost:

$$s_{max,1} = \frac{A_{sw}}{b \cdot \rho_{w,min}} = \frac{452}{450 \cdot 0,00088} = 1146 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 803; 400) = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(s_{max,1}; s_{max,2}) = 602 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq \begin{matrix} s_1 = 250 \text{ mm} \\ s_2 = 120 \text{ mm} \end{matrix}$$

.....VYHOVUJE

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ 1, 2 VYHOVUJE

6.2.3 Průřez 5

VNITŘNÍ SÍLY:

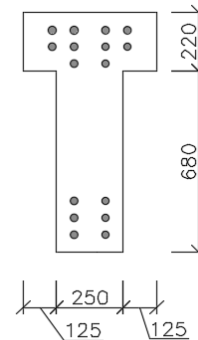
$$M_{Ed} = -1546,23 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = 627,54 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

NÁVRH VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 3 řady – 1. 4xØ28 mm
– 2. 4xØ28 mm
– 3. 2xØ28 mm
- Spodní výztuž: 3 řady – 4. 2xØ25 mm
– 5. 2xØ25 mm
– 6. 2xØ28 mm



Obr. č. 95 – Skica průřezu 5

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 72 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 5

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
4xØ28 mm	2463	834	322	5,56	784	0,41	-	1762,66	1546,23
4xØ28 mm	2463	771		4,88			63		
2xØ28 mm	1232	708		4,19			126		
2xØ25 mm	982	188		1,46			646		
2xØ25 mm	982	128		2,11			706		
2xØ28 mm	1232	66		2,78			768		
			> 2,18			< 0,45	VYHOVUJE		

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 1762,66 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1546,23 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 250 \cdot 784 = 294 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 250 \cdot 784}{500} = 296 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 250 \cdot 900 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 9354 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$296 < 9354 < 9000 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

$$- b = 250 \text{ mm} \rightarrow \begin{matrix} \varnothing_{sw} = 12 \text{ mm} \\ n = 2 \end{matrix}$$

VÝPOČET SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

ÚNOSNOST TLAČENÉ DIAGONÁLY:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,53$$

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 784 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 322 = 655 \text{ mm}$$

$$\cot \theta = 1,5$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,53 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 655 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^{-3} =$$
$$= 800,81 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 800,81 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 627,54 \text{ kN}$$

.....VYHOVUJE

OSOVÁ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ:

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing_{sw}^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 226 \text{ mm}^2$$

$$s_5 \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta}{V_{Ed,5}} = \frac{226 \cdot 435 \cdot 655 \cdot 1,5}{627,54} 10^{-3} = 153 \text{ mm} \rightarrow 150 \text{ mm}$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08\sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08\sqrt{30})}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{w,5} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_5} = \frac{226}{250 \cdot 150} = 0,00603 \geq \rho_{w,min} = 0,00088$$

.....VYHOVUJE

Maximální osová vzdálenost:

$$s_{max,1,250} = \frac{A_{sw}}{b \cdot \rho_{w,min}} = \frac{226}{250 \cdot 0,00088} = 1018 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 784; 400) = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(s_{max,1}; s_{max,2}) = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_5 = 150 \text{ mm}$$

.....VYHOVUJE

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ 5 VYHOVUJE

6.2.4 Průřez 4

VNITŘNÍ SÍLY:

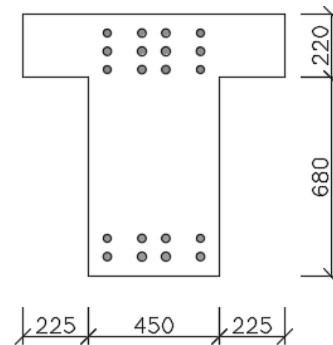
$$M_{Ed,4} = -1660,02 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,4} = -1327,77 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

NÁVRH VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 3 řady – 1. 4xØ28 mm
– 2. 4xØ28 mm
– 3. 4xØ28mm
- Spodní výztuž: 2 řady – 4. 4xØ18 mm
– 5. 4xØ18 mm



Obr. č. 96 – Skica průřezu 4

Výztuž byla zvolena s ohledem na návaznosti na výztuž užšího průřezu 5.

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 73 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 4

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
4xØ28 mm	2463	834	323	5,53	771	0,42	-	2099,43	1546,23
4xØ28 mm	2463	771		4,84			63		
4xØ28 mm	2463	708		4,16			126		
4xØ18 mm	1018	114		2,27			720		
4xØ18 mm	1018	61		2,84			773		
				> 2,18	< 0,45		VYHOVUJE		

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 2099,43 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1546,23 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 771 = 520 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 771}{500} = 523 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 900 = 16200 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 9425 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$523 < 9425 < 16200 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

$$- b = 450 \text{ mm} \rightarrow \emptyset_{sw} = 12 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

VÝPOČET SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

ÚNOSNOST TLAČENÉ DIAGONÁLY:

$$v = 0,53$$

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x = 771 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 323 = 641 \text{ mm}$$

$$\cot\theta = 1,5$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta} = 0,53 \cdot 20 \cdot 450 \cdot 641 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1412,59 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1412,59 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1327,77 \text{ kN}$$

.....VYHOVUJE

OSOVÁ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ:

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_{sw}^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 452 \text{ mm}^2$$

$$s_4 \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot\theta}{V_{Ed,4}} = \frac{452 \cdot 435 \cdot 641 \cdot 1,5}{1327,77} 10^{-3} = 142 \text{ mm} \rightarrow 140 \text{ mm}$$

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08\sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08\sqrt{30})}{500} = 0,00088$$
$$\rho_{w,4} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_4} = \frac{452}{450 \cdot 140} = 0,00717 \geq \rho_{w,min} = 0,00088$$

.....VYHOVUJE

Maximální osová vzdálenost:

$$s_{max1,450} = \frac{A_{sw}}{b \cdot \rho_{w,min}} = \frac{452}{450 \cdot 0,00088} = 1146 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 771; 400) = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(s_{max,1}; s_{max,2}) = 400 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} \geq s_4 = 140 \text{ mm}$$

.....VYHOVUJE

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ 4 VYHOVUJE

6.3 PŘÍČEL - MSP

Konstrukce musí být únosná, ale i použitelná po celou dobu své provozní životnosti. Mezní stavy použitelnosti zajišťují funkci a vzhled stavby.

Mezní stav použitelnosti je počítán na charakteristickou a kvazistálou kombinaci zatížení. Počítá se tedy s dílčími součiniteli zatížení:

Charakteristická kombinace - pro stálá zatížení $\gamma_G = 1$
- pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1$

Kvazistálá kombinace - pro stálá zatížení $\gamma_G = 1$
- pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1$
 $\psi_2 = 0,3$
(kategorie A: domácí a obytné plochy)

VSTUPNÍ HODNOTY PRO VÝPOČET:

Posouzení bude provedeno pro maximální hodnoty vnitřních sil v daném průřezu. Pro získání těchto maximálních hodnot je potřeba pracovat s kombinacemi zatěžovacích stavů viz 6.2. obrázek č. 92. Hodnoty vnitřních sil z těchto kombinací jsou zapsány v tabulkách 74 a 75.

a) charakteristická kombinace zatížení (v KNm)

Tab. č. 74. – Vstupní hodnoty pro výpočet MSP příčle – Charakteristické hodnoty

č.	zatěžovací stav	$M_{Char,1}$	$M_{Char,2}$	$M_{Char,3}$	$M_{Char,4}$	$M_{Char,5}$
1	g + q v polích 1,2	-1475,81	-1542,12	1661,42	-1214,52	-1131,10
2	g + q v polích 1,3	-1454,27	-1519,58	1640,03	-1197,69	-1115,59
3	g + q v polích 2,3	-1475,09	-1541,45	1661,35	-1215,32	-1131,96
4	g + q v polích 2	-1475,27	-1541,64	1661,62	-1214,60	-1131,17
5	g + q v polích 1, 2, 3	-1475,63	-1541,93	1661,15	-1215,25	-1131,89

b) kvazistálá kombinace zatížení (v KNm)

Tab. č. 75. – Vstupní hodnoty pro výpočet MSP příčle – Kvazistálé hodnoty

č.	zatěžovací stav	$M_{Kvaz,1}$	$M_{Kvaz,2}$	$M_{Kvaz,3}$	$M_{Kvaz,4}$	$M_{Kvaz,5}$
1	g + q v polích 1,2	-1298,47	-1356,8	1461,1	-1069,16	-995,81
2	g + q v polích 1,3	-1292,01	-1350,04	1454,68	-1064,11	-991,15
3	g + q v polích 2,3	-1298,26	-1356,6	1461,08	-1069,4	-996,07
4	g + q v polích 2	-1298,31	-1356,66	1461,16	-1069,19	-995,83
5	g + q v polích 1, 2, 3	-1298,42	-1356,75	1461,02	-1069,38	-996,05

6.3.1 Průřez 3

NAVRŽENÁ VÝZTUŽ:

- Horní výztuž: 1 řada – 5. 6xØ28 mm

- Spodní výztuž: 4 řady – 4. 2xØ28 mm
– 3. 4xØ28 mm
– 2. 4xØ28 mm
– 1. 4xØ28 mm

VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{char} = 1661,62 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz} = 1461,16 \text{ kNm}$$

6.3.1.1 Průřez bez trhlin, krátkodobě zatížený

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

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06$$

Poměr modulů pružnosti (pracovní součinitel) slouží k převedení výztuže na ekvivalentní hmotu betonu. Díky účinnému poměru modulů pružnosti můžeme takto určit homogenní charakteristiky průřezu.

$$A_s = 12316 \text{ mm}^2$$

$$A_c = b \cdot h = 450 \cdot 900 = 405\,000 \text{ mm}^2$$

PLOCHA IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

Plocha výztuže nahrazena ekvivalentní plochou betonu.

$$A_{1,st} = A_c + (\alpha - 1) \cdot A_s = 405\,000 + (6,06 - 1) \cdot 12316 = 467\,319 \text{ mm}^2$$

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$a_c = \frac{h}{2} = \frac{900}{2} = 450 \text{ mm}$$

$$x_{1,st} = \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha - 1) \cdot (\sum A_{s,i} \cdot d_i)]}{A_i} = \frac{405\,000 \cdot 450 + 34\,085\,353}{467\,319} =$$

$$= \mathbf{462,93 \text{ mm}}$$

Tab. č. 76 – Pomocné výpočty – plocha ideálního průřezu

A_s [mm ²]	d [mm]	As.d [mm ³]	($\alpha-1$)As.d [mm ³]
2 463	834	2 054 142	10 395 204
2 463	771	1 898 973	9 609 954
2 463	708	1 743 804	8 824 705
1 232	645	794 640	4 021 360
3 695	66	243 870	1 234 130
Σ 12 316	-	6 735 429	34 085 353

MOMENT SETRVAČNOSTI IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{450 \cdot 900^3}{12} = 2,7334 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{1,st} = I_c + A_c (x_{1,st} - a_c)^2 + (\alpha - 1) \left[\sum A_{s,i} \cdot (d_i - x_{1,st})^2 \right] =$$

$$= 2,7334 \cdot 10^{10} + 405\,000 \cdot (462,93 - 450)^2 +$$

$$+ (6,06 - 1) \cdot 1\,343\,838\,116 = \mathbf{3,4202 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4}$$

Tab. č. 77 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti ideálního průřezu

A_s [mm ²]	d [mm]	(d-x _{1,st}) ² [mm ²]	As · (d-x _{1,st}) ² [mm ⁴]
2 463	834	13 7699	339 153 638
2 463	771	94 912	233 769 461
2 463	708	60 064	147 936 579
1 232	645	33 153	40 844 071
3 695	66	157 547	582 134 367
Σ 12 316	-	483 375	1 343 838 116

OHYBOVÝ MOMENT PŘI VZNIKU TRHLIN:

$$M_{Cr,st} = f_{ctm} \frac{I_1}{h - x_1} = 2,9 \frac{3,4202 \cdot 10^{10}}{900 - 462,93} 10^{-6} = 226,93 \text{ kNm}$$

$$M_{Cr,st} = 226,93 \text{ kNm} < M_{Kvaz} = 1461,16 \text{ kNm}$$

.....OČEKÁVÁ SE VZNIK TRHLIN

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU BEZ TRHLIN:

$$C_{1,st} = \frac{1}{E_{cm} \cdot I_{1,st}} = \frac{1}{33 \cdot 3,4202 \cdot 10^{10}} 10^9 = 0,0009 \text{ (MN)}^{-1} \text{m}^{-2}$$

6.3.1.2 Průřez po vzniku trhlin, krátkodobě zatížený:

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$x_{2,st} = \frac{\alpha}{b} A_s \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot \sum A_{s,i} \cdot d_i}{\alpha \cdot A_s^2}} \right] =$$

$$= \frac{6,06}{450} 12\,316 \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 450 \cdot 6\,735\,429}{6,06 \cdot 12\,316^2}} \right] = 291,22 \text{ mm}$$

MOMENT SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$I_{2,st} = \frac{1}{3} b \cdot x_{2,st}^3 + \alpha \sum A_{s,tah,i} \cdot (d_i - x_{2,st})^2 + (\alpha - 1) \sum A_{s,tlak,i} \cdot (d_i - x_{2,st})^2 =$$

$$= \frac{1}{3} 450 \cdot 291,22^3 + 12\,309\,518\,591 = 1,6014 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Tab. č. 78 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti průřezu s trhlinou

$(d-x_{2,st})^2$ [mm ²]	$A_s \cdot (d-x_{2,st})^2$ [mm ⁴]	$\alpha \cdot A_s \cdot (d-x_{2,st})^2$ [mm ⁴]	$(\alpha-1) A_s \cdot (d-x_{2,st})^2$ [mm ⁴]
294 603	725 606 936	4 397 617 796	-
230 182	566 939 391	3 435 996 309	-
173 700	427 823 139	2 592 867 512	-
125 156	154 191 669	934 494 962	-
50 727	187 436 446	-	948 542 012
874 368	2 061 997 581	123 095 18 591	

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$C_{2,st} = \frac{1}{E_{cm} \cdot I_{2,st}} = \frac{1}{33 \cdot 1,6014 \cdot 10^{10}} 10^9 = \mathbf{0,0019 (MN)^{-1}m^{-2}}$$

CELKOVÁ OHYBOVÁ PODDAJNOST PŘI KRÁTKODOBÉM ZATÍŽENÍ:

Součinitel zohledňující dobu trvání nebo opakování zatížení na hodnotu průměrného přetvoření.

$$\beta = 1 \quad (\text{při krátkodobě době působícím zatížení})$$

Součinitel tahového zpevnění, udávající spolupůsobení betonu mezi trhlinami:

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr,st}}{M_{kvaz}} \right)^2 = 1 - 1 \left(\frac{226,93}{1461,16} \right)^2 = 0,9759$$

$$\begin{aligned} C_{st} &= (1 - \zeta)C_{1,st} + \zeta \cdot C_{2,st} = (1 - 0,9759)0,0009 + 0,9759 \cdot 0,0019 = \\ &= \mathbf{0,0019(MN)^{-1}m^{-2}} \end{aligned}$$

KŘIVOST OD KRÁTKODOBÉHO ZATÍŽENÍ:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{kvaz,st} = M_{kvaz} \cdot C_{st} = 1461,16 \cdot 0,0019 = \mathbf{2,73 mm^{-1}}$$

6.3.1.3 Průřez bez trhlin, dlouhodobě zatížený:

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

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$A_s = 12316 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 405\,000 \text{ mm}^2$$

PŘEDPOKLADY VÝPOČTU:

Třída cementu: N

Stáří betonu v okamžiku zatížení: $t_0 = 28 \text{ dní}$

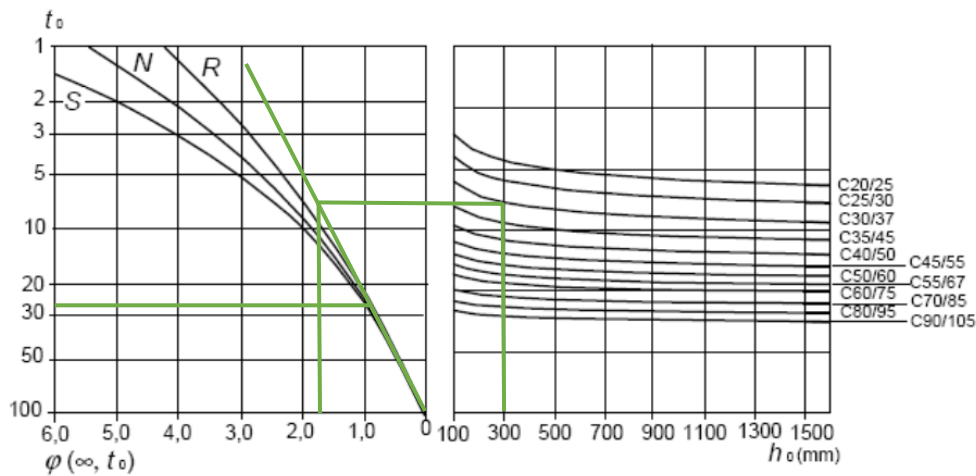
Vlhkost prostředí: $RH = 80\%$

(rám se nachází v nevytápěných garážích – uvažuji jako vnější prostředí)

Jmenovitý rozměr příčného průřezu:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 405\,000}{2 \cdot 450 + 2 \cdot 900} = 300\text{ mm}$$

Součinitel dotvarování betonu: $\varphi(\infty; t_0) = 1,8$



b) vnější prostředí – RH = 80 %

Obr. č. 97 – Stanovení součinitele dotvarování pro vnější prostředí [8]

Efektivní modul pružnosti betonu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty; t_0)} = \frac{33}{1 + 1,8} = 11,79\text{ GPa}$$

$$\alpha_{eff} = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{11,79} = 16,96$$

PLOCHA IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$A_{1,lt} = A_c + (\alpha_{eff} - 1) \cdot A_s = 405\,000 + (16,96 - 1) \cdot 12\,316 =$$

$$= 601\,563\text{ mm}^2$$

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$a_c = 450 \text{ mm}$$

$$x_{1,lt} = \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_{eff} - 1) \cdot (\sum A_{s,i} \cdot d_i)]}{A_{i,lt}} = \frac{405\,000 \cdot 450 + 107\,562\,760}{601\,563} =$$

$$= \mathbf{481,67 \text{ mm}}$$

Tab. č. 79 – Pomocné výpočty – plocha ideálního průřezu pro α_{eff}

A_s [mm ²]	d [mm]	$A_s \cdot d$ [mm ³]	$(\alpha_{eff} - 1) A_s \cdot d$ [mm ³]
2 463	834	2 054 142	32 804 025
2 463	771	1 898 973	30 326 023
2 463	708	1 743 804	27 848 021
1 232	645	794 640	12 690 160
3 695	66	243 870	3 894 530
Σ 12 316	-	6 735 429	107 562 760

MOMENT SETRVAČNOSTI IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$I_c = 2,7334 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{1,lt} = I_c + A_c (x_{1,lt} - a_c)^2 + (\alpha_{eff} - 1) \left[\sum A_{s,i} \cdot (d_i - x_{1,lt})^2 \right] =$$

$$= 2,7334 \cdot 10^{10} + 405\,000 \cdot (481,67 - 450)^2 +$$

$$+ (16,96 - 1) \cdot 1\,309\,391\,084 = \mathbf{4,8654 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4}$$

Tab. č. 80 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti ideálního průřezu pro α_{eff}

A_s [mm ²]	d [mm]	$(d - x_{1,lt})^2$ [mm ²]	$A_s \cdot (d - x_{1,lt})^2$ [mm ⁴]
2 463	834	124 136	305 747 414
2 463	771	83 712	206 181 782
2 463	708	51 225	126 167 445
1 232	645	26 677	32 865 539
3 695	66	172 782	638 428 904
Σ 12 316		458 531	1 309 391 084

OHYBOVÝ MOMENT PŘI VZNIKU TRHLIN:

$$M_{Cr,lt} = f_{ctm} \frac{I_{1,lt}}{h - x_{1,lt}} = 2,9 \frac{4,8654 \cdot 10^{10}}{900 - 481,67} 10^{-6} = 337,29 \text{ kNm}$$

$$M_{Cr,lt} = 337,29 \text{ kNm} < M_{Kvaz} = 1461,16 \text{ kNm}$$

.....OČEKÁVÁ SE VZNIK TRHLIN

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU BEZ TRHLIN:

$$C_{1,lt} = \frac{1}{E_{c,eff} \cdot I_{1,lt}} = \frac{1}{11,79 \cdot 4,8654 \cdot 10^{10}} 10^9 = 0,0017 \text{ (MN)}^{-1} \text{m}^{-2}$$

6.3.1.4 Průřez s trhlinami, dlouhodobě zatížený

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$x_{2,lt} = \frac{\alpha_{eff}}{b} A_s \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot \sum A_{s,i} \cdot d_i}{\alpha_{eff} \cdot A_s^2}} \right] =$$

$$= \frac{16,96}{450} 12\,316 \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 450 \cdot 6\,735\,429}{16,96 \cdot 12\,316^2}} \right] = 386,26 \text{ mm}$$

MOMENT SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$I_{2,lt} = \frac{1}{3} b \cdot x_{2,lt}^3 + \alpha_{eff} \sum A_{s,tah,i} \cdot (d_i - x_{2,lt})^2 +$$

$$+ (\alpha_{eff} - 1) \sum A_{s,tlak,i} \cdot (d_i - x_{2,lt})^2 =$$

$$= \frac{1}{3} 450 \cdot 386,26^3 + 26\,344\,165\,310 = 3,4988 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Tab. č. 81 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti průřezu s trhlinou pro α_{eff}

$(d-x_{2,lt})^2$ [mm ²]	$A_s \cdot (d-x_{2,lt})^2$ [mm ⁴]	$\alpha_{eff} \cdot A_s \cdot (d-x_{2,lt})^2$ [mm ⁴]	$(\alpha_{eff}-1) A_s \cdot (d-x_{2,lt})^2$ [mm ⁴]
200 469	493 754 346	8 378 861 624	-
148 023	364 580 100	6 186 813 814	-
103 515	254 957 148	4 326 545 538	-
66 945	82 476 217	1 399 596 417	-
102 568	378 989 528	-	6 052 347 916
621 520	1 574 757 339		26 344 165 310

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$C_{2,lt} = \frac{1}{E_{c,lt} \cdot I_{2,lt}} = \frac{1}{11,79 \cdot 3,4988 \cdot 10^{10}} 10^9 = \mathbf{0,0024 (MN)^{-1}m^{-2}}$$

CELKOVÁ OHYBOVÁ PODDAJNOST PŘI DLOUHODOBÉM ZATÍŽENÍ:

Součinitel zohledňující dobu trvání nebo opakování zatížení na hodnotu průměrného přetvoření:

$$\beta = 0,5 \quad (\text{při dlouhodobě působícím zatížení})$$

Součinitel tahového zpevnění, udávající spolupůsobení betonu mezi trhlinami:

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr,lt}}{M_{kvaz}} \right)^2 = 1 - 0,5 \left(\frac{337,29}{1461,16} \right)^2 = 0,9734$$

$$\begin{aligned} C_{lt} &= (1 - \zeta)C_{1,lt} + \zeta \cdot C_{2,lt} = (1 - 0,9734)0,0017 + 0,9734 \cdot 0,0024 = \\ &= \mathbf{0,0024 (MN)^{-1}m^{-2}} \end{aligned}$$

KŘIVOST OD DLOUHODOBÉHO ZATÍŽENÍ:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{kvaz,lt} = M_{kvaz} \cdot C_{lt} = 1461,16 \cdot 0,0024 = \mathbf{3,52 mm^{-1}}$$

6.3.1.5 Průřez bez trhlin, dlouhodobě zatížený smršťováním:

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

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$A_s = 12316 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 405\,000 \text{ mm}^2$$

PŘEDPOKLADY VÝPOČTU:

Třída cementu: N

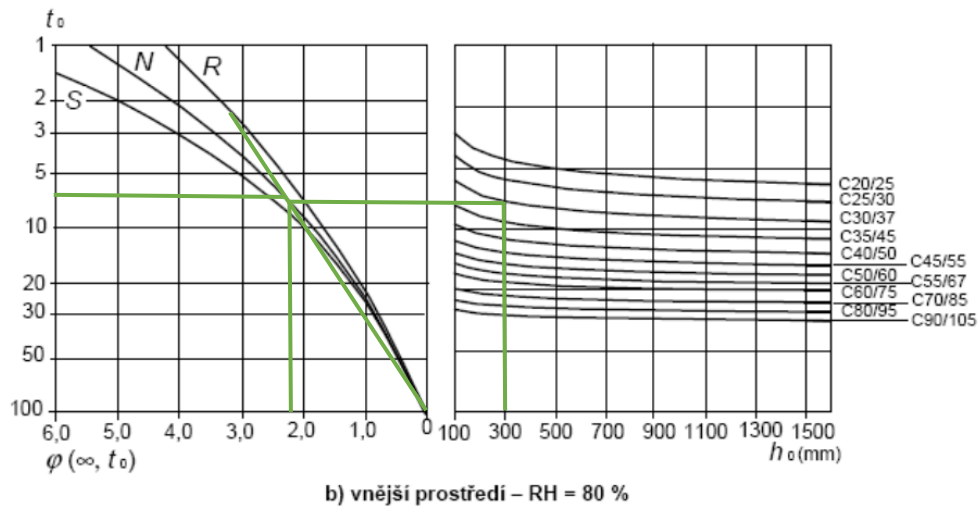
Doba ošetřování betonu: $t_s = 7 \text{ dní}$

Vlhkost prostředí: $RH = 80\%$

Jmenovitý rozměr příčného průřezu:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 405\,000}{2 \cdot 450 + 2 \cdot 900} = 300\text{ mm}$$

Součinitel dotvarování betonu: $\varphi_{(\infty;ts)} = 2,3$



Obr. č. 98 – Stanovení součinitele dotvarování pro vnější prostředí [8]

Efektivní modul pružnosti betonu:

$$E_{c,cs} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{(\infty;ts)}} = \frac{33}{1 + 2,3} = 10\text{ GPa}$$

$$\alpha_{cs} = \frac{E_s}{E_{c,cs}} = \frac{200}{10} = 20$$

PLOCHA IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$\begin{aligned} A_{1,cs} &= A_c + (\alpha_{cs} - 1) \cdot A_s = 405\,000 + (20 - 1) \cdot 12\,316 = \\ &= \mathbf{639\,004\text{ mm}^2} \end{aligned}$$

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$a_c = 450 \text{ mm}$$

$$x_{1,cs} = \frac{[A_c \cdot a_c + (\alpha_{cs} - 1) \cdot (\sum A_{s,i} \cdot d_i)]}{A_{i,cs}} = \frac{405\,000 \cdot 450 + 127\,973\,151}{6390004} =$$

$$= \mathbf{485,48 \text{ mm}}$$

Tab. č. 82 – Pomocné výpočty – plocha ideálního průřezu pro α_{cs}

A_s [mm ²]	d [mm]	$A_s \cdot d$ [mm ³]	$(\alpha_{cs}-1)A_s \cdot d$ [mm ³]
2 463	834	2 054 142	39 028 698
2 463	771	1 898 973	36 080 487
2 463	708	1 743 804	33 132 276
1 232	645	794 640	15 098 160
3 695	66	243 870	4 633 530
Σ 12 316	-	6 735 429	127 973 151

MOMENT SETRVAČNOSTI IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$I_c = 2,7334 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{1,cs} = I_c + A_c(x_{1,cs} - a_c)^2 + (\alpha_{cs} - 1) \left[\sum A_{s,i} \cdot (d_i - x_{1,cs})^2 \right] =$$

$$= 2,7334 \cdot 10^{10} + 405\,000 \cdot (485,48 - 450)^2 +$$

$$+(20 - 1) \cdot 1\,303\,451\,398 = \mathbf{5,2613 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4}$$

Tab. č. 83 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti ideálního průřezu pro α_{cs}

A_s [mm ²]	d [mm]	$(d-x_{1,cs})^2$ [mm ²]	$A_s \cdot (d-x_{1,cs})^2$ [mm ⁴]
2 463	834	121 467	299 172 600
2 463	771	81 522	200 788 999
2 463	708	49 516	121 956 692
1 232	645	25 447	31 350 563
3 695	66	175 963	650 182 545
Σ 12 316	-	453 914	1 303 451 398

STATICKÝ MOMENT IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU:

$$\begin{aligned}
 S_{1,cs} &= \sum A_{s,tah} \cdot (d_i - x_{1,cs}) + \sum A_{s,tlak} \cdot (x_{1,cs} - d_i) = \\
 &= 2463(834 - 485,48) + 2463(771 - 485,48) + \\
 &+ 2463(708 - 485,48) + 1232(645 - 485,48) + \\
 &+ 3695(485,48 - 66) = \mathbf{3\ 856\ 218\ mm^3}
 \end{aligned}$$

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU BEZ TRHLIN:

$$C_{1,cs} = \frac{1}{E_{c,cs} \cdot I_{1,cs}} = \frac{1}{10 \cdot 5,2613 \cdot 10^{10}} 10^9 = \mathbf{0,0019\ (MN)^{-1}m^{-2}}$$

6.3.1.6 Průřez s trhlinami, dlouhodobě zatížený

VZDÁLENOST TĚŽIŠTĚ OD TLAČENÉHO OKRAJE:

$$\begin{aligned}
 x_{2,cs} &= \frac{\alpha_{cs}}{b} A_s \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot \sum A_{s,i} \cdot d_i}{\alpha_{cs} \cdot A_s^2}} \right] = \\
 &= \frac{10}{450} 12\ 316 \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 450 \cdot 6\ 735\ 429}{10 \cdot 12\ 316^2}} \right] = \mathbf{400,42\ mm}
 \end{aligned}$$

MOMENT SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$\begin{aligned}
 I_{2,cs} &= \frac{1}{3} b \cdot x_{2,cs}^3 + \alpha_{cs} \sum A_{s,tah,i} \cdot (d_i - x_{2,cs})^2 + \\
 &+ (\alpha_{cs} - 1) \sum A_{s,tlak,i} \cdot (d_i - x_{2,cs})^2 = \\
 &= \frac{1}{3} 450 \cdot 400,42^3 + 30\ 010\ 772\ 299 = \mathbf{3,9641 \cdot 10^{10}\ mm^4}
 \end{aligned}$$

Tab. č. 84 – Pomocné výpočty – moment setrvačnosti průřezu s trhlinou pro α_{cs}

$(d-x_{2,cs})^2$ [mm ²]	$A_s \cdot (d-x_{2,cs})^2$ [mm ⁴]	$\alpha_{eff} \cdot A_s \cdot (d-x_{2,cs})^2$ [mm ⁴]	$(\alpha_{cs}-1) A_s \cdot (d-x_{2,cs})^2$ [mm ⁴]
187 989	463 015 910	9 260 318 206	-
137 327	338 236 288	6 764 725 769	-
94 603	233 007 961	4 660 159 212	-
59 818	73 695 372	1 473 907 444	-
111 839	413 245 351	-	7 851 661 669
591 576	1 521 200 882		30 010 772 299

STATICKÝ MOMENT PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$\begin{aligned}
 S_{2,cs} &= \sum A_{s,tah} \cdot (d_i - x_{2,cs}) + \sum A_{s,tlak} \cdot (x_{2,cs} - d_i) = \\
 &= 2463(834 - 400,42) + 2463(771 - 400,42) + \\
 &+ 2463(708 - 400,42) + 1232(645 - 400,42) + \\
 &+ 3695(400,42 - 66) = \mathbf{4\ 344\ 972\ mm^3}
 \end{aligned}$$

OHYBOVÁ PODDAJNOST PRŮŘEZU S TRHLINOU:

$$C_{2,cs} = \frac{1}{E_{c,cs} \cdot I_{2,cs}} = \frac{1}{10 \cdot 3,9641 \cdot 10^{10}} 10^9 = \mathbf{0,0025\ (MN)^{-1}m^{-2}}$$

KŘIVOST OD DLOUHODOBÉHO ZATÍŽENÍ:

Součinitel tahového zpevnění, udávající spolupůsobení betonu mezi trhlinami:

$$\zeta = 0,9734$$

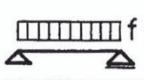
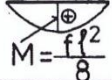

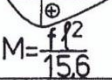
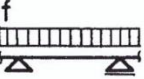
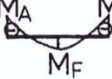
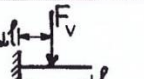
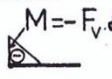
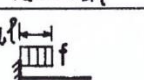
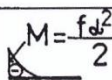
Celkové poměrné přetvoření od smršťování:

$$\varepsilon_{cs} \approx 0,0005$$

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} &= \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_{cs} \left[(1 - \zeta) \frac{S_{1,cs}}{I_{1,cs}} + \zeta \frac{S_{2,cs}}{I_{2,cs}} \right] = \\
 &= 0,0005 \cdot 10 \left[(1 - 0,9734) \frac{3\ 856\ 218}{5,2613 \cdot 10^{10}} + 0,9734 \frac{4\ 344\ 972}{3,9641 \cdot 10^{10}} \right] = \\
 &= \mathbf{543 \cdot 10^{-9}\ mm^{-1}}
 \end{aligned}$$

6.3.1.7 Průhyb

Vymezující hodnoty průhybů mají zajistit funkčnost stavby (aby nedošlo k poškození zabudovaných prvků apod.) a vyhovující vzhled. Průhyb při kvazistálém zatížení by neměl překročit hodnotu $l/250$.

5		 $M = \frac{f l^2}{8}$	5/48
6		 $M = \frac{f l^2}{15,6}$	0,102
7		 M_A , M_B , M_F	$k = 5/48 (1 - 0,1\beta)$ $\beta = M_A + M_B / M_F$
8		 $M = -F_v \cdot l$	$k = \alpha (3 - \alpha) / 6$
9		 $M = \frac{f \cdot l^2}{2}$	$k = \alpha (4 - \alpha) / 12$

Obr. č. 99 – Hodnoty součinitele k pro typické průběhy ohybových momentů [6]

Hodnoty součinitelů pro výpočet průhybu jsou uvažovány dle tabulky z obrázku č. 99. Jelikož řešená konstrukce je nejvíce namáhána zatížením ve středu rozpětí a ne po celé jeho délce, dá se říci, že vypočtený průhyb bude na straně bezpečnosti.

$$M_{kvaz,A} = -1356,66 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,B} = -1069,19 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,c} = M_{kvaz} = 1461,16 \text{ kNm}$$

$$l = 8,3 \text{ m}$$

Součinitelé:

$$\beta_k = \frac{M_{kvaz,A} \cdot M_{kvaz,B}}{M_{kvaz,c}} = \frac{(-1356,66) + (-1069,19)}{1461,16} = 1,66$$

$$k = \frac{5}{48} (1 - 0,1\beta_k) = \frac{5}{48} (1 - 0,1 \cdot 1,66) = 0,0867$$

PRŮHYB PŘI KRÁTKODOBĚ PŮSOBÍCÍM ZATÍŽENÍ:

$$f_{kvaz,st} = k l^2 \left(\frac{1}{r} \right)_{kvaz,st} = 0,0867 \cdot 8,3^2 \cdot 2,73 = \mathbf{16,31 \text{ mm}}$$

PRŮHYB PŘI DLOUHODOBĚ PŮSOBÍCÍM ZATÍŽENÍ:

$$f_{kvaz,lt} = kl^2 \left(\frac{1}{r} \right)_{kvaz,lt} = 0,0867 \cdot 8,3^2 \cdot 3,52 = 21,02 \text{ mm}$$

PRŮHYB OD SMRŠŤOVÁNÍ:

$$\frac{a}{l} = \frac{2,1}{8,3} = 0,25$$

$$\omega_{cs} = 0,0688$$

(jelikož zatím nevím křivost od smrštění v podporách, uvažuji vyšší hodnotu ω_{cs} – jsem na straně bezpečnosti)

$$f_{cs} = \omega_{cs} \cdot l^2 \left(\frac{1}{r} \right)_{cs} = 0,0688 \cdot 8,3^2 \cdot 543 \cdot 10^{-3} = 2,57 \text{ mm}$$

$\frac{a}{l} = \alpha_a =$ $\left(\frac{b}{l} \right) (\alpha_b)$	$\alpha_a =$ (α_b)	Hodnoty ω_{sh} pro nosník					
0,15	0,8		0,1048	0,1149	0,0473	0,0680	0,0700
	1,0		0,1025	0,1138	0,0525	0,0720	0,0739
	1,2		0,1003	0,1126	0,0578	0,0761	0,0778
0,20	0,8		0,0890	0,1070	0,0540	0,0740	0,0760
	1,0		0,0850	0,1050	0,0600	0,0788	0,0805
	1,2		0,0810	0,1030	0,0660	0,0835	0,0849
0,25	0,8		0,0688	0,0969	0,0563	0,0770	0,0790
	1,0		0,0625	0,0938	0,0625	0,0820	0,0837
	1,2		0,0563	0,0906	0,0688	0,0871	0,0884

Obr. č. 100 – Hodnoty ω_{cs} pro výpočet průhybu od smrštění [6]

POSOUZENÍ CELKOVÉHO PRŮHYBU:

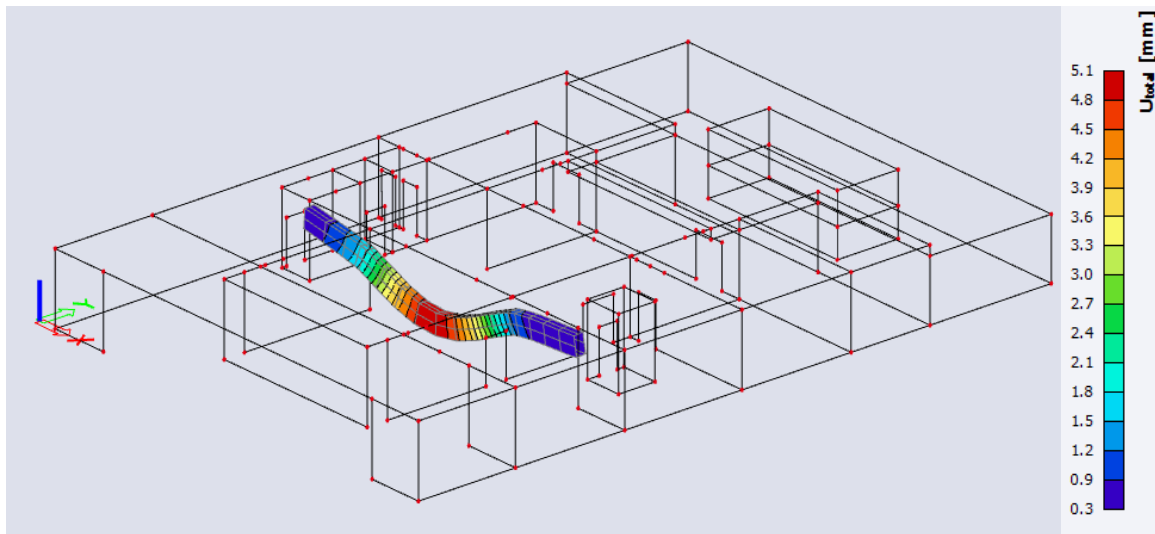
$$f_{lt} = f_{kvaz,lt} + f_{cs} = 21,02 + 2,57 = 23,59 \text{ mm}$$

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{8300}{250} = 33,20 \text{ mm}$$

$$f_{lt} = 23,52 \text{ mm} < f_{lim} = 33,20 \text{ mm}$$

..... PRŮŘEZ NA PRŮHYB VYHOVÍ

POROVNÁNÍ S PRŮHYBEM V PROGRAMU SCIA:



Obr. č. 101 – Vykreslený průhyb řešeného rámu

Pro zjištění průhybu je použit model 1PP zatížen nadzemními podlažními, pro zohlednění návazností konstrukcí.

Program SCIA udává hodnoty pružného průhybu, jehož maximální hodnota na řešené přičli je 5,1 mm. Při tomto výpočtu není počítáno s vlivem dotvarování, smršťování, či trhlin. Tyto faktory je potřeba zohlednit, pro získání relevantního průhybu pro porovnání.

$$f_{scia} = 5,1 \text{ mm}$$

Součinitel zohledňující dotvarování:

$$k_{creep} = \frac{E_c}{E_{c,eff}} = \frac{E_c}{\frac{E_c}{1 + \varphi_{(\infty;t_0)}}} = 1 + \varphi_{(\infty;t_0)} = 1 + 1,8 = 2,8$$

Součinitel zohledňující vznik trhlin:

$$k_{cr} = \frac{I_{1,lt}}{I_{2,lt}} = \frac{4,8654 \cdot 10^{10}}{3,4988 \cdot 10^{10}} = 1,39$$

$$f_{scia,lt} = f_{scia} \cdot k_{creep} \cdot k_{cr} = 5,1 \cdot 2,8 \cdot 1,39 = 19,85 \text{ mm}$$

$$f_{lt} = f_{scia,lt} + f_{cs} = 19,85 + 2,57 = 22,42 \text{ mm}$$

$$f_{lt} = 22,42 \text{ mm} < f_{lim} = 33,20 \text{ mm}$$

..... PRŮŘEZ NA PRŮHYB VYHOVÍ

Výsledný průhyb vypočtený programem SCIA o 1,1 mm menší než vypočtený průhyb podle křivostí. Vypočtený průhyb může být částečně zkeslen zvoleným modelem zatěžování z tabulky č. 99. Přesto jsou hodnoty průhybů z obou výpočtů srovnatelné.

6.3.1.8 Mezní stav omezení napětí

Podmínka omezení tlakových napětí v betonu je vhodná splnit u konstrukcí nacházejících se v třídách prostředí XD, FX a XS. Řešená konstrukce do těchto tříd nenáleží, přesto je vhodné, aby hodnoty tlakových napětí nebyly výrazně větší než omezující. Nadměrné hodnoty tlakových napětí mohou v betonu vyvolat vyšší hodnoty dotvarování, vznik podélných trhlin nebo rozvoj mikrotrhlin.

Nadměrné tahové napětí v oceli může vést ke vzniku nadměrného nepružného přetvoření výztuže a ke vzniku trvale otevřených trhlin v betonu.

OMEZENÍ TLAKOVÝCH NAPĚTÍ V BETONU SPOČTENÁ S CHARAKTERISTIKAMI PRO KRÁTKODOBĚ PŮSOBÍCÍ ZATÍŽENÍ:

$$\sigma_{cc,1} = \frac{M_{char}}{I_{2,st}} x_{2,st} \leq 0,6 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_{cc,1} = \frac{1661,62}{1,6014 \cdot 10^{10}} 291,22 \cdot 10^{-6} \leq 0,6 \cdot 30$$

$$\sigma_{cc,1} = 30,22 \text{ MPa} \leq 18 \text{ MPa}$$

...tato hodnota je znatelně větší, NEVYHOVUJE

$$\sigma_{cc,2} = \frac{M_{kvaz}}{I_{2,st}} x_{2,st} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_{cc,2} = \frac{1461,16}{1,6014 \cdot 10^{10}} 291,22 \cdot 10^{-6} \leq 0,45 \cdot 30$$

$$\sigma_{cc,2} = 26,57 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa}$$

...tato hodnota je znatelně větší, NEVYHOVUJE

**OMEZENÍ TLAKOVÝCH NAPĚTÍ V BETONU PRO DLOUHODOBÉ ZATÍŽENÍ S
CHARAKTERISTIKAMI PRO DLOUHODOBĚ PŮSOBÍCÍ ZATÍŽENÍ:**

$$\sigma_{cc,1} = \frac{M_{char}}{I_{2,lt}} x_{2,lt} \leq 0,6 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_{cc,1} = \frac{1661,62}{3,4988 \cdot 10^{10}} 386,26 \cdot 10^{-6} \leq 0,6 \cdot 30$$

$$\sigma_{cc,1} = 18,34 \text{ MPa} \leq 18 \text{ MPa}$$

..... LZE AKCEPTOVAT

$$\sigma_{cc,2} = \frac{M_{kvaz}}{I_{2,lt}} x_{2,lt} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$\sigma_{cc,2} = \frac{1461,16}{3,4988 \cdot 10^{10}} 386,26 \cdot 10^{-6} \leq 0,45 \cdot 30$$

$$\sigma_{cc,2} = 16,13 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa}$$

..... LZE AKCEPTOVAT

OMEZENÍ TAHOVÝCH NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:

$$\sigma_{s,1} = \alpha \frac{M_{char}}{I_{2,st}} (d_1 - x_{2,st}) \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_{s,1} = 6,06 \frac{1661,62}{1,6014 \cdot 10^{10}} (834 - 291,22) \cdot 10^{-6} \leq 0,8 \cdot 500$$

$$\sigma_{s,1} = 341,31 \text{ MPa} \leq 400 \text{ MPa}$$

..... VYHOVUJE

$$\sigma_{s,2} = \alpha_{eff} \frac{M_{char}}{I_{2,lt}} (d_1 - x_{2,lt}) \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_{s,2} = 16,96 \frac{1661,62}{3,4988 \cdot 10^{10}} (834 - 386,26) \cdot 10^{-6} \leq 0,8 \cdot 500$$

$$\sigma_{s,2} = 360,83 \text{ MPa} \leq 400 \text{ MPa}$$

..... VYHOVUJE

6.3.1.9 Šířka trhlin

Trhliny mají v betonových konstrukcích zásadní vliv na životnost konstrukce, zároveň je jejich výskyt většinou nevyhnutelný. K jejich vzniku dochází při překročení pevnosti betonu v tahu. Šířka trhlin je závislá na způsobu vyztužení, druhu betonu (jeho pevnosti v tahu), na krycí vrstvě a způsobu namáhání konstrukce.

Zavedená limitní šířka trhliny je 0,1-0,4 mm s ohledem na estetické požadavky a agresivitu prostředí. Její šířka se posuzuje při kvazistálé kombinaci zatížení.

$$M_{kvaz} = 1461,16 \text{ kNm}$$

$$\alpha = 6,06$$

$$I_{2,st} = 1,6014 \cdot 10^{10} \text{ mm}^2$$

$$x_{2,st} = 291,22 \text{ mm}$$

$$A_{s,tah} = 8621 \text{ mm}^2$$

$$d = 753 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI:

$$\sigma_s = \alpha \frac{M_{kvaz}}{I_{2,st}} (d_5 - x_{2,st}) \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

$$\sigma_s = 6,06 \frac{1461,16}{1,6014 \cdot 10^{10}} (834 - 291,22) \cdot 10^{-6} = \mathbf{300,14 \text{ MPa}}$$

SOUČINTEL ZOHLEDŇUJÍCÍ SOUDRŽNOST VÝZTUŽE:

$$k_1 = 0,8 \quad (\text{pro pruty s velkou soudržností})$$

SOUČINTEL ZOHLEDŇUJÍCÍ ROZDĚLENÍ POMĚRNÉHO PŘETVOŘENÍ:

$$k_2 = 0,5 \quad (\text{pro ohyb})$$

SOUČINITELE k_3, k_4 :

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

SOUČINITELE ZÁVISEJÍCÍ NA DOBĚ TRVÁNÍ ZATÍŽENÍ:

$$k_t = 0,4 \quad (\text{pro dlouhodobé zatížení})$$

PLOCHA BETONU OBKLOPUJÍCÍ TAŽENOU VÝZTUŽ:

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 2,5 (h - d) \\ (h - x_{2,st})/3 \\ h/2 \end{cases}$$

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 2,5 (900 - 753) \\ (900 - 291,22)/3 \\ 900/2 \end{cases}$$

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 368 \\ 203 \\ 450 \end{cases}$$

$$h_{c,eff} = 203 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} \cdot b = 203 \cdot 450 = 91\,350 \text{ mm}^2$$

EKVIVALENTNÍ PRŮMĚR PRUTU:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \cdot \phi_1^2 + n_2 \cdot \phi_2^2}{n_1 \cdot \phi_1 + n_2 \cdot \phi_2} = \frac{12 \cdot 28^2 + 4 \cdot 25^2}{12 \cdot 28 + 4 \cdot 25} = 27 \text{ mm}$$

MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST TRHLIN:

$$\frac{b - n_{tr} \cdot \phi_{tr} - n \cdot \phi - 2c}{(n - 1)} \leq 5 \left(c + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\frac{450 - 4 \cdot 12 - 4 \cdot 28 - 2 \cdot 40}{(4 - 1)} \leq 5 \left(40 + \frac{28}{2} \right)$$

$$70 \text{ mm} \leq 270 \text{ mm}$$

..... jelikož tato podmínka vyhovuje, lze použít následující vztah

$$\begin{aligned} s_{r,max} &= k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{eq} \frac{A_{c,eff}}{A_{s,tah}} = 3,4 \cdot 40 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = \\ &= 25 \cdot 27 \frac{91\,350}{8\,621} = \mathbf{184,62 \text{ mm}} \end{aligned}$$

ROZDÍL POMĚRNÉHO PŘETVOŘENÍ VÝTZUŽE A BETONU MEZI TRHLINAMI:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff}}{A_{s,tah}} \left(1 + \alpha \frac{A_{s,tah}}{A_{c,eff}}\right)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \\ \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{300,14 - 0,4 \frac{2,9 \cdot 91\,350}{8\,621} \left(1 + 6,06 \frac{8\,621}{91\,350}\right)}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \frac{300,14}{200 \cdot 10^3} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \mathbf{0,0014} \geq \mathbf{0,0009}$$

CHARAKTERISTICKÁ ŠÍŘKA TRHLINY:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 184,62 \cdot 0,0014 = \mathbf{0,26 \text{ mm}} \leq \mathbf{0,3 \text{ mm}}$$

.....VYHOVUJE

**PRŮŘEZ NEVYHOVUJE NA OMEZENÍ TLAKOVÝCH NAPĚTÍ V BETONU
SPOČTENÁ S CHARAKTERISTIKAMI PRO KRÁTKODOBĚ PŮSOBÍCÍ ZATÍŽENÍ.**

Dochází k rozvoji mikrotrhlin, vznikají podélné trhliny a vzrůstá dotvarování.

ŘEŠENÍ: zvětšení průřezu, zvýšení pevnostní třídy betonu

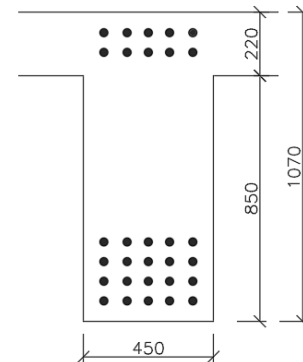
6.3.1.10 Přepočet průřezu 3

NÁVRH: zvětšení výšky průřezu na 1070 mm (vyhoví na dostatečnou světlou výšku),
zvětšení šířky navazujícího průřezu z 250 mm na 300 mm (do jedné řady se vejde
více prutů), úprava výztuže

A. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 2 řady – 6. 5xØ28 mm
– 5. 5xØ28 mm
- Spodní výztuž: 4 řady – 4. 5xØ28 mm
– 3. 5xØ28 mm
– 2. 5xØ28 mm
– 1. 5xØ28 mm



Obr. č. 102 – Skica průřezu 3

Výztuž byla zvolena s ohledem na návaznosti na výztuž užšího průřezu 5.

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 85 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 3

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
5xØ28 mm	3079	66	372	2,65	902	0,41	938	4164,03	2272,38
5xØ28 mm	3079	134		1,77			870		
5xØ28 mm	3079	800		6,83			204		
5xØ28 mm	3079	868		7,71			136		
5xØ28 mm	3079	936		8,59			68		
5xØ28 mm	3079	1004		9,47			-		

< 0,45

VYHOVUJE

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 4164,03 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2272,38 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 902 = 609 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 902}{500} = 612 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 1070 = 19\,260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 18\,473 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$612 < 18\,473 < 19\,260 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

B. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

Tab. č. 86 – Přepočítání MSP pro průřez 3

veličiny	jednotky	krátkodobé zatížení		dlouhodobé zatížení		vymezení
		bez trhlin	s trhlinami	bez trhlin	s trhlinami	
φ	-	0	0	1,8	1,8	-
E_c	Gpa	33	33	11,79	11,79	-
α	-	6,06	6,06	16,96	16,96	-
x	mm	551,20	365,78	572,86	473,65	-
I	10^{10} mm^4	6,0475	3,1470	9,1173	6,9335	-
M_{cr}	kNm	338,05		531,85		-
trhliny	-	TRHLINY VZNIKAJÍ		TRHLINY VZNIKAJÍ		-
$C_{1,2}$	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0009	0,0010	0,0009	0,0012	-
C	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0009		0,0012		-
$(1/r)$	mm^{-1}	1,37		1,76		-
k	-	0,0867		0,0867		-
f_{kvaz}	mm		8,19		10,51	< 33,20
$\sigma_{c,kvaz}$	Mpa	16,98		9,98		< 13,50
$\sigma_{c,char}$	Mpa	19,31		11,35		< 18,00
σ_s	Mpa	204,23		215,68		< 400,00
w_k	mm	0,16				< 0,30

U průhybu od dlouhotrvajícího zatížení je rezerva pro průhyb od smršťování:

$$f_{cs} \leq f_{lim} - f_{kvaz,lt} = 33,20 - 10,51 = 22,69 \text{ mm}$$

**..... VELKÁ REZERVA PRO PRŮHYB OD
SMRŠŤOVÁNÍ, NENÍ POTŘEBA POSUZOVAT**

Hodnoty tlakových napětí v betonu vypočteny s charakteristikami pro krátkodobé zatížení nevyhovují omezující podmínce:

V normě ČSN EN 1992-1-1 je doporučeno podmínky pro napětí splnit pro prostředí XD, XF a XS. Posuzovaný nosník je v prostředí XC. Přesto je vhodné, aby hodnoty tlakových napětí nebyly výrazně větší. Dále není v normě ČSN EN 1992-1-1 jasně uvedeno, pro které charakteristiky má být podmínka splněna a postup se liší i v jednotlivých publikacích.

Jelikož je napětí betonu v tlaku větší než $0,45f_{ck}$, je třeba uvažovat s nelineárním dotvarováním. Platí tedy:

$$\varphi_{k(\infty;t_0)} = \varphi_{(\infty;t_0)} \exp(1,5(k_\sigma - 0,45))$$

kdy k_σ je poměr napětí v tlaku a charakteristické pevnosti betonu v tlaku. Hodnota součinitele dotvarování se bude zvyšovat.

Konstrukce bude opatřena ovinutými třmínky kolem výztuže pro zajištění prostorové tuhosti a zvýšení pevnosti betonu v tlaku a mezních poměrných přetvoření. V tomto případě bude navržena smyková výztuž o rozteči 140 mm, jak bylo navrženo v průřezu 4.

Lze říci, že je tlačaná zóna ovinuta, je-li splněna podmínka minimální vzdálenosti třmínků jako u konstrukce sloupu, tedy:

$$s_s \leq \min(15\emptyset; b; 300 \text{ mm}) = \min(15 \cdot 28; 450; 300) = 300 \text{ mm}$$

Podmínku ovinutí tedy splní všechny průřezy příčle (maximální vzdálenost třmínků řešené příčle = 250 mm).

NOVĚ NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVÍ

6.3.2 Přepočet průřezu 1, 2

NÁVRH: zvětšení výšky průřezu na 1070 mm (vyhoví na dostatečnou světlostou výšku),
úprava vyztužení

A. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:

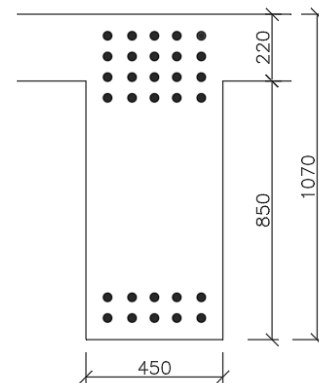
VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{Ed} = -2107,97 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = 1458,090 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 4 řady – 6. 5xØ28 mm
– 5. 5xØ28 mm
– 4. 5xØ28 mm
– 3. 5xØ28 mm
- Spodní výztuž: 2 řady – 2. 5xØ28 mm
– 1. 5xØ28 mm



Obr. č. 103 – Skica průřezu 1,2

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 87 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 1, 2

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
5xØ28 mm	3079	66	372	2,65	902	0,41	938	4164,03	2107,97
5xØ28 mm	3079	134		1,77			870		
5xØ28 mm	3079	800		6,83			204		
5xØ28 mm	3079	868		7,71			136		
5xØ28 mm	3079	936		8,59			68		
5xØ28 mm	3079	1004		9,47			-		

< 0,45

VYHOVUJE

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 4164,03 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 2107,97 \text{ kNm}$$

.....**VYHOVUJE**

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 902 = 609 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 902}{500} = 612 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 1070 = 19\,260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 18\,473 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$612 < 18\,473 < 19\,260 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

B. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{char,2} = -1542,12 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,2} = -1356,80 \text{ kN}$$

Tab. č. 88 – Přepočítání MSP pro průřez 1,2

veličiny	jednotky	krátkodobé zatížení		dlouhodobé zatížení		vymezení
		bez trhlin	s trhlinami	bez trhlin	s trhlinami	
φ	-	0	0	1,8	1,8	-
E_c	Gpa	33	33	11,79	11,79	-
α	-	6,06	6,06	16,96	16,96	-
x	mm	551,20	365,78	572,86	473,65	-
I	10^{10} mm^4	6,0475	3,1470	9,1173	6,9335	-
M_{cr}	kNm	338,05		531,85		-
trhliny	-	TRHLINY VZNIKAJÍ		TRHLINY VZNIKAJÍ		-
$C_{1,2}$	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0009	0,0010	0,0009	0,0012	-
C	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0009		0,0012		-
$(1/r)$	mm^{-1}	1,29		1,60		-
k	-	0,0867		0,0867		-
f_{kvaz}	mm		7,69		9,56	< 33,20
$\sigma_{c,kvaz}$	Mpa	15,77		9,27		< 13,50
$\sigma_{c,char}$	Mpa	17,92		10,53		< 18,00
σ_s	Mpa	189,54		200,17		< 400,00
w_k	mm	0,15				< 0,30

U průhybu od dlouhotrvajícího zatížení je rezerva pro průhyb od smršťování:

$$f_{cs} \leq f_{lim} - f_{kvaz,lt} = 33,20 - 9,56 = 23,64 \text{ mm}$$

**..... VELKÁ REZERVA PRO PRŮHYB OD
SMRŠŤOVÁNÍ, NENÍ POTŘEBA POSUZOVAT**

Hodnoty tlakových napětí v betonu vypočteny s charakteristikami pro krátkodobé zatížení nevyhovují omezující podmínce:

Bude postupováno jako u průřezu č. 3. Konstrukce bude opatřena ovinutými třmínky kolem výztuže pro zajištění prostorové tuhosti a zvýšení pevnosti betonu v tlaku.

NOVĚ NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVÍ

6.3.3 Přepočet průřezu 5

NÁVRH: zvětšení výšky průřezu na 1070 mm (vyhoví na dostatečnou světlostou výšku),
zvětšení šířky z 250 mm na 300 mm úprava výztuže

A. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:

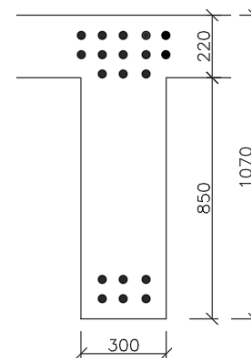
VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{Ed} = -1546,23 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = 627,54 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 3 řady – 5. 5xØ28 mm
– 4. 5xØ28 mm
– 3. 3xØ28 mm
- Spodní výztuž: 2 řady – 2. 3xØ28 mm
– 1. 3xØ28 mm



Obr. č. 104 – Skica průřezu 5

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 89 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 5

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
3xØ28 mm	1847	66	390	2,65	946	0,41	938	2840,26	1546,23
3xØ28 mm	1847	134		1,77			870		
3xØ28 mm	1847	868		7,71			136		
5xØ28 mm	3079	936		8,59			68		
5xØ28 mm	3079	1004		9,47			-		

< 0,45

VYHOVUJE

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 2840,26 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1546,23 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 300 \cdot 946 = 426 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 300 \cdot 946}{500} = 428 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 300 \cdot 1070 = 12\,840 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 11\,699 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$428 < 11\,699 < 12\,840 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

B. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{char,5} = -1115,59 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,2} = -991,15 \text{ kN}$$

Tab. č. 90 – Přepočítání MSP pro průřez 5

veličiny	jednotky	ST		LT		vymezení
		bez trhlin	s trhlinami	bez trhlin	s trhlinami	
φ	-	0	0	1,8	1,8	-
E_c	Gpa	33	33	11,79	11,79	-
α	-	6,06	6,06	16,96	16,96	-
x	mm	568,12	393,13	616,04	529,67	-
I	10^{10} mm^4	3,9244	2,2062	5,5964	4,5170	-
M_{cr}	kNm	226,76		357,51		-
trhliny	-	TRHLINY VZNIKAJÍ		TRHLINY VZNIKAJÍ		-
$C_{1,2}$	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0013	0,0014	0,0015	0,0019	-
C	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0013		0,0019		-
$(1/r)$	mm^{-1}	1,33		1,84		-
k	-	0,0867		0,0867		-
f_{kvaz}	mm		1,41		1,95	< 33,20
$\sigma_{c,kvaz}$	Mpa	17,66		11,62		< 13,50
$\sigma_{c,char}$	Mpa	19,88		13,08		< 18,00
σ_s	Mpa	187,21		198,80		< 400,00
w_k	mm	0,14				< 0,30

Velký rozdíl v průhybu oproti ostatním průřezům je zde z důvodu odlišného rozpětí konstrukce ($L=3,5 \text{ m}$). U průhybu od dlouhotrvajícího zatížení je rezerva pro průhyb od smršťování:

$$f_{cs} \leq f_{lim} - f_{kvaz,lt} = 33,20 - 1,95 = 31,25 \text{ mm}$$

..... VELKÁ REZERVA PRO PRŮHYB OD SMRŠŤOVÁNÍ, NENÍ POTŘEBA POSUZOVAT

Kvůli problému se zakotvením výztuže vedené v desce bude průřez upraven na stejnou šířku jako ostatní průřezy – 450 mm. Tento průřez je totožný jako průřez 4.

6.3.4 Přepočet průřezu 4

NÁVRH: zvětšení výšky průřezu na 1070 mm (vyhoví na dostatečnou světlostou výšku),
úprava vyztužení

A. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI:

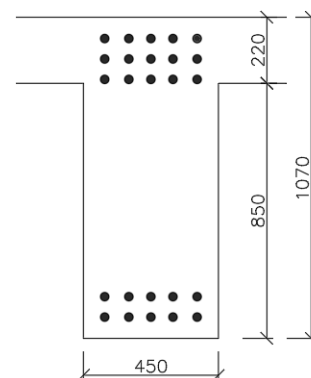
VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{Ed} = -1660,02 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,2} = -1327,77 \text{ kN}$$

NÁVRH PRŮŘEZU A OHYBOVÉ VÝZTUŽE:

- Horní výztuž: 3 řady – 5. 5xØ28 mm
– 4. 5xØ28 mm
– 3. 5xØ28 mm
- Spodní výztuž: 2 řady – 2. 5xØ28 mm
– 1. 5xØ28 mm



Obr. č. 105 – Skica průřezu 5

VÝPOČET A POSOUZENÍ:

Tab. č. 91 – Posouzení momentu únosnosti pro průřez 4, 5

výztuž	A_s [mm ²]	d [mm]	x [mm]	ϵ_s [‰]	d [mm]	ξ [-]	z [mm]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed} [kNm]
5xØ28 mm	3079	66	240	2,65	936	0,26	938	3378,41	1660,02
5xØ28 mm	3079	134		1,77			870		
5xØ28 mm	3079	868		7,71			136		
5xØ28 mm	3079	936		8,59			68		
5xØ28 mm	3079	1004		9,47			-		

< 0,45

VYHOVUJE

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI:

$$M_{Rd} = 3378,41 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1660,02 \text{ kNm}$$

.....VYHOVUJE

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min,1} = 0,0015 \cdot b \cdot d = 0,0015 \cdot 450 \cdot 936 = 632 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,2} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 450 \cdot 936}{500} = 635 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 1070 = 19\,260 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = \sum A_{s,i} = 15\,394 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$635 < 15\,394 < 19\,260 \text{ mm}^2$$

.....VYHOVUJE

B. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI:

VNITŘNÍ SÍLY:

$$M_{char,4} = -1215,32 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,2} = -1069,40 \text{ kN}$$

Tab. č. 92 – Přepočítání MSP pro průřez 4, 5

veličiny	jednotky	ST		LT		vymezení
		bez trhlin	s trhlinami	bez trhlin	s trhlinami	
φ	-	0	0	1,8	1,8	-
E_c	Gpa	33	33	11,79	11,79	-
α	-	6,06	6,06	16,96	16,96	-
x	mm	544,27	333,45	557,51	437,07	-
I	10^{10} mm^4	5,9484	2,7792	8,8465	6,3311	-
M_{cr}	kNm	328,12		500,59		-
trhliny	-	TRHLINY VZNIKAJÍ		TRHLINY VZNIKAJÍ		-
$C_{1,2}$	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0011	0,0011	0,0010	0,0013	-
C	$\text{MN}^{-1}\text{m}^{-2}$	0,0011		0,0013		-
$(1/r)$	mm^{-1}	1,14		1,34		-
k	-	0,0867		0,0867		-
f_{kvaz}	mm		6,79		8,03	< 33,20
$\sigma_{c,kvaz}$	Mpa	12,83		7,38		< 13,50
$\sigma_{c,char}$	Mpa	14,58		8,39		< 18,00
σ_s	Mpa	177,71		184,68		< 400,00
w_k	mm	0,14				< 0,30

U průhybu od dlouhotrvajícího zatížení je rezerva pro průhyb od smršťování:

$$f_{cs} \leq f_{lim} - f_{kvaz,lt} = 33,20 - 8,03 = 25,17 \text{ mm}$$

..... VELKÁ REZERVA PRO PRŮHYB OD
SMRŠŤOVÁNÍ, NENÍ POTŘEBA POSUZOVAT

NOVĚ NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVÍ

6.4 SLOUPY – MSÚ

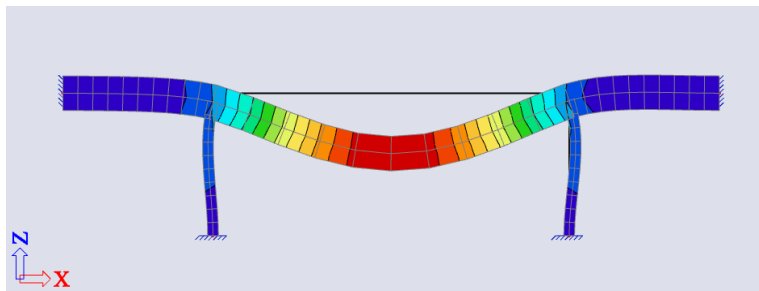
Jak už bylo zmíněno, části stěn nesoucí řešenou přičel jsou počítány jako sloupy o průřezu 450x250 mm.

Mezní stav únosnosti pro sloupy je počítán na návrhovou a kvazistálou (pro výpočet křivosti) kombinaci zatížení. Počítá se tedy s dílčími součiniteli zatížení:

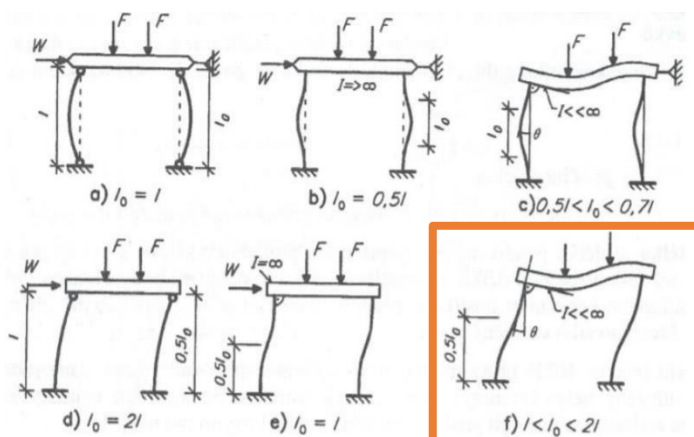
Návrhová kombinace	- pro stálá zatížení $\gamma_G = 1,35$ - pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1,5$
Kvazistálá kombinace	- pro stálá zatížení $\gamma_G = 1$ - pro proměnná zatížení $\gamma_Q = 1$ $\psi_2 = 0,3$ (kategorie A: domácí a obytné plochy)

ÚČINNÁ DÉLKA l_0 :

Účinná délka byla odhadnuta z tvaru deformace sloupů. Není zabráněno vodorovnému posunu styčnicku.



Obr. 106 - Tvar vybočení řešeného rámu



Obr. č. 107 – Tvary vybočení a odpovídající účinné délky [8]

$$\beta = 1,5$$

$$l = 3300 - 1070 - 120 = 2110 \text{ mm}$$

$$l_0 = 1,5l = 1,5 \cdot 2110 = \mathbf{3165 \text{ mm}}$$

6.4.1 Levý sloup

VSTUPNÍ HODNOTY PRO VÝPOČET:

Posouzení bude provedeno pro maximální hodnoty vnitřních sil v daném průřezu. Pro získání těchto maximálních hodnot je potřeba pracovat s kombinacemi zatěžovacích stavů viz 6.2. obrázek č. 92. Hodnoty vnitřních sil z těchto kombinací pro levý sloup jsou zapsány v tabulce č. 93.

Tab. č. 93 – Vstupní hodnoty pro výpočet levého sloupu

Levý sloup rámu		N _{Ed} [kN]		M _{Ed} [kNm]		N _{Kvazi} [kN]		M _{Kvazi} [kNm]	
		hlava	pata	hlava	pata	hlava	pata	hlava	pata
max. N + odp. M	gk + qk v polích 1,2	-2385,17	-2394,28	-90,62	44,73	-1546,48	-1555,58	-58,33	28,79
max. M + odp. N	gk + qk v poli 2	-2378,60	-2387,70	-90,70	44,77	-1545,16	-1554,27	-59,35	28,80
min. N + odp. M	gk + qk v polích 1,3	-2342,96	-2359,06	-89,11	43,98	-1538,04	-1547,14	-58,03	28,64

6.4.1.1 Návrhový moment pro maximální N + odpovídající M

OHYBOVÝ MOMENT 1.ŘÁDU:

EXCENTRICITA OD IMPERFEKČÍ:

$$e_i = \max\left(\frac{l_0}{400}; \frac{b}{30}; 20\right) = \max\left(\frac{3165}{400}; \frac{450}{30}; 20\right) = \max\left(\frac{3165}{400}; \frac{450}{30}; 20\right) = \\ = \max(7,9; 15; 20) = 20 \text{ mm}$$

EXCENTRICITA OD SILOVÝCH ÚČINKŮ:

$$e_f = \frac{M}{N}$$

EXCENRICITA PRVNÍHO ŘÁDU:

$$e_0 = e_i + e_f \geq \max\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \max\left(\frac{250}{30}; 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

MOMENT OD IMPERFEKČÍ:

$$M_{imp} = e_i \cdot N$$

Tab. č. 94 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro levý sloup

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2385,17	-2394,28	-1546,48	-1555,58
M_{imp} [kNm]	47,70	47,89	30,93	31,11
M [kNm]	-90,62	44,73	-58,33	28,79
M_{01} [kNm]	-	92,62	-	59,90
M_{02} [kNm]	-138,32	-	-89,26	-
e_f [mm]	38	19	38	19
e_0 [mm]	58	39	58	39

KONCOVÉ MOMENTY ŘÁDU:

$$M_{01} = \min(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 92,62 \text{ kNm} \rightarrow \mathbf{92,62 \text{ kNm}}$$

$$M_{02} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 138,32 \text{ kNm} \rightarrow \mathbf{-138,32 \text{ kNm}}$$

STANOVENÍ ŠTÍHLosti:

Pokud platí, že $\lambda < \lambda_{lim}$, jedná se o masivní sloup, u kterého lze zanedbat vliv štíhlosti a stačí pouze výpočet návrhového momentu 1. řádu s vlivem imperfekcí.

Pokud je $\lambda \geq \lambda_{lim}$, jedná se o štíhlý sloup a je potřeba stanovit moment 2. řádu.

$$\lambda = \frac{l_0}{h/\sqrt{12}} = \frac{3165}{250/\sqrt{12}} = 43,86$$

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{92,62}{-138,32} = -0,67$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,67) = 2,37$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2394,28}{450 \cdot 250 \cdot 20} 10^3 = 1,06$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,37}{\sqrt{1,06}} = 35,45$$

$$\lambda = 43,86 \geq \lambda_{lim} = 35,45$$

.....JEDNÁ SE O ŠTÍHLÝ SLOUP

NÁVRHOVÝ MOMENT PRVNÍHO ŘÁDU S VLIVEM IMPERFEKČÍ:

$$\begin{aligned} M_{0Ed} &= \max(0,6M_{02} + 0,4M_{01}; 0,4M_{02}) = \\ &= \max [0,6 \cdot (-138,32) + 0,4 \cdot 92,62 ; 0,4 \cdot (-138,32)] = \\ &= \max(-45,95; -55,33) = -55,33 \text{ kNm} \end{aligned}$$

OHYBOVÝ MOMENT 2.ŘÁDU:

ODHAD VÝZTUŽE:

Třmínky:	$\emptyset_{tr} = 10 \text{ mm}$
Výztuž:	$14\emptyset 20 \text{ mm} \quad (A_s = 4396 \text{ mm}^2)$

KŘIVOST:

Křivost K_r :

Poměrná návrhová normálová síla:

$$\begin{aligned} n &= 1,06 \leq 1 \\ n &= 1 \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{4396 \cdot 435}{250 \cdot 450 \cdot 20} = 0,8499$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,8499 = 1,8499$$

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

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} = \frac{(1,8499 - 1)}{(1,8499 - 0,4)} = 0,5862$$

Křivost K_ϕ (zavedení účinku dotvarování):

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{43,86}{150} = 0,2076$$

Třída cementu: N

Stáří betonu v okamžiku zatížení: $t_0 = 28 \text{ dní}$

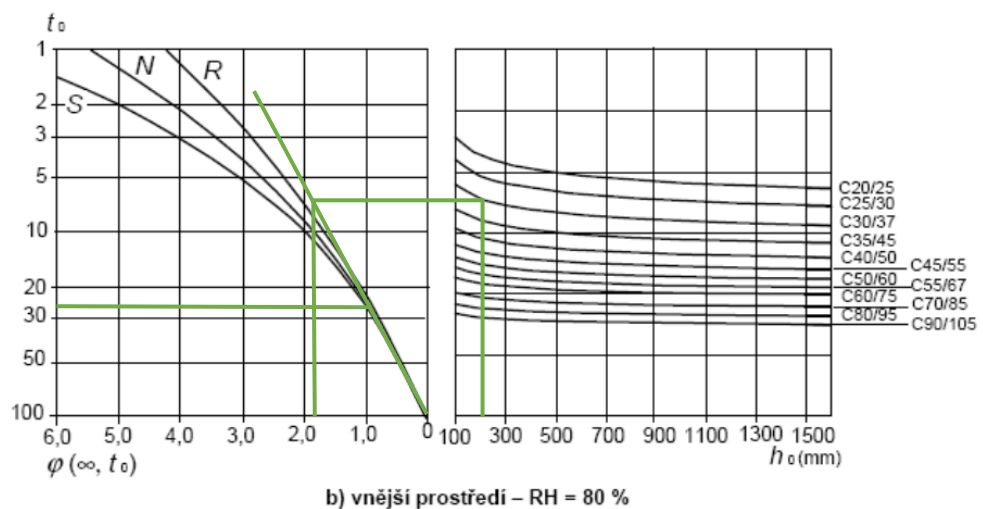
Vlhkost prostředí: $RH = 80\%$

(rám se nachází v nevytápěných garážích – uvažuji jako vnější prostředí)

Jmenovitý rozměr příčného průřezu:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 450}{2 \cdot 450 + 2 \cdot 250} = 160,71 \text{ mm}$$

Součinitel dotvarování betonu: $\phi_{(\infty; t_0)} = 1,9$



Obr. č. 108 – Stanovení součinitele dotvarování pro vnější prostředí [8]

Ohybový moment 1. řádu pro kvazistálé zatížení:

$$M_{kvaz,01} = 59,90 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,02} = -89,26 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{0Kvaz} &= \max(0,6M_{kvaz,02} + 0,4M_{kvaz,01}; 0,4M_{kvaz,02}) = \\ &= \max[0,6 \cdot (-89,26) + 0,4 \cdot 59,90 ; 0,4 \cdot (-89,26)] = \\ &= \max(-29,60; -35,70) = -35,70 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Ohybový moment 1. řádu pro návrhové zatížení:

$$M_{0Ed} = -55,33 \text{ kNm}$$

$$\varphi_{ef} = \frac{\varphi_{(\infty;t0)} \cdot M_{0Kvaz}}{M_{0Ed}} = \frac{1,9 \cdot (-35,70)}{-55,33} = 1,2259$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,2076 \cdot 1,2259 = 1,2545 \geq 1$$

EXCENTRICITA 2. ŘÁDU:

Součinitel závislý na rozdělení celkové křivosti po účinné délce prvku:
- pro konstantní příčné průřezy s používá hodnota 10

$$c = 10$$

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tř} - \frac{\phi}{2} = 250 - (20 + 10) - 10 - \frac{20}{2} = 200 \text{ mm}$$

$$e_2 = \frac{K_r \cdot K_\varphi \cdot f_{yd} \cdot l_0^2}{0,45 \cdot d \cdot E_s \cdot c} = \frac{0,5862 \cdot 1,2545 \cdot 435 \cdot 3165^2}{0,45 \cdot 200 \cdot 200\,000 \cdot 10} = 17,80 \text{ mm}$$

PŘÍDAVNÝ OHYBOVÝ MOMENT DRUHÉHO ŘÁDU:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 2394,28 \cdot 17,80 \cdot 10^{-3} = \mathbf{42,62 \text{ kNm}}$$

NÁVRHOVÝ MOMENT:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \max(M_{02}; M_{0Ed} + M_2; M_{01} + 0,5M_2) = \\ &= \max(138,32; 55,33 + 42,62; 92,62 + 0,5 \cdot 42,62) = \\ &= \max(138,32; 97,95; 113,93) = \mathbf{138,32 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

6.4.1.2 Návrhový moment pro max. M + odp. N

OHYBOVÝ MOMENT 1.ŘÁDU:

$$e_i = 20 \text{ mm}$$

$$e_0 \geq \max\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \max\left(\frac{300}{30}; 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

Tab. č. 95 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro max. M + odp. N

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2378,60	-2387,70	-1545,16	-1554,27
M _{imp} [kNm]	47,57	47,75	30,90	31,09
M [kNm]	-90,7	44,77	-59,35	28,8
M ₀₁ [kNm]	-	92,52	-	59,89
M ₀₂ [kNm]	-138,27	-	-90,25	-
e _f [mm]	38	19	38	19
e ₀ [mm]	58	39	58	39

NÁVRHOVÝ MOMENT PRVNÍHO ŘÁDU S VLIVEM IMPERFEKČÍ:

$$\begin{aligned} M_{0Ed} &= \max(0,6M_{02} + 0,4M_{01}; 0,4M_{02}) = \\ &= \max [0,6 \cdot (-138,27) + 0,4 \cdot 92,52 ; 0,4 \cdot (-138,27)] = \\ &= \max(-45,95; -55,31) = \mathbf{-55,31 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

OHYBOVÝ MOMENT 2.ŘÁDU:

ODHAD VÝZTUŽE:

Třmínky: $\varnothing_{tr} = 10 \text{ mm}$
Výztuž: $14\varnothing 20 \text{ mm}$ ($A_s = 4396 \text{ mm}^2$)

KŘIVOST:

Křivost K_r :

$$K_r = \mathbf{0,5862}$$

Křivost K_φ (zavedení účinku dotvarování):

$$\beta = 0,2076$$

$$\varphi_{(\infty;t_0)} = 1,9$$

Ohybový moment 1. řádu pro kvazistálé zatížení:

$$M_{kvaz,01} = 59,89 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,02} = -90,25 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{0Kvaz} &= \max(0,6M_{kvaz,02} + 0,4M_{kvaz,01}; 0,4M_{kvaz,02}) = \\ &= \max[0,6 \cdot (-90,25) + 0,4 \cdot 59,89; 0,4 \cdot (-90,25)] = \\ &= \max(-30,19; -36,10) = \mathbf{-36,10 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

$$\varphi_{ef} = \frac{\varphi_{(\infty;t_0)} \cdot M_{0Kvaz}}{M_{0Ed}} = \frac{1,9 \cdot (-36,10)}{-55,31} = 1,2401$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,2076 \cdot 1,2401 = \mathbf{1,2575} \geq 1$$

EXCENTRICITA 2. ŘÁDU:

$$c = 10$$

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

$$e_2 = \frac{K_r \cdot K_\varphi \cdot f_{yd} \cdot l_0^2}{0,45 \cdot d \cdot E_s \cdot c} = \frac{0,5862 \cdot 1,2575 \cdot 435 \cdot 3165^2}{0,45 \cdot 200 \cdot 200\,000 \cdot 10} = \mathbf{17,85 \text{ mm}}$$

PŘÍDAVNÝ OHYBOVÝ MOMENT DRUHÉHO ŘÁDU:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 2387,70 \cdot 17,85 \cdot 10^{-3} = \mathbf{42,62 \text{ kNm}}$$

NÁVRHOVÝ MOMENT:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \max(M_{02}; M_{0Ed} + M_2; M_{01} + 0,5M_2) = \\ &= \max(138,27; 55,31 + 42,62; 92,52 + 0,5 \cdot 42,62) = \\ &= \max(138,27; 97,93; 113,83) = \mathbf{138,27 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

6.4.1.3 Návrhový moment min N + odp. M

OHYBOVÝ MOMENT 1.ŘÁDU:

$$e_i = 20 \text{ mm}$$

$$e_0 \geq \max\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \max\left(\frac{300}{30}; 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

Tab. č. 96 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro min. N + odp. M

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2342,96	-2359,06	-1538,04	-1547,14
M _{imp} [kNm]	46,86	47,18	30,76	30,94
M [kNm]	-89,11	43,98	-58,03	28,64
M ₀₁ [kNm]	-	91,16	-	59,58
M ₀₂ [kNm]	-135,97	-	-88,79	-
e _f [mm]	38	19	38	19
e ₀ [mm]	58	39	58	39

NÁVRHOVÝ MOMENT PRVNÍHO ŘÁDU S VLIVEM IMPERFEKČÍ:

$$\begin{aligned} M_{0Ed} &= \max(0,6M_{02} + 0,4M_{01}; 0,4M_{02}) = \\ &= \max [0,6 \cdot (-135,97) + 0,4 \cdot 91,16 ; 0,4 \cdot (-135,97)] = \\ &= \max(-45,12; -54,39) = \mathbf{-54,39 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

OHYBOVÝ MOMENT 2.ŘÁDU:

ODHAD VÝZTUŽE:

$$\begin{aligned} \text{Třmínky:} & \quad \varnothing_{\text{tr}} = 10 \text{ mm} \\ \text{Výztuž:} & \quad 14\varnothing 20 \text{ mm} \quad (A_s = 4396 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

KŘIVOST:

Křivost K_r :

$$K_r = \mathbf{0,5862}$$

Křivost K_φ (zavedení účinku dotvarování):

$$\beta = 0,2076$$

$$\varphi_{(\infty;t_0)} = 1,9$$

Ohybový moment 1. řádu pro kvazistálé zatížení:

$$M_{kvaz,01} = 59,58 \text{ kNm}$$

$$M_{kvaz,02} = -88,79 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{0Kvaz} &= \max(0,6M_{kvaz,02} + 0,4M_{kvaz,01}; 0,4M_{kvaz,02}) = \\ &= \max[0,6 \cdot (-88,79) + 0,4 \cdot 59,58 ; 0,4 \cdot (-88,79)] = \\ &= \max(-29,44; -35,52) = \mathbf{-35,52 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

$$\varphi_{ef} = \frac{\varphi_{(\infty;t_0)} \cdot M_{0Kvaz}}{M_{0Ed}} = \frac{1,9 \cdot (-35,52)}{-54,39} = 1,2407$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,2076 \cdot 1,2407 = \mathbf{1,2576} \geq 1$$

EXCENTRICITA 2. ŘÁDU:

$$c = 10$$

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

$$e_2 = \frac{K_r \cdot K_\varphi \cdot f_{yd} \cdot l_0^2}{0,45 \cdot d \cdot E_s \cdot c} = \frac{0,5862 \cdot 1,2576 \cdot 435 \cdot 3165^2}{0,45 \cdot 200 \cdot 200\,000 \cdot 10} = \mathbf{17,85 \text{ mm}}$$

PŘÍDAVNÝ OHYBOVÝ MOMENT DRUHÉHO ŘÁDU:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 2359,06 \cdot 17,85 \cdot 10^{-3} = \mathbf{42,11 \text{ kNm}}$$

NÁVRHOVÝ MOMENT:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \max(M_{02}; M_{0Ed} + M_2; M_{01} + 0,5M_2) = \\ &= \max(135,97; 54,39 + 42,11; 91,16 + 0,5 \cdot 42,11) = \\ &= \max(135,97; 96,50; 112,22) = \mathbf{135,97 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

6.4.1.4 Návrh výztuže průřezu

NÁVRH VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU:

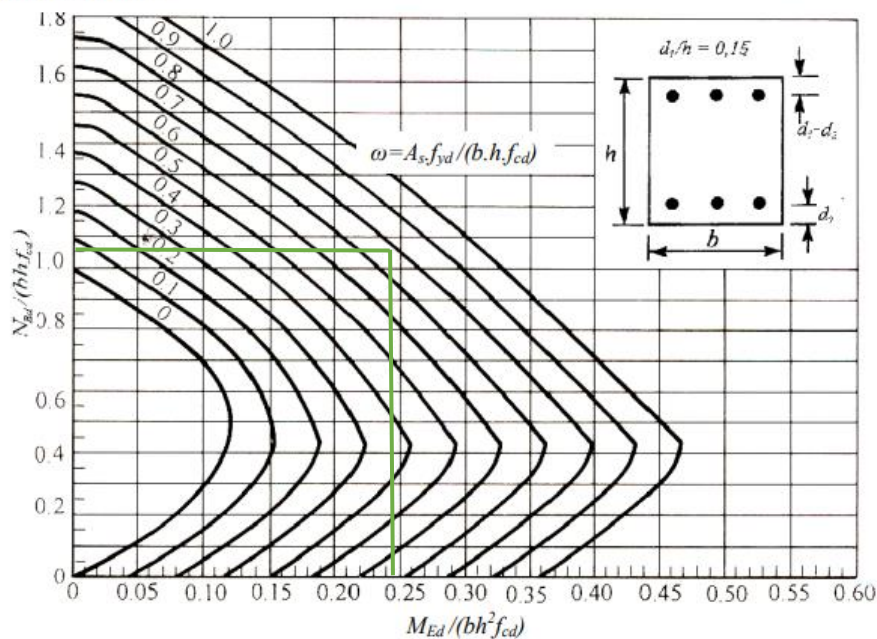
$$d = 200 \text{ mm}$$

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

$$d_1 = h - d = 250 - 200 = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{50}{250} = 0,2 \rightarrow \text{volba nomogramu}$$

Nomogram 12.3



Obr. č. 109 – Nomogram 12.3 pro výpočet potřebné výztuže sloupu [8]

$$\frac{M_{Ed,max}}{bh^2f_{cd}} = \frac{138,32}{450 \cdot 250^2 \cdot 20} 10^6 = 0,246$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{bhf_{cd}} = \frac{2394,28}{450 \cdot 250 \cdot 20} 10^3 = 1,06$$

$$\omega = 0,8 = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} \rightarrow A_s = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_{s,req} = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,8 \cdot 250 \cdot 450 \cdot 20}{435} = 4138 \text{ mm}^2$$

Odhadnutá výztuž z výpočtu křivosti, respektive její plocha je větší než požadovaná plocha. Předpoklad při výpočtu křivosti byl správný.

Třmínky: $\varnothing_{tr} = 10 \text{ mm}$
Výztuž: $14\varnothing 20 \text{ mm}$ ($A_{s,prov} = 4396 \text{ mm}^2$)

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 2394,28}{435} 10^3 = 550 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 250 = 4500 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,req} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$550 < 4138 < 4396 < 4500$$

...VYHOVUJE

POSOUZENÍ PRŮŘEZU LEVÉHO SLOUPU:

Mez porušení průřezu namáhaného ohybovým momentem a normálovou silou (dosažení mezního přetvoření v betonu nebo výztuži), je znázorněna plnou čarou v grafech na obrázku č. 101. Průřez vyhoví, pokud se při kombinacích normálové síly a momentu (uvedeny v tabulce č. 97) vejde do plochy vymezené čarou meze porušení. Sloup je potřeba posoudit pro různé stavy, ne na maximální hodnoty, či obálku sil.

Výztuž je v průřezu rozdělena rovnoměrně - interakční diagram je tedy souměrný a stačí vypočet křivky pouze pro jednu stranu.

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{700}{700 - f_{yd}} = \frac{700}{700 - 435} = 2,642$$

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

$$d_1 = d_2 = 50 \text{ mm}$$

BOD 0 (DOSTŘEDNÝ TLAK):

Jelikož průřez je vyztužen souměrně, moment v tomto bodě je nulový.

$$\begin{aligned} N_{Rd0} &= -(b \cdot h \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s) = -(450 \cdot 250 \cdot 20 + 4396 \cdot 400)10^{-3} = \\ &= -4\,008,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

BOD 1:

Neutrální osa prochází těžištěm výztuže A_{s1} , jelikož je výztuž rozdělena na dvě řady (každá na jedné straně šířky průřezu) hodnota $x = d$. Výztuž A_{s1} není namáhána.

$$d = 200 \text{ mm} \geq \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 2,642 \cdot 50 = 132 \text{ mm} \rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \frac{A_s}{2} f_{yd} = \frac{4396}{2} 435 \cdot 10^{-3} = 956,13 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd1} &= -(0,8 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + F_{s2}) = \\ &= -(0,8 \cdot 450 \cdot 200 \cdot 20 \cdot 10^{-3} + 956,13) = -2396,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_1 = \frac{250}{2} - 50 = 75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd1} &= 0,8 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - 0,8d) + F_{s2} \cdot z_2 = \\ &= 0,8 \cdot 450 \cdot 200 \cdot 20 \cdot 0,5(250 - 0,8 \cdot 200)10^{-6} + \\ &+ 956,13 \cdot 75 \cdot 10^{-3} = 136,51 \text{ kNm} \end{aligned}$$

BOD 2:

Tvoří rozhraní mezi malou a velkou výstředností v tlaku. Neutrální osa se nachází ve vnitřní části průřezu – na únosnosti se podílí tlačena oblast betonu a tlačena i tažená výztuž.

$$\xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 200 = 123 \text{ mm} \quad \geq \quad \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 132 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \sigma_{s2} \neq f_{yd}$$

Geometrická podmínka:

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\xi_{bal,1} \cdot d} = \frac{\varepsilon_{s2}}{\xi_{bal,1} \cdot d - d_2}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (\xi_{bal,1} \cdot d - d_2)}{\xi_{bal,1} \cdot d} = \frac{0,0035 \cdot (0,617 \cdot 200 - 50)}{0,617 \cdot 200} = 0,0021$$

$$\sigma_{s2} = 0,0021 \cdot 200\,000 = 416 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd2} &= -(0,8 \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} + F_{s2} - F_{s1}) = -0,8 \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} = \\ &= -0,8 \cdot 0,617 \cdot 200 \cdot 450 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = \mathbf{-888,48 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd2} &= 0,8 \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - 0,8 \cdot \xi_{bal,1} \cdot d) + F_{s1} \cdot z_1 + \\ &+ A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 0,617 \cdot 450 \cdot 200 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot (250 - \\ &- 0,8 \cdot 0,617 \cdot 200)10^{-6} + 956,13 \cdot 75 \cdot 10^{-3} + \\ &+ 2198 \cdot 416 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = \mathbf{207,49 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

BOD 3 (PROSTÝ OHYB):

Mez únosnosti průřezu při namáhání prostým ohybem.

$$N_{Rd3} = \mathbf{0 \text{ kN}}$$

Podmínka rovnováhy:

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s$$

$$F_c + F_{s2} = F_{s1}$$

$$0,8 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot x + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2198 \cdot 435 - 2198 \cdot 200\,000 \cdot \varepsilon_{s2}}{0,8 \cdot 450 \cdot 20} = \\ &= 132,80 - 61\,055,56 \cdot \varepsilon_{s2} \end{aligned}$$

Geometrická podmínka:

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2} \quad \rightarrow \quad x = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot d_2}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{s2})} = \frac{0,0035 \cdot 50}{0,0035 - \varepsilon_{s2}} = \frac{0,18}{0,0035 - \varepsilon_{s2}}$$

$$132,80 - 61\,055,56 \cdot \varepsilon_{s2} = \frac{0,18}{0,0035 - \varepsilon_{s2}}$$

$$0,46 - 132,80 \varepsilon_{s2} - 213,69 \varepsilon_{s2} + 61055,56 \varepsilon_{s2}^2 - 0,18 = 0$$

$$61055,56 \varepsilon_{s2}^2 - 346,49 \varepsilon_{s2} + 0,28 = 0$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0010$$

$$\sigma_{s2} = 0,0010 \cdot 200\,000 = 200 \text{ MPa}$$

$$x = 132,80 - 61\,055,56 \cdot 0,0010 = 72 \text{ mm}$$

$$M_{Rd3} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot 0,5(h - 0,8x) + F_{s1} \cdot z_1 +$$

$$+ A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 72 \cdot 450 \cdot 20 \cdot 0,5(250 - 0,8 \cdot 72)10^{-6} +$$

$$+ 956,13 \cdot 75 \cdot 10^{-3} + 2198 \cdot 200 \cdot 75 \cdot 10^{-6} = \mathbf{154,55 \text{ kNm}}$$

BOD 4:

Neutrální osa prochází těžištěm výztuže A_{s2} . Výztuž A_{s2} se na únosnosti průřezu nepodílí.

$$N_{Rd4} = F_{s1} = \mathbf{956,13 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd4} = F_{s1} \cdot z_1 = 956,13 \cdot 75 \cdot 10^{-3} = \mathbf{71,71 \text{ kNm}}$$

BOD 5 (DOSTŘEDNÝ TAH):

Jelikož je výztuž rozdělena symetricky, neutrální osa leží v těžišti průřezu.

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 956,13 + 956,13 = \mathbf{1912,26 \text{ kN}}$$

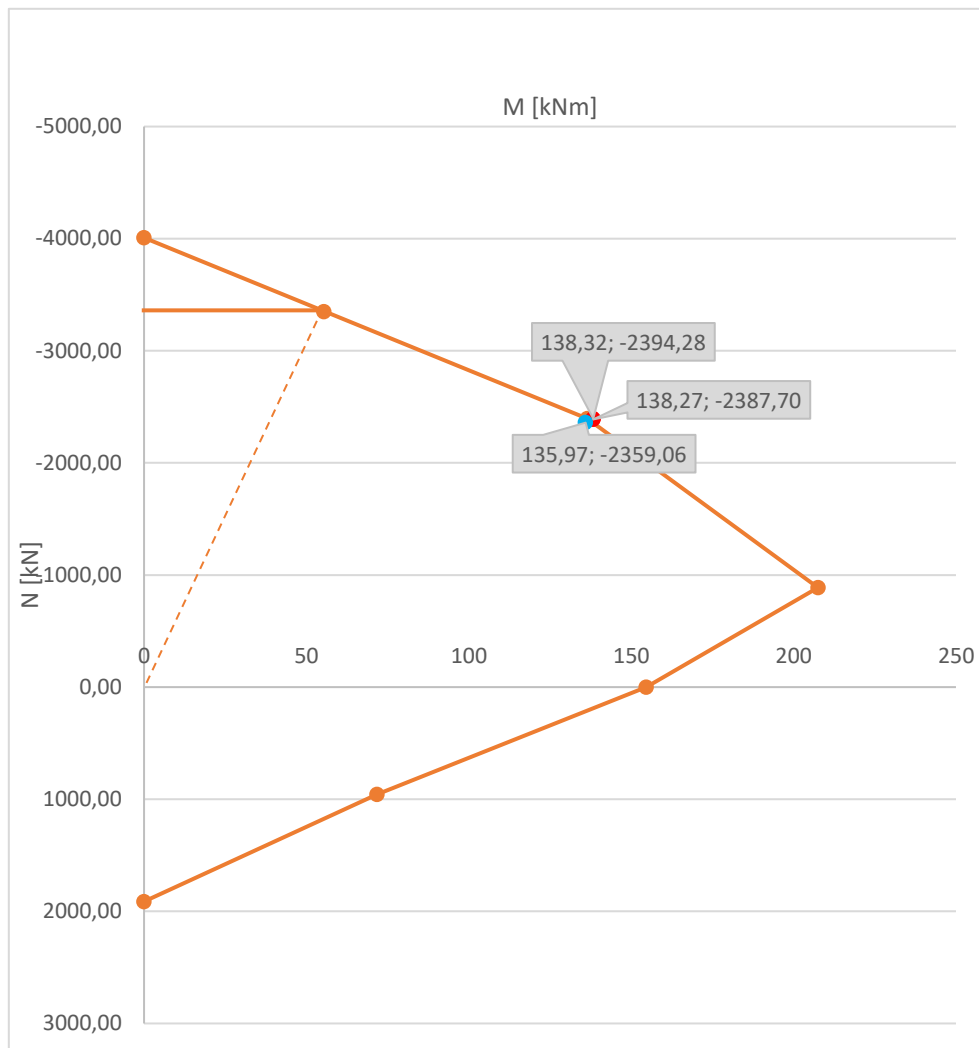
$$M_{Rd5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

Tab. č. 97 – Kombinace momentů a normálových sil působících na levý sloup rámu

	max. N + odp. M	max. M + odp. N	min. N + odp. M
M_{Ed} [kNm]	138,32	138,27	135,97
N_{Ed} [kN]	-2394,28	-2387,70	-2359,06

Tab. č. 98 – Body Interakčního diagramu pro levý sloup

BODY	0	1	2	3	4	5
M_{Rd} [kNm]	0	136,51	207,49	154,55	71,71	0
N_{Rd} [kN]	-4008,40	-2396,13	-888,48	0,00	956,13	1912,26



Obr. č. 110 – Interakční diagram pro levý sloup rámu, vypracován v programu Excel

Na obrázku č. 97 je vykreslena pravá část interakčního diagramu s vyznačenými body stavů zatížení sloupu. Modře znázorněn je stav, kdy je normálová síla minimální s odpovídajícím momentem. Pouze tento bod se nachází v ploše únosnosti sloupu. Zbylé hodnoty pro stavy maximální normálové síly (a příslušného momentu) a maximálního momentu (s příslušnou normálovou silou) se nachází mimo vyznačenou plochu. Průřez tedy nevyhoví.

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

Jelikož větší množství výztuže se dle konstrukčních zásad do průřezu nedá umístit, je potřeba zvýšit únosnost zvětšením průřezu sloupu.

6.4.1.5 Přepočítání průřezu levého sloupu

Šířka sloupu je zvětšena z 250 mm na 300 mm směrem ke středu přičle. Sloup bude zasahovat do kompozice garáží, ale neovlivní způsob používání těchto prostor.

$$l_0 = 3165 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

OHYBOVÝ MOMENT 1.ŘÁDU:

$$e_i = 20 \text{ mm}$$

$$e_f = \frac{M}{N}$$

$$e_0 \geq \max\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \max\left(\frac{250}{30}; 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

Tab. č. 99 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro max. N + odp. M (A)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2385,17	-2394,28	-1546,48	-1555,58
M _{imp} [kNm]	47,70	47,89	30,93	31,11
M [kNm]	-90,62	44,73	-58,33	28,79
M ₀₁ [kNm]	-	92,62	-	59,90
M ₀₂ [kNm]	-138,32	-	-89,26	-
e _f [mm]	38	19	38	19
e ₀ [mm]	58	39	58	39

Tab. č. 100 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro max. M + odp. N (B)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2378,60	-2387,70	-1545,16	-1554,27
M _{imp} [kNm]	47,57	47,75	30,90	31,09
M [kNm]	-90,70	44,77	-59,35	28,80
M ₀₁ [kNm]	-	92,52	-	59,89
M ₀₂ [kNm]	-138,27	-	-90,25	-
e _f [mm]	38	19	38	19
e ₀ [mm]	58	39	58	39

Tab. č. 101 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro min. N + odp. M (C)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-2342,96	-2359,06	-1538,04	-1547,14
M _{imp} [kNm]	46,86	47,18	30,76	30,94
M [kNm]	-89,11	43,98	-58,03	28,64
M ₀₁ [kNm]	-	91,16	-	59,58
M ₀₂ [kNm]	-135,97	-	-88,79	-
e _f [mm]	38	19	38	19
e ₀ [mm]	58	39	58	39

STANOVENÍ ŠTÍHLOSTI:

Tab. č. 102 – Stanovení štíhlosti pro levý sloup rámu

	max. N + odp. M (A)	max. M + odp. N (B)	min. N + odp. M (C)
λ [-]	36,55	36,55	36,55
rm [-]	-0,67	-0,67	-0,67
C [-]	2,37	2,37	2,37
n [-]	0,89	0,88	0,87
λ _{lim} [-]	38,75	38,80	39,05

$$\begin{aligned} \lambda = 36,55 &\leq \lambda_{lim,max.A} = 38,75 \\ &\leq \lambda_{lim,max.B} = 38,80 \\ &\leq \lambda_{lim,max.C} = 39,05 \end{aligned}$$

.....JEDNÁ SE O MASIVNÍ SLOUP

Zvětšením průřezu sloupu došlo ke změně a sloup se již klasifikuje jako masivní. Lze tedy zanedbat vliv štíhlosti a moment druhého řádu.

NÁVRHOVÝ MOMENT:

$$M_{Ed,A} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 138,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,B} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 138,27 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,C} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 135,97 \text{ kNm}$$

NÁVRH VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU:

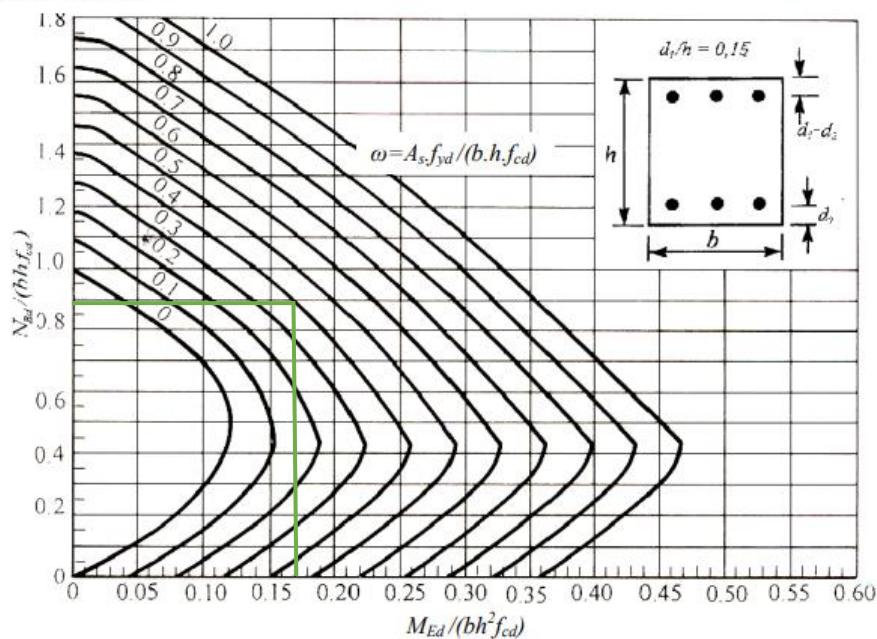
$$d = h - c - \phi_{\text{tř}} - \frac{\phi}{2} = 300 - (20 + 10) - 10 - \frac{20}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - d = 300 - 250 = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{50}{300} = 0,17 \rightarrow \text{volba nomogramu}$$

Nomogram 12.3



Obr. č. 111 – Nomogram 12.3 pro výpočet potřebné výztuže sloupu [8]

$$\frac{M_{Ed,max}}{bh^2 f_{cd}} = \frac{138,32}{450 \cdot 300^2 \cdot 20} 10^6 = 0,171$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{bh f_{cd}} = \frac{2394,28}{450 \cdot 300 \cdot 20} 10^3 = 0,887$$

$$\omega = 0,4$$

$$A_{s,req} = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,4 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 20}{435} = 2483 \text{ mm}^2$$

NÁVRH:

Třmínky: $\varnothing_{tr} = 10 \text{ mm}$
Výztuž: $10\varnothing 20 \text{ mm}$ ($A_{s,prov} = 3140 \text{ mm}^2$)

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 2394,28}{435} 10^3 = 550 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 300 = 5400 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,req} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$550 < 2483 < 3140 < 5400$$

...VYHOVUJE

POSOUZENÍ PRŮŘEZU LEVÉHO SLOUPU:

Výpočet byl vytvořen v programu Excel.

VSTUPNÍ HODNOTY:

$$\xi_{bal,1} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = 2,642$$

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

$$d_1 = d_2 = 50 \text{ mm}$$

$$A_s = 3140 \text{ mm}^2$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \frac{A_s}{2} f_{yd} = \frac{3140}{2} 435 \cdot 10^{-3} = 682,95 \text{ kN}$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_1 = \frac{300}{2} - 50 = 100 \text{ mm}$$

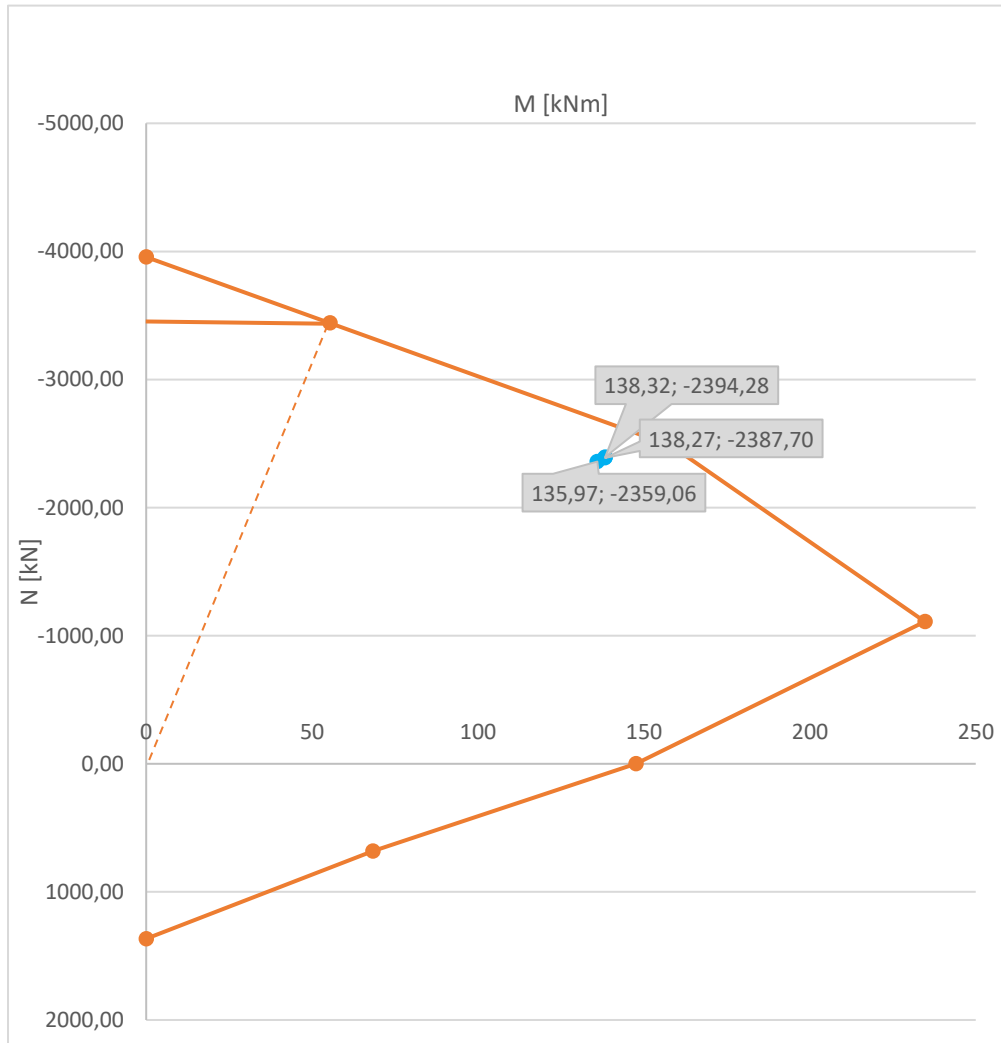
V bodě 2 platí:

$$\xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 250 = 154 \text{ mm} \geq \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 132 \text{ mm}$$

$$\rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

Tab. č. 103 – Body Interakčního diagramu pro upravený průřez levého sloupu rámu

BODY	0	1	2	3	4	5
M_{Rd} [kNm]	0	158,30	234,66	147,58	68,30	0
N_{Rd} [kN]	-3956,00	-2482,95	-1110,60	0,00	682,95	1365,90



Obr. č. 112 – Interakční diagram pro upravený levý sloup rámu, vypracováno v programu Excel

Na obrázku č. 112 je vykreslena pravá část interakčního diagramu s vyznačenými body stavů zatížení sloupu. Všechny body se nachází ve vyznačené ploše mezní únosnosti. Nově navržený průřez tedy vyhoví.

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVÍ

6.4.2 Pravý sloup

VSTUPNÍ HODNOTY PRO VÝPOČET:

Tab. č. 104 – Vstupní hodnoty pro výpočet pravého sloupu

		N _{Ed} [kN]		M _{Ed} [kNm]		N _{Kvazi} [kN]		M _{Kvazi} [kNm]	
		hlava	pata	hlava	pata	hlava	pata	hlava	pata
max. N + odp. M	gk + qk v polích 2,3	-1986,18	-1995,28	113,93	-56,19	-1283,86	-1292,97	73,34	-36,17
max. M + odp. N	gk + qk v polích 1,2	-1980,81	-1989,91	114,03	-56,24	-1282,78	-1291,89	73,36	-36,18
min. N + odp. M	gk + qk v polích 1,3	-1947,89	-1956,99	112,03	-55,25	-1276,21	-1285,31	72,96	-35,98

$$l_0 = 3165 \text{ mm}$$

V návaznosti na výpočet levého sloupu je upravena šířka i pravého sloupu.

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

OHYBOVÝ MOMENT 1.ŘÁDU:

$$e_i = 20 \text{ mm}$$

$$e_f = \frac{M}{N}$$

$$e_0 \geq \max\left(\frac{h}{30}; 20 \text{ mm}\right) = \max\left(\frac{300}{30}; 20 \text{ mm}\right) = 20 \text{ mm}$$

Tab. č. 105 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro max. N + odp. M (A)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-1986,18	-1995,28	-1283,86	-1292,97
M _{imp} [kNm]	39,72	39,91	25,68	25,86
M [kNm]	113,93	-56,19	73,34	-36,17
M ₀₂ [kNm]	153,65	-	99,02	-
M ₀₁ [kNm]	-	-96,10	-	-62,03
e _f [mm]	57,36	28,16	57,12	27,97
e ₀ [mm]	77,36	48,16	77,12	47,97

Tab. č. 106 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro max. M + odp. N (B)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-1980,81	-1989,91	-1282,78	-1291,89
M _{imp} [kNm]	39,62	39,80	25,66	25,84
M [kNm]	114,03	-56,24	73,36	-36,18
M ₀₂ [kNm]	153,65	-	99,02	-
M ₀₁ [kNm]	-	-96,04	-	-62,02
e _f [mm]	58	28	57	28
e ₀ [mm]	78	48	77	48

Tab. č. 107 – Výpočty pro stanovení momentu 1. řádu pro min. N + odp. M (C)

	NÁVRHOVÉ HODNOTY		KVAZISTÁLÉ HODNOTY	
	HLAVA	PATA	HLAVA	PATA
N [kN]	-1947,89	-1956,99	-1276,21	-1285,31
M _{imp} [kNm]	38,96	39,14	25,52	25,71
M [kNm]	112,03	-55,25	72,96	-35,98
M ₀₂ [kNm]	150,99	-	98,48	-
M ₀₁ [kNm]	-	-94,39	-	-61,69
e _f [mm]	58	28	57	28
e ₀ [mm]	78	48	77	48

STANOVENÍ ŠTÍHLosti:

Tab. č. 108 – Stanovení štíhlosti pro levý sloup rámu

	max. N + odp. M (A)	max. M + odp. N (B)	min. N + odp. M (C)
λ [-]	36,55	36,55	36,55
r _m [-]	-0,63	-0,63	-0,63
C [-]	2,33	2,33	2,33
n [-]	0,74	0,74	0,72
λ_{lim} [-]	41,66	41,71	42,06

$$\lambda = 36,55 \leq \lambda_{lim,max.A} = 41,66$$

$$\leq \lambda_{lim,max.B} = 41,71$$

$$\leq \lambda_{lim,max.C} = 42,06$$

.....JEDNÁ SE O MASIVNÍ SLOUP

NÁVRHOVÝ MOMENT:

$$M_{Ed,A} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 153,65 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,B} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 153,65 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,C} = \max(|M_{top}|; |M_{bot}|) + |M_{imp}| = 150,99 \text{ kNm}$$

NÁVRH VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU:

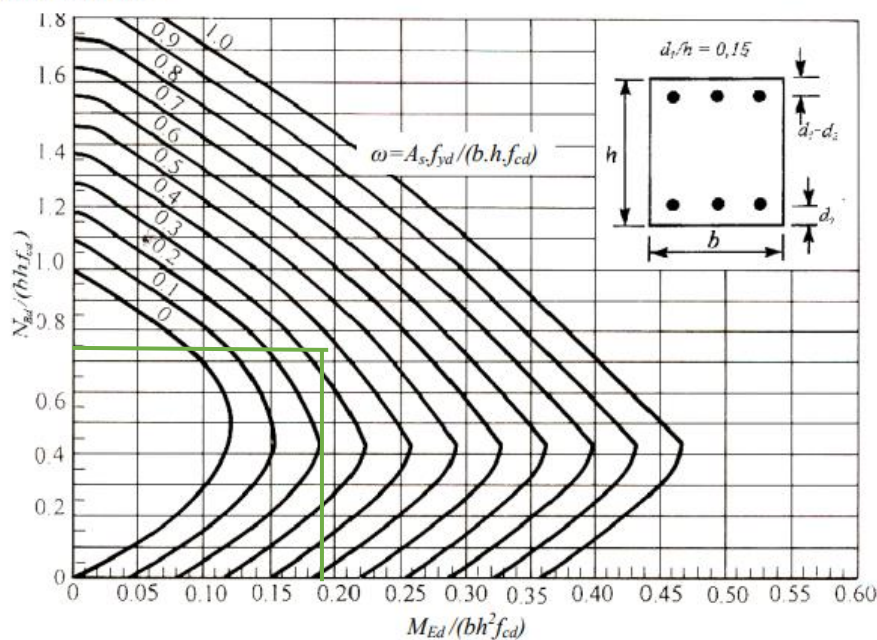
$$d = 250 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{50}{300} = 0,17 \rightarrow \text{volba nomogramu}$$

Nomogram 12.3



Obr. č. 113 – Nomogram 12.3 pro výpočet potřebné výztuže sloupu [8]

$$\frac{M_{Ed,max}}{b h^2 f_{cd}} = \frac{153,65}{450 \cdot 300^2 \cdot 20} 10^6 = 0,190$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{bh f_{cd}} = \frac{1995,28}{450 \cdot 300 \cdot 20} 10^3 = 0,739$$

$$\omega = 0,25$$

$$A_{s,req} = \frac{\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0,25 \cdot 300 \cdot 450 \cdot 20}{435} = 1552 \text{ mm}^2$$

NÁVRH:

Třmínky: $\emptyset_{tr} = 10 \text{ mm}$
Výztuž: $8\emptyset 20 \text{ mm}$ ($A_{s,prov} = 2512 \text{ mm}^2$)

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY:

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 1995,28}{435} 10^3 = 459 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 450 \cdot 300 = 5400 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{s,req} < A_{s,prov} < A_{s,max}$$

$$459 < 1552 < 2512 < 5400$$

...VYHOVUJE

POSOUZENÍ PRŮŘEZU LEVÉHO SLOUPU:

Výpočet byl vytvořen v programu Excel.

VSTUPNÍ HODNOTY:

$$\xi_{bal,1} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = 2,642$$

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

$$d_1 = d_2 = 50 \text{ mm}$$

$$A_s = 2512 \text{ mm}^2$$

$$F_{s1} = F_{s2} = \frac{A_s}{2} f_{yd} = \frac{2512}{2} 435 \cdot 10^{-3} = 546,36 \text{ kN}$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_1 = \frac{300}{2} - 50 = 100 \text{ mm}$$

V bodě 2 platí:

$$\xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 250 = 154 \text{ mm} \geq \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 132 \text{ mm}$$

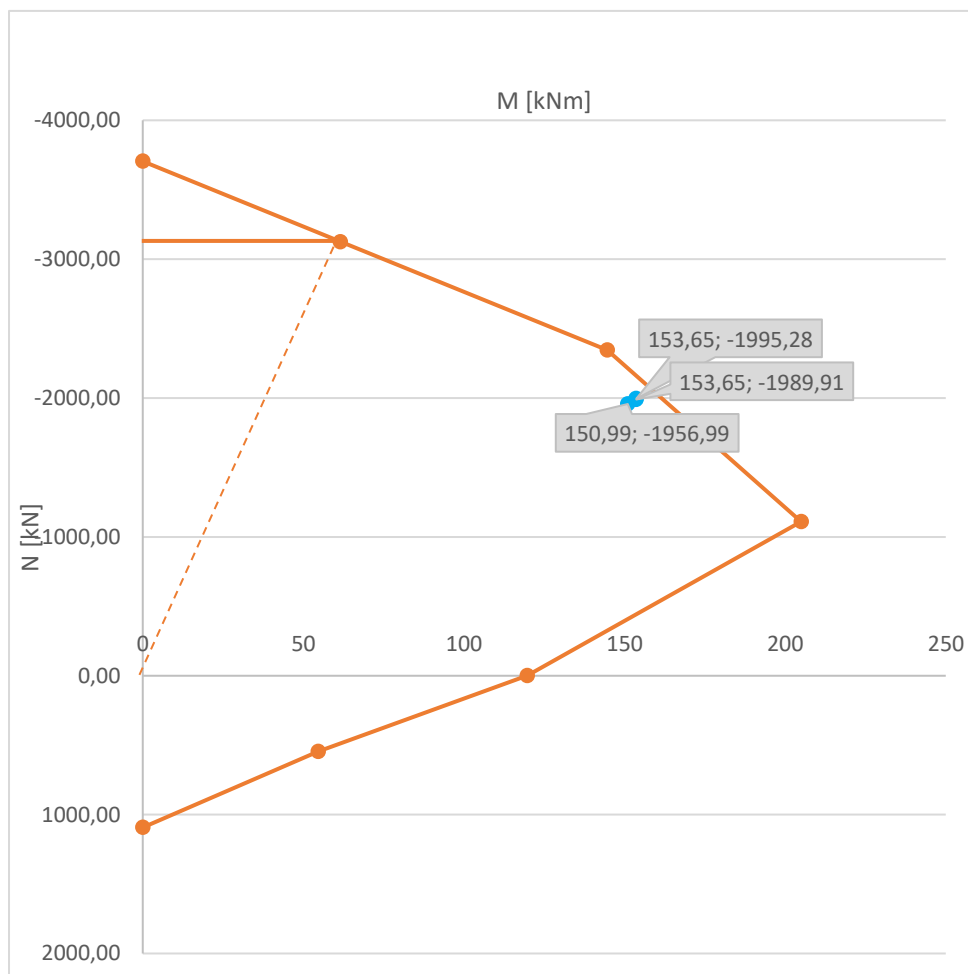
$$\rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

Tab. č. 109 – Kombinace momentů a normálových sil působících na pravý sloup rámu

	max. N + odp. M	max. M + odp. N	min. N + odp. M
M_{Ed} [kNm]	153,65	153,65	150,99
N_{Ed} [kN]	-1995,28	-1989,91	-1956,99

Tab. č. 110 – Body Interakčního diagramu pravého sloupu

BODY	0	1	2	3	4	5
M_{Rd} [kNm]	0	144,64	204,95	119,71	54,64	0
N_{Rd} [kN]	-3704,80	-2346,36	-1110,60	0,00	546,36	1092,72



Obr. č. 114 – Interakční diagram pro pravý sloup rámu, vypracováno v programu Excel

Všechny body se nachází ve vyznačené ploše mezní únosnosti. Nově navržený průřez tedy vyhoví.

NAVRŽENÝ PRŮŘEZ VYHOVÍ

6.5 ROZMÍSTĚNÍ VÝZTUŽE

6.5.1 Rozmístění výztuže příčle

Tahová výztuž v prvcích namáhaných ohybem má být rozmístěna podle obálky vnitřních sil. Je třeba brát v potaz i účinky posouvajících sil. Tento aspekt se zohlední rozšířením obálky momentů o hodnotu a_l :

$$a_l = \frac{z \cdot \cot\theta - c\cot\alpha}{2}$$

Sklon smykové výztuže:

$$\alpha = 90^\circ$$

Úhel sklonu tlačené diagonály:

$$\cot\theta = 1,5$$

Rameno sil v průřezu:

$$z = d - 0,5 \cdot 0,8 \cdot x$$

Tab. č. 111 – Výpočet a_l pro jednotlivé průřezy

	jednotky	průřezy			
		1,2	3	4	5
d	mm	902	902	936	946
x	mm	372	372	240	390
z	mm	753	753	840	790
a_l	mm	565	565	630	593

6.5.1.1 Kotvení výztuže

VÝZTUŽ PŘI SPODNÍM POVRCHU:

Návrhové namáhání prutu:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctk\ 0,05} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk\ 0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

Součinitel zohledňující kvalitu soudržnosti a polohu prutu během betonáže:

$$\eta_1 = 1 \quad (\text{pro tahovou výztuž při spodním povrchu})$$

Součinitel zohledňující průměr prutu:

$$\eta_2 = 1 \quad (\varnothing \leq 32 \text{ mm})$$

Mezní napětí v soudržnosti pro tažené pruty při spodním povrchu:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka pro pruty při spodním povrchu:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{28 \cdot 435}{4 \cdot 2,99} = 1018 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 1018; 10 \cdot 28; 100) = \\ = 305 \text{ mm}$$

Součinitelé vyjadřující ovlivňující podmínky (tvar prutu, tloušťku krycí vrstvy a mezery mezi pruty, vliv kolmého tlaku):

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 1 \quad (\text{tuto honotu lze bezpečně uvažovat})$$

$$\alpha_1 = 0,7 \quad (\text{pro háky a ohnuté pruty})$$

Návrhová kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1018 = \mathbf{1018 \text{ mm}}$$

$$\geq l_{b,min} = 305 \text{ mm}$$

$$l_{bd,ohnuté \text{ pruty}} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b,rqd} = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1018 = \mathbf{713 \text{ mm}}$$

$$\geq l_{b,min} = 305 \text{ mm}$$

VÝZTUŽ PŘI HORNÍM POVRCHU:

Jelikož má příčel poměrně velikou výšku, výztuž u horního povrchu už spadá do špatných podmínek soudržnosti.

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 0,7 \quad (\text{pro tažené pruty při horním povrchu})$$

$$\eta_2 = 1 \quad (\varnothing \leq 32 \text{ mm})$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,09 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{28 \cdot 435}{4 \cdot 2,09} = 1457 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 1457; 10 \cdot 28; 100) = \\ = 437 \text{ mm}$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1457 = \mathbf{1457 \text{ mm}}$$

$$\geq l_{b,min} = 437 \text{ mm}$$

6.5.1.2 Stykování výztuže přesahem

VÝZTUŽ PŘI SPODNÍM POVRCHU:

Součinitel zohledňující množství stykované výztuže v oblasti $0,65l_0$:

$$\alpha_6 \approx 1,5 \quad (> 50\%)$$

Minimální délka přesahu:

$$\begin{aligned} l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}) = \\ &= \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 1018; 15 \cdot 28; 200) = 458 \text{ mm} \end{aligned}$$

Návrhová délka přesahu:

$$\begin{aligned} l_0 &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1018 = \mathbf{1527 \text{ mm}} \\ &\geq l_{0,min} = 458 \text{ mm} \end{aligned}$$

VÝZTUŽ PŘI HORNÍM POVRCHU:

$$\alpha_6 \approx 1,5 \quad (> 50\%)$$

$$\begin{aligned} l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200 \text{ mm}) = \\ &= \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 1457; 15 \cdot 28; 200) = 656 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_0 &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1457 = \mathbf{2186 \text{ mm}} \\ &\geq l_{0,min} = 656 \text{ mm} \end{aligned}$$

VÝZTUŽ K NAVAZUJÍCÍM STĚNÁM:

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1$$

$$\eta_2 = 1 \quad (\phi \leq 32 \text{ mm})$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 2,99} = 364 \text{ mm}$$

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 1$$

$$\alpha_6 \approx 1,5 \quad (> 50\%)$$

$$\begin{aligned} l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\emptyset; 200 \text{ mm}) = \\ &= \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 364; 15 \cdot 10; 200) = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 364 = \mathbf{546 \text{ mm}}$$

$$\geq l_{0,min} = 200 \text{ mm}$$

6.5.2 Rozmístění výztuže sloupů

6.5.2.1 Kotvení výztuže

$$\sigma_{sd} = f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 1$$

$$\eta_2 = 1 \quad (\emptyset \leq 32 \text{ mm})$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 2,99 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{20 \cdot 435}{4 \cdot 2,99} = 727 \text{ mm}$$

$$\alpha_1, \alpha_2; \alpha_3 = 1$$

$$\alpha_1 = 0,7 \quad (\text{pro háky a ohnuté pruty})$$

$$\begin{aligned} l_{b,min} &= \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\emptyset; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 727; 10 \cdot 20; 100) = \\ &= 218 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 727 = \mathbf{727 \text{ mm}}$$

$$\geq l_{b,min} = 218 \text{ mm}$$

$$l_{bd,ohnuté\ pruty} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot l_{b,rqd} = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 727 = \mathbf{509\ mm}$$
$$\geq l_{b,min} = 218\ mm$$

6.5.2.2 Stykování výztuže přesahem

$$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3 = 1$$

$$\alpha_6 \approx 1,5 \quad (> 50\%)$$

$$l_{0,min} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15\phi; 200\ mm) =$$
$$= \max(0,3 \cdot 1,5 \cdot 727; 15 \cdot 20; 200) = 327\ mm$$

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 727 = \mathbf{1090\ mm}$$
$$\geq l_{0,min} = 327\ mm$$

6.5.2.3 Vzdálenost příčné výztuže (třmínků)

$$s_s \leq \min(15\phi; b; 300\ mm) = \min(15 \cdot 20; 300; 300)$$

$$s_s \leq 300\ mm$$

Pod deskou (v délce h) a v oblasti styků podélné výztuže je vzdálenost snížena na $0,6s_s$, zároveň je v oblast styku opatřit minimálně 3 třmínky.

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl proveden předběžný návrh konstrukcí převzatých ze studie objektu.

V další části byl vytvořen model objektu v programu SCIA. Na modelu byla ověřena prostorová tuhost, průhyby jednotlivých desek (zjednodušeně) a celková reálnost návrhu.

Dále byl proveden podrobný návrh a posouzení rámu v podzemním podlaží, kterému předcházela výběr konkrétního modelu, který by vystihl reálné chování konstrukce.

Při porovnání jednotlivých zatížených modelů je zřejmé, že modely celé konstrukce udávají zkreslené výsledky. Je to z důvodu, že program SCIA uvažuje propojení mezi dvěma entitami jako nekonečně tuhé, konstrukce tedy plně spolupůsobí a zatížení je vedeno do okolními konstrukcemi stěn. Návrh na hodnoty z celkového modelu by byl riskantní a konstrukce by byla poddimenzovaná.

Tento problém byl vyřešen modely samostatného rámu a samostatného podzemního podlaží, které byly zatíženy silami z nadzemních podlaží. Touto úpravou se zohlednil postup výstavby a reálné chování konstrukce, kdy propojení jednotlivých prvků konstrukce není dokonale tuhé. U modelu samostatného rámu i modelu podzemního podlaží jsou tvary průběhů vnitřních sil stejné. Rozdíl mezi těmito modely je přerozdělení momentů rovnoměrně po konstrukci u samostatného rámu. Nejsou tedy výrazné rozdíly mezi maximálním momentem v poli a nad podporou. Vnitřní síly na samostatném rámu byly použity pro návrh rámu.

Při posouzení příčle na mezní stav použitelnosti, konstrukce nevyhověla, byla tedy zvětšena výška. Výška byla dána jako maximální pro dodržení minimální světlé výšky garáží 2,1 m. Užší průřez příčle byl upraven na šířku 450 mm (z 250 mm), touto úpravou se umožnilo vhodnější vyztužení (více prutů v jedné řadě, lepší podmínky kotvení výztuže). Přidaná šířka příčle (200 mm) zasahuje do schodišťového prostoru, šířka ramene se tedy sníží na 1,55 m. Průchodná šířka schodišťového ramene bude stále dodržena. Upravená příčel vyhověla, při dodržení určitých opatření popsaných výše.

Levý sloup (respektive část stěny) v rámu nevyhověl na únosnost a bylo potřeba zvětšit výška průřezu na 300 mm (z 250 mm). Upravený průřez již vyhověl. Stěna bude rozšířena jen v části uvažovaného sloupu. Pravý sloup byl rovněž rozšířen na 300 mm. Část stěny u schodišťového prostoru, do níž zasahuje část příčle, byla rozšířena na šířku příčle (450 mm), aby bylo možné zakotvení výztuže. Tento „sloup“ nebyl posouzen.

Navržené řešení objektu není ideální, kvůli minimálním přípustným rozměrům v podzemním podlaží, zásahu konstrukce příčle do schodišťového prostoru a rozšířených částí stěn. Ideální úpravou by bylo zvýšení konstrukční výšky podzemního podlaží a posunu os uložení některých stěn (umožnilo by to posun příčle). Došlo by takto k lepším návaznostem na ostatní konstrukce. I přes tyto aspekty je navržená konstrukce vyhovující.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Vila Vista | znamení čtyř - architekti s.r.o., [online]. Dostupné na:
<https://www.znamenictyr.cz/cs/projekt/vila-vista>
- [2] ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Český normalizační institut, 2007
- [5] HANZLOVÁ, Hana, ŠMEJKAL, Jiří. *Betonové a zděné konstrukce 1 – Základy navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2018.
- [6] KOHOUTKOVÁ, Alena, PROCHÁZKA, Jaroslav, VAŠKOVA, Jitka. *Navrhování železobetonových konstrukcí – příklady a postupy*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2021.
- [7] PROCHÁZKA, Jaroslav, ŠMEJKAL, Jiří. *Betonové vícepodlažní a halové konstrukce*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2018.
- [8] PROCHÁZKA, Jaroslav, ŠMEJKAL, Jiří, VÍTEK, Jan L., VAŠKOVA, Jitka. *Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: Vydavatelství ČKAIT, 2010.
- [9] BÍLÝ, Petr. Podklady k výuce předmětu 133YBKC – *Analýza 3D konstrukce v programu SCIA Engineer* [online]. Dostupné na:
http://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/vyuka/133YBKC/YBKC_Deska.pdf
- [10] Schöck-Witteck s.r.o., Podklady pro projekci [online]. Dostupné na:
<http://www.schoeck.com/cs/home>
- [11] VINKLER, Marek, PROCHÁZKA, Jaroslav. Porovnání výpočtů šířky trhliny dle různých přístupů. *Beton TKS: Technologie – beton v extrémním prostředí*. 2014/2, **80**, 72-78.

SEZNAM ZKRATEK

MSÚ – mezní stav únosnosti

MSP – mezní stav použitelnosti

SCIA – program SCIA Engineer 21.1

K.V. – konstrukční výška

NP – nadzemní podlaží

PP – podzemní podlaží

ST – krátkodobě působící zatížení

LT – dlouhodobě působící zatížení

Excel – Microsoft Excel

CR – trhлина

TL – tloušťka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – VÝKRES TVARU DESKY 1.NP

Příloha č.2 – VÝKRES TVARU DESKY 2.NP

Příloha č.3 – VÝKRES TVARU DESKY 3.NP

Příloha č.4 – VÝKRES TVARU DESKY 4.NP

Příloha č.5 – VÝKRES TVARU DESKY STŘECHY

Příloha č.6 – VÝKRES SKLADBY SCHODIŠTĚ

Příloha č.7 – VÝKRES VÝZTUŽE RÁMU

Příloha č.8 – TECHNICKÁ ZPRÁVA KE STATICKÉ ČÁSTI