

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**EVGENII
RIABINA**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
 Thákurova 7, 166 29 Praha 6


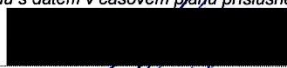


ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE


I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: RIABINA	Jméno: Evgenii	Osobní číslo: 478646
Zadávající katedra: betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Konstrukční návrh objektu Kulturního centra , Praha, Stodůlky	
Název bakalářské práce anglicky: Structural design of Culture Centre, Prague, Stodůlky	
Pokyny pro vypracování: Předběžný návrh nosné konstrukce celého objektu v návaznosti na projekt 133P02C. Schémata výkresů tvaru jednotlivých podlaží. Podrobný návrh vybraného sloupu objektu B. Zjednodušená parametrická studie chování štíhlých sloupů. Výkres výztuže vybraného sloupu. Stručná Technická zpráva ke statické části.	
Seznam doporučené literatury: doporučená literatura pro studium předmětů bakalářského studia příslušné normy dostupné podklady z odborných publikací a časopisů se vztahem k řešené problematice	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.6.2023 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
<u>23.02.2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce. Zároveň čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, která byla vložena do IS KOS.

V Praze dne 22.05.2023

Podpis

Evgenii Riabina

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé práce paní Ing. Haně Hanzlová, CSc. za odborné vedení a konzultace, poskytnutí podkladů, trpělivost a čas, který mi věnovala v průběhu zpracování projektů a bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům Bc. Vladislavovi Zobanovovi a Ing. Barboře Sedláčkové za poskytování víkendů pro studium, cenné rady a podklady. Také bych chtěl poděkovat svojí rodině a Darie Korolevě, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Anotace

Obsahem bakalářské práce je předběžný návrh nosné konstrukce administrativní budovy a návrh štíhlého sloupu pro zajištění průhybu problematické konzoly v tanečním sálu, porovnání metod pro návrh železobetonových sloupů s ohledem na účinky druhého řádu.

V první části práce je zpracován předběžný návrh nosných prvků konstrukce administrativní budovy.

V druhé části práce je zpracován návrh, který se zaměřuje na řešení a posouzení vybraného štíhlého sloupu. Posouzení je provedeno třemi různými metodami.

Ve třetí části je zpracována parametrická studie štíhlého železobetonového sloupu. Sloup je porovnáván z hlediska velikosti ohybových momentů získaných pomocí výpočetních metod popsanych v druhé části. Součástí práce jsou výkresy tvaru a schémata vyztužení sloupu.

Klíčová slova

Metoda jmenovité křivosti, metoda jmenovité tuhosti, štíhlý sloup, vzpěrná délka, štíhlost, účinky druhého řádu, železobetonové konstrukce, železobetonový sloup.

Annotation

The content of the bachelor's thesis includes a preliminary design of the structural frame of an administrative building and a design of a slender column to provide the acceptable deflection of a problematic console in the dance hall, comparison of methods for designing reinforced concrete columns considering second-order effects.

The first part of the thesis deals with the preliminary design of the load-bearing elements of the administrative building structure.

The second part of the thesis focuses on the solution and assessment of a selected slender column. The assessment is carried out using three different methods.

The third part presents a parametric study of the slender reinforced concrete column. The column is compared in terms of the magnitude of bending moments obtained using computational methods described in the second part. The thesis also includes drawings of shapes and reinforcement drawings of the column.

Keywords

Nominal curvature method, nominal stiffness method, slender column, effective length, slenderness, second order effects, reinforced concrete structures, reinforced concrete column.

Obsah

Úvod.....	10
1. Architektonický návrh.....	11
2. Charakteristika objektu.....	13
2.1. Popis řešeného objektu.....	13
2.1.1. Obecný popis objektu.....	13
2.1.2. Popis nosné konstrukce objektu.....	13
2.1.2.1. Svislé nosné konstrukce.....	13
2.1.2.2. Vodorovné nosné konstrukce.....	14
2.1.2.3. Svislé komunikační prvky.....	14
2.1.2.4. Prostorová tuhost objektu.....	14
2.1.2.5. Základové konstrukce.....	14
2.1.2.6. Podepření nosných stěn a sloupů.....	14
2.1.2.7. Půdorysná schémata objektu.....	15
2.2. Materiálové řešení a zatížení stavby.....	17
2.2.1. Použité materiály.....	17
2.2.2. Přehled zatížení.....	18
2.2.2.1. Stálé zatížení.....	18
2.2.2.2. Proměnná zatížení:.....	21
3. Předběžný návrh a posouzení prvků.....	23
3.1.1. Stropní desky.....	23
3.1.1.1. Návrh tloušťky stropních desek.....	23
3.1.1.2. Ověření desek z hlediska únosnosti v ohybu.....	24
3.1.2. Průvlaky a trámy.....	29
3.1.2.1. Návrh rozměru průvlaků a trámů.....	29
3.1.2.2. Ověření průřezů průvlaků a trámů.....	32
4. 3D model.....	41
5. Výpočet namáhání sloupu G13 se zohledněním momentu druhého řádu pomocí různých výpočetních metod.....	45
5.1. Vstupní parametry.....	47

5.2. Výpočet vzpěrných délek sloupů.....	48
5.2.1. Sloup v 2. NP.....	49
5.2.2. Sloup v 1. NP.....	50
5.3. Výpočet excentricity řešeného sloupu.....	51
5.3.1. Sloup v 2. NP.....	51
5.3.2. Sloup v 1. NP.....	52
5.4. Výpočet koncových ohybových momentů prvního řádu s vlivem imperfekcí.....	53
5.4.1. Sloup v 2. NP.....	53
5.4.2. Sloup v 1. NP.....	53
5.5. Výpočet návrhových ohybových momentů prvního řádu s vlivem imperfekcí.....	54
5.5.1. Sloup v 2. NP.....	54
5.5.2. Sloup v 1. NP.....	54
5.6. Stanovení štíhlosti sloupů.....	54
5.6.1. Sloup v 2. NP.....	54
5.6.2. Sloup v 1. NP.....	56
5.7. Výpočet excentricit i ohybových momentů druhého řádu a stanovení rozhodujících ohybových momentů.....	57
5.7.1. Metoda jmenovité křivosti.....	57
5.7.1.1. Sloup v 2. NP.....	57
5.7.1.2. Sloup v 1. NP.....	58
5.7.1.3. Výsledek podle metody jmenovité křivosti.....	60
5.7.2. Metoda jmenovité tuhosti.....	61
5.7.2.1. Sloup v 2. NP.....	61
5.7.2.2. Sloup v 1. NP.....	62
5.7.2.3. Výsledek podle metody jmenovité tuhosti.....	64
5.7.3. Obecná numerická metoda.....	64
6. Parametrická studie hodnot ohybových momentů stanovených různými metodami.....	66
6.1.1. Sloup v 2. NP.....	67
6.1.2. Sloup v 1. NP.....	68

6.1.3. Vyhodnocení	69
Závěr.....	70
Seznam zkratk.....	71
Použité zdroje.....	77
Seznam obrázků.....	80
Seznam tabulek.....	82
Přílohy.....	84

Úvod

Obsahem bakalářské práce je předběžný návrh nosné konstrukce administrativní budovy a návrh štíhlého sloupu pro zajištění průhybu problematické konzoly v tanečním sálu, porovnání metod pro návrh železobetonových sloupů s ohledem na účinky druhého řádu. Součástí práce jsou výkresy tvaru a schémata vyztužení sloupu.

Bakalářskou práci lze rozdělit na tři základní části. V první části práce je zpracován předběžný návrh nosných prvků konstrukce administrativní budovy.

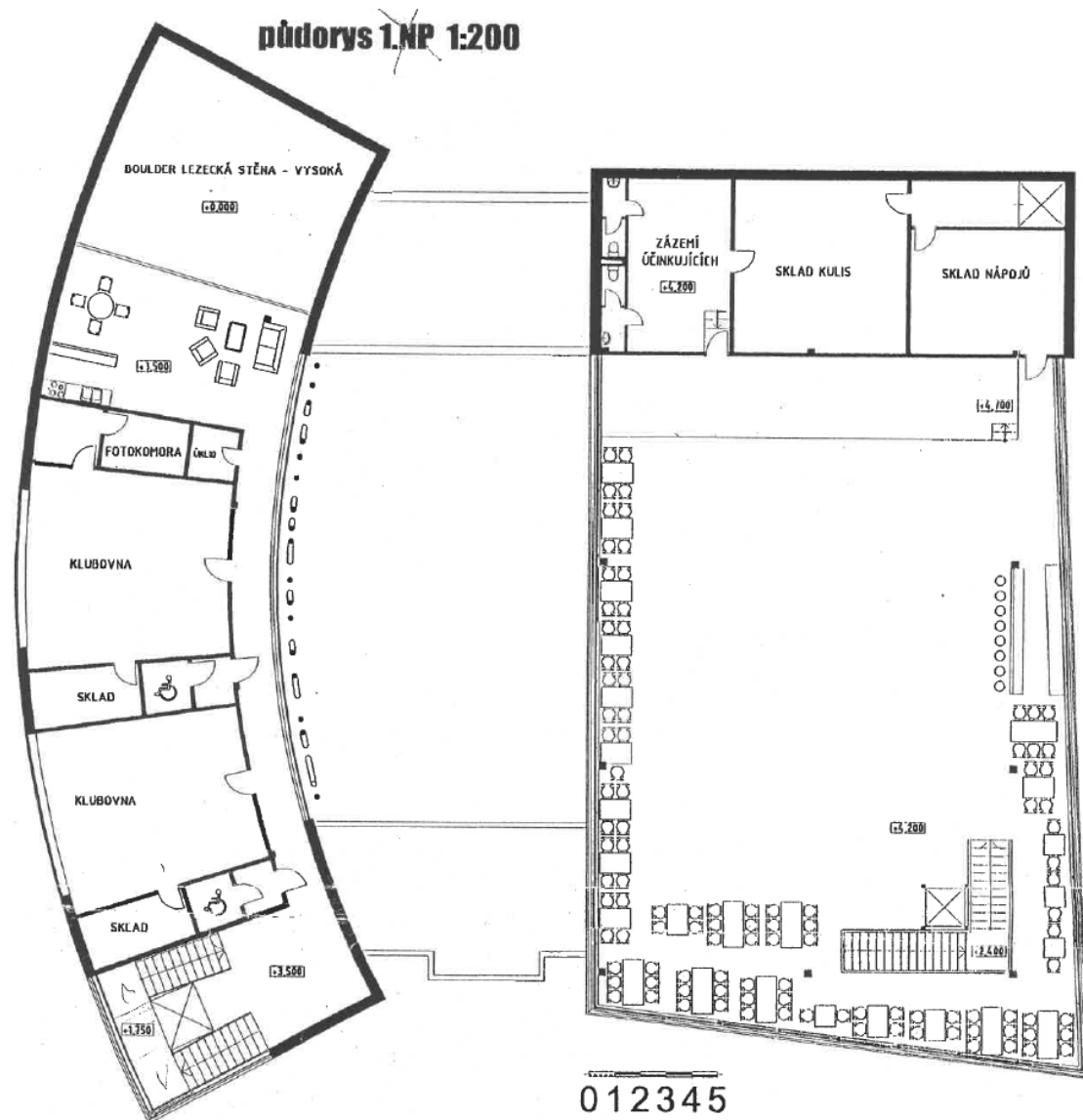
V druhé části práce je zpracován návrh, který se zaměřuje na řešení a posouzení vybraného štíhlého železobetonového sloupu vedeného přes dva podlaží objektu. U štíhlých prvků je nutné při vyšetřování zahrnout několik faktorů. Primárně se musí určit typ podepření prvků, jelikož mají velký vliv na určení štíhlosti, a tím na další postup výpočtu. Při výpočtu přetvoření by měly být zohledněny účinky vznikajících trhlin, které mění tuhost materiálu, dotvarování a geometrické nelinearity. Na rozdíl od masivních prvků je nutné počítat s vlivem druhého řádu a únosnost může být vyčerpána dosažením mezního přetvoření. Posouzení je provedeno třemi různými metodami a jednotlivé návrhy budou mezi sebou porovnány. Jedná se o zjednodušené ruční metody dle normy ČSN 1992-1-1 (metoda jmenovité křivosti, metoda jmenovité tuhosti) a obecnou numerickou metodu ve výpočetním softwaru.

Ve třetí části je zpracována parametrická studie štíhlého železobetonového sloupu. Sloup je porovnáván z hlediska velikosti ohybových momentů získaných pomocí výpočetních metod popsanych v druhé části. Výsledné hodnoty jsou následně porovnány a pro jednotlivé metody a způsoby výpočtu je zhodnocena jejich výstižnost a použitelnost.

1. Architektonický návrh

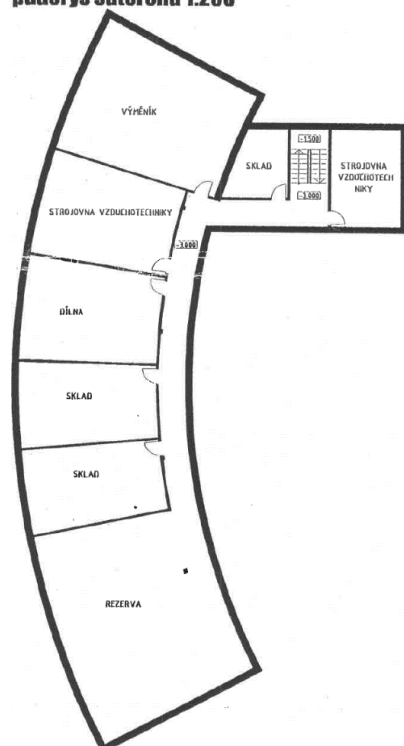
Původní architektonický návrh, s kterým jsem začal pracovat v rámci projektu 133P02C, obsahoval 4 výkresy:

- 1) Půdorys 1.NP 1:200
- 2) Půdorys 2.NP a suterénu 1:200, konstrukční schéma 1.NP 1:500
- 3) Příčný a podélný řez 1:200, pohledy (jižní 1:100, severní a západní 1:200)
- 4) Situace 1:500

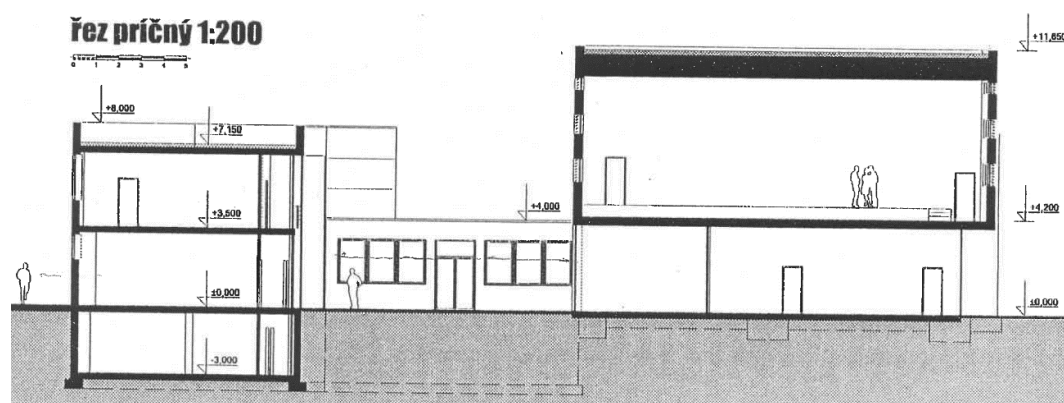


Obr. 1 Půdorys 2. NP 1:200

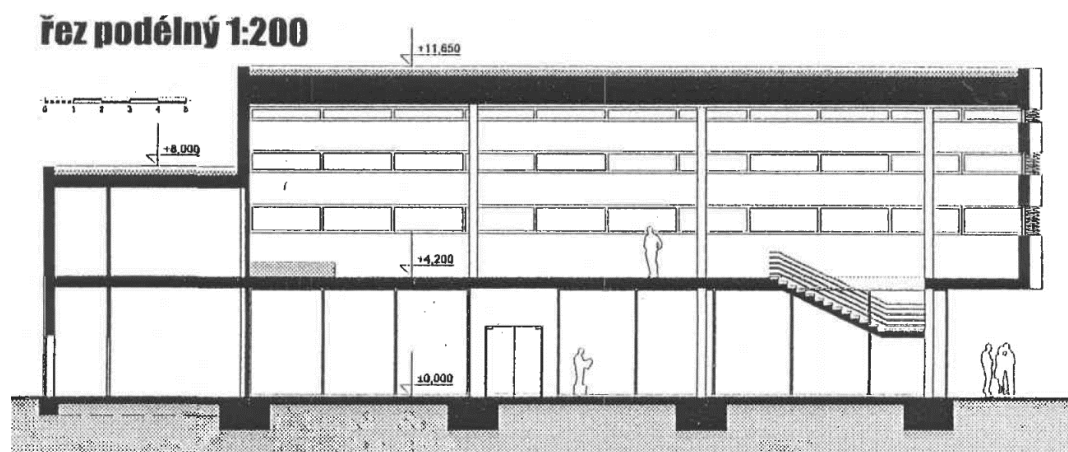
půdorys suterénu 1:200



Obr. 2 Půdorys suterénu 1:200



Obr. 3 Příčný řez 1:200



Obr. 4 Podélný řez 1:200

Naskenované originální výkresy naleznete v příloze 4.

2. Charakteristika objektu

2.1. Popis řešeného objektu

2.1.1. Obecný popis objektu

Navrhovaná novostavba administrativní budovy se skládá ze dvou částí. Oblouková podsklepená část (dál budova A) s plochou střechou a se dvěma nadzemními podlažími je určena pro pohybové aktivity (klubovny, sál pro aerobik, lezecké stěny a šatny) a technické místnosti v suterénu (sklady, dílna, výměník a strojovna vzduchotechniky). Chodba 2.NP bude provedena jako konzola, na kterou bude připojen prosklený LOP ze strany vnitrobloku objektu. Má půdorysné rozměry 14,610 x 42,754 m.

Obdélníková částečně podsklepená část (dál budova B) s plochou střechou a se dvěma nadzemními podlažími je určena pro vestibul, jídelnu, kuchyň, sklad potravin a nápojů, taneční sál se scénou a zázemí se skladem kulis. Má půdorysné rozměry 1.NP 19,450 x 31,950 m a 2.NP 20,150 x 39,950 m. Celá fasáda bude prosklená pomocí LOP od firmy JANSEN (výjimkou je severní část budovy B, kde jsou umístěny sklady, zázemí a kuchyň). Taneční sál ve 2.NP bude rozšířen pomocí konzoly podél jižní a východní strany objektu.

Celkové půdorysné rozměry nosné konstrukce jsou 43,057 x 42,754 m. Nejvyšší bod nosné konstrukce se nachází 15,250 m nad úrovní okolního terénu. Konstrukční výška 1.PP – 2.NP budovy A je 3,5 m. Konstrukční výška 1.NP budovy B je 4,2 m, 2.NP (taneční sál) je 7,0 m a 2.NP (zázemí) je 3,5 m. Objekt bude napojen na inženýrské sítě, které jsou vedeny v přilehlé komunikaci. Stavbou nebudou dotčeny žádné stávající objekty.

2.1.2. Popis nosné konstrukce objektu

Objekt je založen na plošných základech (ŽB desky) a ŽB pilotách. Nosný systém budovy je kombinovaný. Stropní a střešní desky jsou monolitické ŽB, jednosměrně a obousměrně pnuté vetknuté. Ztužení objektu je zajištěno ŽB jádry. Nosné i konstrukční vyztužení bude zajištěno betonářskou výztuží B500B.

2.1.2.1. Svislé nosné konstrukce

Nosné stěny v celém objektu jsou navrženy v tloušťce 300 mm. Poloha otvorů ve stěnách je dána výkresy tvaru. Tloušťka stěn výtahové šachty je 200 mm.

2.1.2.2. Vodorovné nosné konstrukce

V celém objektu jsou stropní a střešní konstrukce navrženy jako ŽB monolitické tl. 260 mm (budova A) v 1.PP - 2. NP, tl. 280 mm (budova B) v 1.NP a 2.NP (střešní deska zázemí) a tl. 100 mm (střešní deska tanečního sálu, která je navržena jako trámový strop).

2.1.2.3. Svislé komunikační prvky

Schodiště jsou navržena jako prefabrikovaná železobetonová desková dvouramenná. Jednotlivé schodišťové desky jsou řešeny jako jednosměrně pnuté. Mezipodesty jsou navrženy jako monolitické železobetonové desky tl. 200 mm. Schodišťová ramena budou ukládána přes elastomerová ložiska Schöck Tronsole typ F na ozub v monolitických stropních deskách i na ozub v monolitických mezipodestových deskách. Mezipodesty budou uloženy rovněž na elastomerová ložiska a zazděny do schodišťových stěn.

2.1.2.4. Prostorová tuhost objektu

Všemi podlažními budovy A prochází ŽB komunikační jádro s výtahovou šachtou. V 1.NP budovy B je umístěno ztužující jádro tl. 300 mm. S ohledem na malou výšku budovy nebyla prostorová tuhost ověřována podrobným statickým výpočtem.

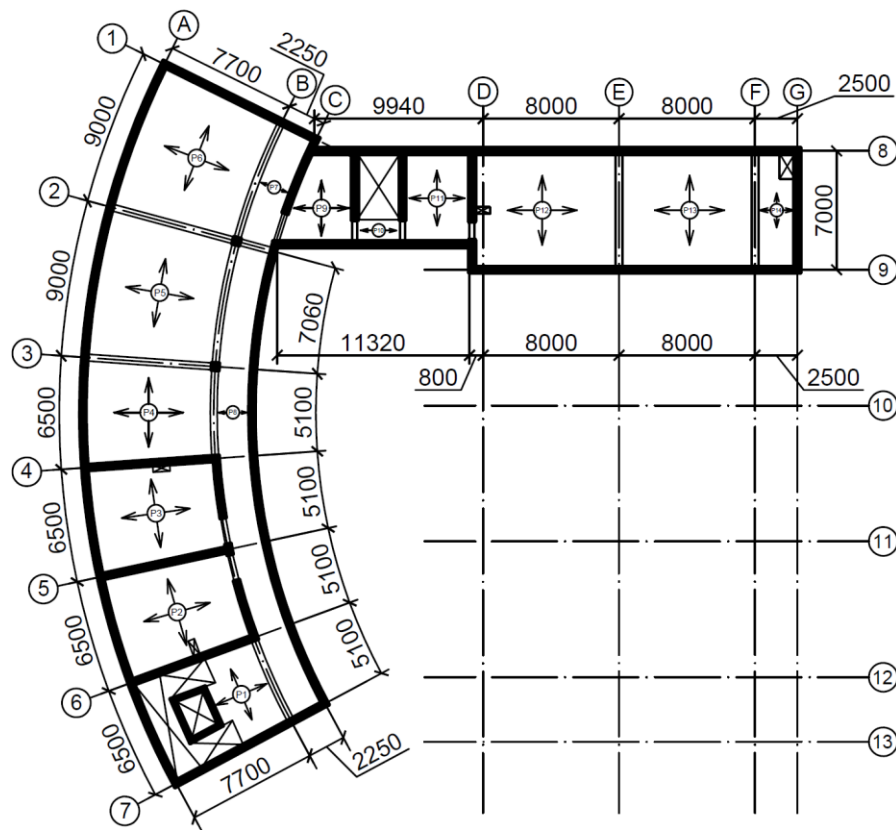
2.1.2.5. Základové konstrukce

Základy budou řešeny jako bílé vany. Budova A bude založena na základové desce tl. 300 mm, v místě sloupu deska bude zvětšena do 500 mm. Budova B bude založena na základové desce tl. 400 mm, sloupy budou založeny na pilotách o průměru 880 mm a délkou 9500 mm. V místě dojezdu výtahů bude základové spáry sníženy v rozsahu daném požadavky použitého výtahu.

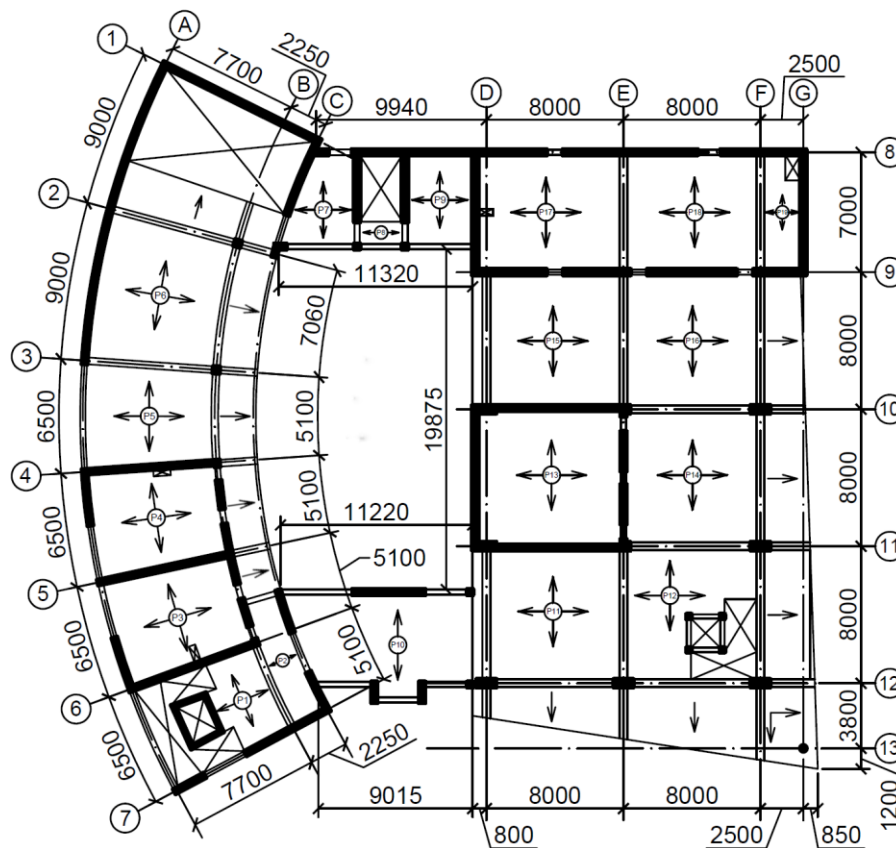
2.1.2.6. Podepření nosných stěn a sloupů

V objektu jsou navrženy suterénní ŽB stěny. Zásyp je proveden nenámrzavou zeminou a bude proveden po zhotovení stropu 1.PP. ŽB suterénní stěny jsou pnuté téměř výhradně ve svislém směru mezi podlahovou deskou 1.PP, vyztuženou KARI sítí při horním a dolním povrchu, a ŽB stropní deskou 1.PP.

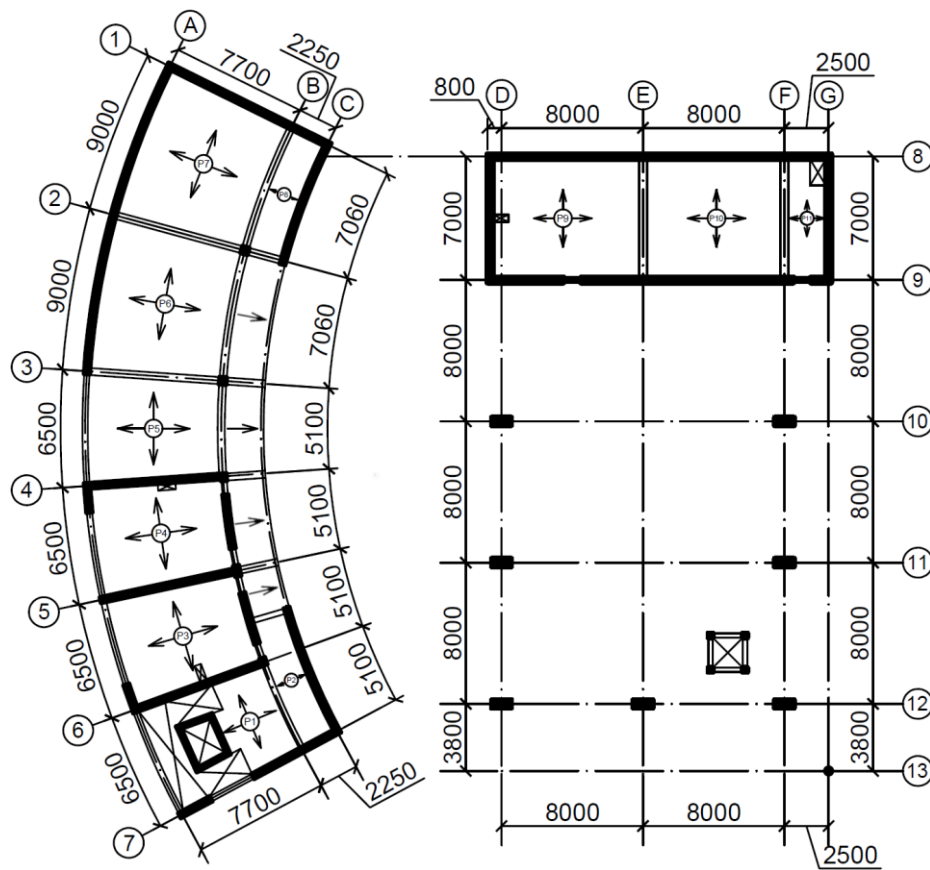
2.1.2.7. Půdorysná schémata objektu



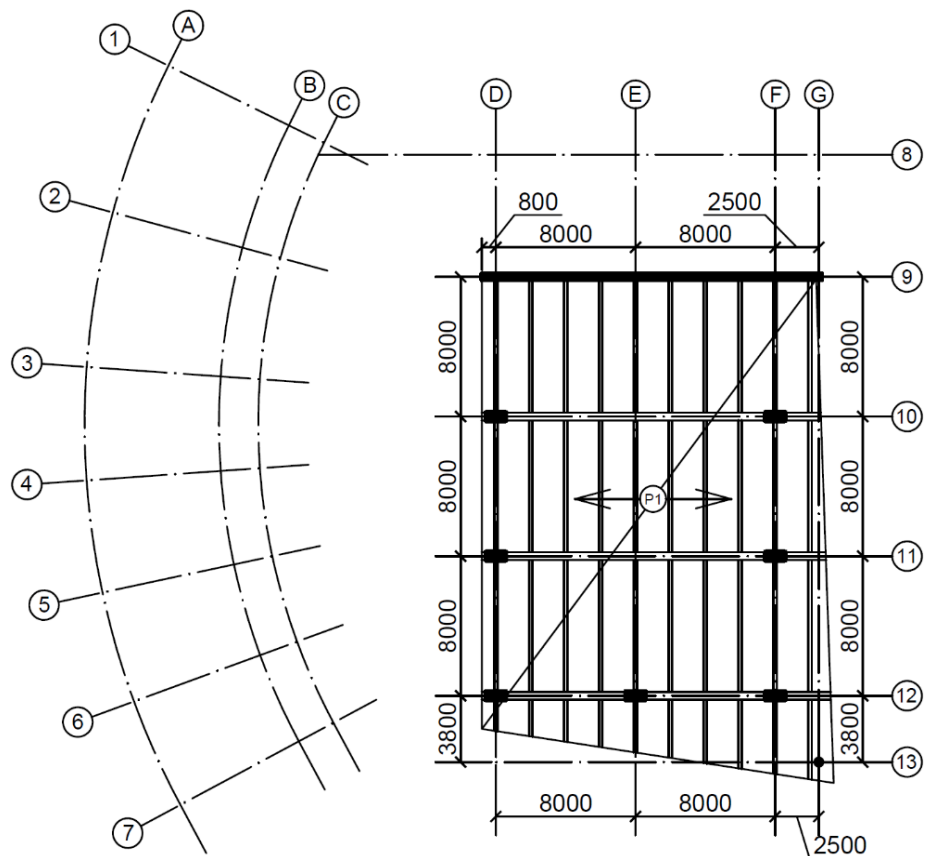
Obr. 5 Konstrukční schéma 1. PP



Obr. 6 Konstrukční schéma 1. NP



Obr. 7 Konstrukční schéma 2. NP



Obr. 8 Konstrukční schéma 2.NP (taneční sál)

2.2. Materiálové řešení a zatížení stavby

2.2.1. Použité materiály

Konstrukce je navržena ze železobetonu.

Piloty:

beton C25/30 – XC3 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Základové desky pod suterénním prostorem objektu A a podsklepenou částí objektu B:

beton C25/30 – XC2 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Základová deska pod nepodsklepenou částí objektu B:

beton C25/30 – XC2, XF1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Suterénní stěny, obvodové nosné stěny 1. NP, střešní desky:

beton C30/37 – XC2, XF1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Vnitřní nosné stěny, stropní desky:

beton C30/37 – XC1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Exteriérová část sloupu G13:

beton C30/37 – XC2, XF1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – SF2

Interiérová část sloupu G13:

beton C30/37 – XC1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – SF2

Obvodové nosné stěny:

beton C30/37 – XC2 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

Ostatní vnitřní nosné konstrukce:

beton C30/37 – XC1 – Cl 0,2 – $D_{max}16$ – S3

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} \quad (2.1)$$

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

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = \frac{33}{1,2} = 27,5 \text{ GPa} \quad (2.2)$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

$$\gamma_{cE} = 1,2$$

$$f_{ctm} = 2,9$$

Betonářská výztuž:

Ocel B500B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa} \quad (2.3)$$

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

$$\gamma_s = 1,15$$

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

2.2.2. Přehled zatížení

2.2.2.1. Stálé zatížení

Vodorovné konstrukce:

Stropní deska nad 1. PP

S3a - podlaha nad nevytápěným prostorem (U = 0,230 W/(m2K))			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g _k
	mm	kN/m ³	kN/m ²
Nášlapná vrstva	13	-	0,217
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Betonová mazanina z betonu C16/20 - XC1	80	21	1,680
Separční polyetylenová fólie	-	-	0,001
Pružná vrstva ISOVER T-P	60	1,5	0,090
ŽB strop. deska z betonu C30/37, výztuž B500B	260	25	-
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Lepicí a stěrková hmota Webertherm elastik Z	5	14,9	0,075
Nehořlavé lamelové desky Rockwool Stroprock G	100	0,78	0,078
Σ	518		2,149

Tab. 1 Skladba stropní desky nad 1. PP

Na stropní desce 1. PP bude uvažována jednotná hodnota ostatního stálého zatížení: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Stropní desky nad 1. NP

S4a - podlaha nad vytápěným prostorem			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g _k
	mm	kN/m ³	kN/m ²
Nášlapná vrstva	13	-	0,217
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Betonová mazanina z betonu C16/20 - XC1	80	21	1,680
Separční polyetylenová fólie	-	-	0,001
Pružná vrstva ISOVER T-P	60	1,5	0,090
ŽB strop. deska z betonu C30/37, výztuž B500B	260 - 280	25	-
Vzduchová mezera	460 - 360	-	-
Akustická izolace ISOVER Top V	60	0,65	0,039
Nosný systém Knauf profily CD 60x27 mm	27	-	0,034
SDK deska Knauf SILENTBOARD 2x12,5 mm	25	0,175	0,004
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Silikátový interiérový nátěr Cemix	3	16	0,048
Σ	987 - 907		2,119

Tab. 2 Skladba stropní desky nad 1. NP

Na stropní desce 1. NP bude uvažována jednotná hodnota ostatního stálého zatížení: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Střešní desky budovy A a B

S5a - plochá střeška budovy A ($U = 0,113 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g_k
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Vrchní hydroizolační pás ELASTEK 40 COMBI	5	12	0,060
Spodní hydroizolační pás Glastek 30 Sticker Ultra G.B.	3	14	0,042
Tepelná izolace Styrotrade EPS 150S	240	0,25	0,060
PUR lepidlo	1	0,2	0,000
Tep. izolační spád. klíny Styrotrade EPS 150, spád 2%	60 - 160	0,25	0,040
PUR lepidlo	1	0,2	0,000
Parotěsnicí vrstva Paraelast AL+V S40	4	12	0,048
Asfaltový penetrační nátěr DEKPRIMER	1	-	0,040
ŽB stropní deska z betonu C30/37, výtěž B500B	260	25	-
Vzduchová mezera	460	-	-
Akustická izolace ISOVER Top V	60	0,65	0,039
Nosný systém Knauf profily CD 60x27 mm	27	-	0,034
SDK deska Knauf SILENTBOARD 2x12,5 mm	25	0,175	0,004
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Silikátový interiérový nátěr Cemix	3	16	0,048
Σ			0,418

Tab. 3 Skladba střešní desky budovy A

S5b - plochá střeška budovy B ($U = 0,133 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g_k
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Vrchní hydroizolační pás ELASTEK 40 COMBI	5	12	0,060
Spodní hydroizolační pás Glastek 30 Sticker Ultra G.B.	3	14	0,042
Tepelná izolace Styrotrade EPS 150S	240	0,25	0,060
PUR lepidlo	1	0,2	0,000
Tep. izolační spád. klíny Styrotrade EPS 150, spád 2%	60 - 160	0,25	0,040
PUR lepidlo	1	0,2	0,000
Parotěsnicí vrstva Paraelast AL+V S40	4	12	0,048
Asfaltový penetrační nátěr DEKPRIMER	1	-	0,040
ŽB stropní deska z betonu C30/37, výtěž B500B	100	25	-
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Lepící a stěrková hmota Cemix 135 COMFORT	8	15,5	0,124
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Silikátový interiérový nátěr Cemix	2	16	0,032
Σ			0,452

Tab. 4 Skladba střešní desky budovy B

V celém objektu bude uvažována jednotná hodnota ostatního stálého zatížení střešních desek: $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Svislé konstrukce:

Suterénní stěny

S1a - suterénní ŽB stěna tl. 300 mm ($U = 0,295 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g_k
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Nopová fólie	8	-	0,004
Geotextilie	5	-	0,005
Tepelná izolace XPS Styrodur 3000 CS	100	0,33	0,033
PU lepidlo Den Braven Thermo KleberRoof	10	0,2	0,002
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
ŽB stěna z betonu C30/37, výztuž B500B	300	25	-
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Lepící a stěrková hmota Cemix 135 COMFORT	8	15,5	0,124
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Silikátový interiérový nátěr Cemix	2	16	0,032
Σ	433		0,210

Tab. 5 Skladba suterénních stěn

V celém objektu bude uvažována jednotná hodnota svislého zatížení suterénních ŽB stěn: $g_k = 0,25 \text{ kN}/\text{m}^2$

Obvodové stěny

S1b - obvodová nosná ŽB stěna (bílá fasádní omítka) ($U = 0,169 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)			
Popis	Tloušťka	Objemová tíha	g_k
	mm	kN/m^3	kN/m^2
Silikonová omítka Weberpas Silikon Plus 2,0 mm bílá	3	16	0,048
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Lepící a stěrková hmota Webertherm elastik	10	16,3	0,163
Tepelná izolace ISOVER TF Profi	240	0,14	0,034
Lepící a stěrková hmota Webertherm elastik Z	10	14,9	0,149
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
ŽB stěna z betonu C30/37, výztuž B500B	300	25	-
Kontaktní můstek Cemix Kontakt BETON	-	-	0,004
Lepící a stěrková hmota Cemix 135 COMFORT	8	15,5	0,124
Penetrace Cemix ST COLOR	-	-	0,002
Silikátový interiérový nátěr Cemix	2	16	0,032
Σ	573		0,562

Tab. 6 Skladba obvodových stěn

V celém objektu bude uvažována jednotná hodnota svislého zatížení obvodových ŽB stěn: $g_k = 0,6 \text{ kN}/\text{m}^2$

Příčky

V celém objektu bude uvažována jednotná hodnota svislého zatížení sádrokartonových příček: $g_k = 1,2 \text{ kN}/\text{m}^2$

Lehký obvodový plášť

V celém objektu bude uvažována jednotná hodnota svislého zatížení LOP:

$g_k = 0,85 \text{ kN}/\text{m}^2$

Souhrn hodnot plošného zatížení:

Stropní deska 1. PP: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Stropní deska 1. NP: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Střešních desky: $g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$

Mezipodesty: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Desky přilehlé k zemině: $g_k = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Schodišťová ramena: $g_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$

Souhrn hodnot svislého zatížení:

Suterénních ŽB stěny: $g_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Příčky: $g_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$

Obvodové ŽB stěny: $g_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Lehký obvodový plášť: $g_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$

2.2.2.2. Proměnná zatížení:

Užitná zatížení:

Kategorie A – schodiště – $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Kategorie B – kancelářské plochy – $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Kategorie C1 – jídelna, bufet – $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Kategorie C3 – plochy bez překážek pro pohyb osob – $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Kategorie C4 – plochy s možnými pohybovými aktivitami – $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Kategorie E1 – plochy pro skladovací účely – $q_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$

Kategorie H – nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby a oprav –
 $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sněhem:

Plochá střecha $\Rightarrow \alpha < 30^\circ$

Lokalita: Praha – I. sněhová oblast

$$s = \mu C_e C_t s_k = 0,8 * 1 * 1 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2 \quad (2.4)$$

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

$$\mu = 0,8$$

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$

Zatížení větrem:

Nosný systém objektu je tvořen železobetonovým monolitickým kombinovaným systémem, který je ztužen pomocí ŽB jader a ztužujících stěn. Lze předpokládat, že prostorová tuhost je dostatečná.

3. Předběžný návrh a posouzení prvků

3.1.1. Stropní desky

3.1.1.1. Návrh tloušťky stropních desek

Vzhledem k podobnému rozpětí a zatížení jednotlivých částí budou navrženy v jednotné tloušťce.

Stropní deska P5 nad 1.PP budovy A:

Typ podepření	L	$\lambda_{d,tab}$	λ_d	h_d
	[m]	[-]	[-]	[mm]
P5 - po obvodě podepřená deska (vnitřní pole spojitého nosníku)	7,7	30,8	33,6	260,2

Tab. 7 Návrh stropní desky 1. PP budovy A na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti

$$\lambda < \lambda_d \Rightarrow \frac{L}{d} < \lambda_d \Rightarrow d > \frac{L}{\lambda_d}, \text{ kde } \lambda_d = k_{c1}k_{c2}k_{c3}\lambda_{d,tab} \quad (3.1)$$

$$k_{c1} = 1,0$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L}\right) = \min\left(1; \frac{7}{7,7}\right) = \min(1; 0,903) = 0,903 \quad (3.1a)$$

$$L = 7,7 \text{ m} \quad (\text{viz tab. 7})$$

$$k_{c3} = 1,2$$

$$\rho \leq 0,5 \%$$

$$\varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

Typ podepření	L_{1x}	L_{1y}	1/75
	[mm]	[mm]	[-]
P5 - po obvodě podepřená deska	7700	9000	222,7

Tab. 8 Empirický návrh stropní desky 1. PP budovy A

Návrh tloušťky stropní desky nad 1. PP $h_d = 260 \text{ mm}$

Stropní deska P13 nad 1.NP budovy B:

Typ podepření	L	$\lambda_{d,tab}$	λ_d	h_d
	[m]	[-]	[-]	[mm]
P13 - po obvodě podepřená deska (vnitřní pole spojitého nosníku)	8,0	30,8	32,3	278,4

Tab. 9 Návrh stropní desky 1. NP budovy B na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti

$$\lambda < \lambda_d \Rightarrow \frac{L}{d} < \lambda_d \Rightarrow d > \frac{L}{\lambda_d}, \text{ kde } \lambda_d = k_{c1}k_{c2}k_{c3}\lambda_{d,tab} \quad (3.2)$$

$$k_{c1} = 1,0$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L}\right) = \min\left(1; \frac{7}{8,0}\right) = \min(1; 0,875) = 0,875 \quad (3.2a)$$

$$L = 8,0 \text{ m} \quad (\text{viz tab. 9})$$

$$k_{c3} = 1,2$$

$$\rho \leq 0,5 \%$$

$$\varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

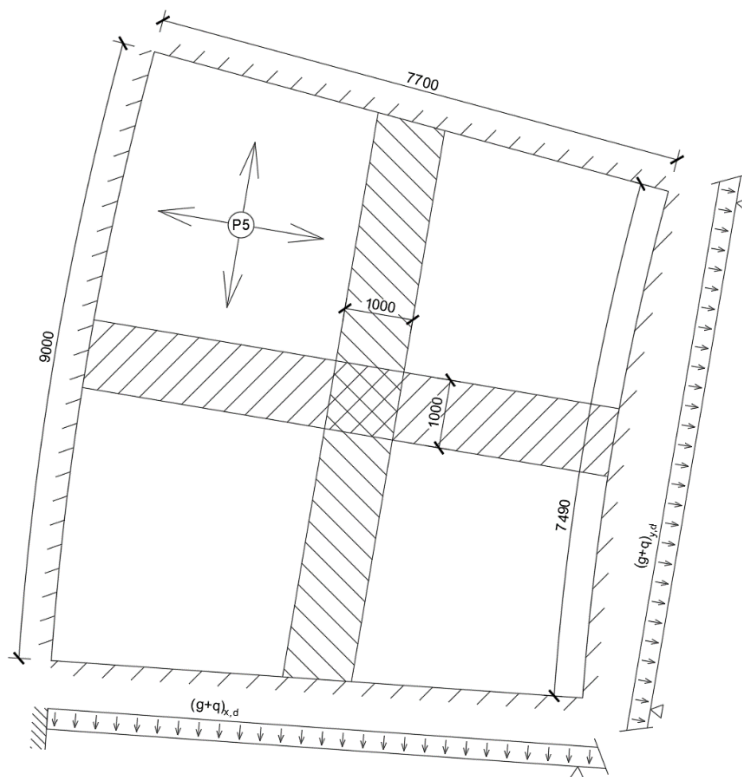
Typ podepření	L _{1x}	L _{1y}	1/75
	[mm]	[mm]	[-]
P13 - po obvodě podepřená deska	8600	8000	221,3

Tab. 10 Empirický návrh stropní desky 1. NP budovy B

Návrh tloušťky stropní desky 1.NP budovy B $h_d = 280 \text{ mm}$

3.1.1.2. Ověření desek z hlediska únosnosti v ohybu

Stropní deska P5 nad 1.PP budovy A (vypočtena na zatěžovací šířku 1 m):



Obr. 9 Statická schéma stropní desky P5 nad 1. PP budovy A

Typ zatížení	Název zatížení	f _k		γ	f _d
		kN/m ²			
STÁLÉ	vlastní tíha ŽB desky	0,26*25	6,500	1,35	8,775
	ostatní stálé	viz 2.2.2.1	2,200		2,970
	Σ		g _k = 8,700		g _d = 11,745
PROM	užitné zatížení - kategorie C4	viz 2.2.2.2	5	1,5	7,500
	Σ		q _k = 5	q _d = 7,500	
Σ			f _k = 13,700		f _d = 19,245

Tab. 11 Plošné zatížení stropní desky 1. PP P5 budovy A

Rozdělení zatížení v směru x a y

$$(g + q)_{x,d} = \frac{f_d}{1 + \frac{k_x * L_x^4}{k_y * L_y^4}} = \frac{19,245}{1 + \frac{\frac{1}{384} * 7,7^4}{\frac{1}{384} * 8,25^4}} = 10,942 \text{ kN/m} \quad (3.3)$$

$$f_d = 19,245 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{viz tab. 11})$$

$$L_x = 7,7 \text{ m}$$

$$L_y = 8,25 \text{ m}$$

$$k_x = k_y = \frac{1}{384}$$

$$(g + q)_{y,d} = \frac{f_d}{1 + \frac{k_y * L_y^4}{k_x * L_x^4}} = \frac{19,245}{1 + \frac{\frac{1}{384} * 8,25^4}{\frac{1}{384} * 7,7^4}} = 8,303 \text{ kN/m} \quad (3.4)$$

$$f_d = 19,245 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{viz tab. 11})$$

$$L_x = 8,25 \text{ m}$$

$$L_y = 7,7 \text{ m}$$

$$k_x = k_y = \frac{1}{384}$$

Odhad návrhových momentů

$$m_{x,podp,L,Ed} = m_{x,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12} (g + q)_{x,d} L_x^2 \quad (3.5)$$

$$m_{x,podp,L,Ed} = m_{x,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12} * 10,942 * 7,7^2 = -54,062 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{x,pole,Ed} = \frac{1}{24} (g + q)_{x,d} L_x^2 \quad (3.6)$$

$$m_{x,pole,Ed} = \frac{1}{24} * 10,942 * 7,7^2 = 27,031 \text{ kNm/m'}$$

Pro hodnoty L_x , L_y , a $(g + q)_{x,d}$ viz 3.3.

$$m_{y,podp,L,Ed} = m_{y,podp,L,Ed} = -\frac{1}{12}(g+q)_{y,d}L_y^2 \quad (3.7)$$

$$m_{y,podp,L,Ed} = m_{y,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12} * 8,303 * 8,25^2 = -47,094 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{y,pole,Ed} = \frac{1}{24}(g+q)_{y,d}L_y^2 \quad (3.8)$$

$$m_{y,pole,Ed} = \frac{1}{24} * 8,303 * 8,25^2 = 23,547 \text{ kNm/m'}$$

Pro hodnoty L_x , L_y , a $(g+q)_{y,d}$ viz 3.4.

Ověření poměrné výšky tlačené oblasti

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{bd^2f_{cd}} = \frac{54,062}{1*0,229^2*20*10^3} = 0,052 \quad (3.9)$$

$$m_{Ed} = 54,062 \text{ kNm/m'}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$d = h_d - c - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,26 - 0,025 - \frac{0,012}{2} = 0,229 \text{ m} \quad (3.9a)$$

$$h_d = 260 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$\xi = 0,066 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,15 \text{ [-]}$$

$$0,066 \leq 0,15 \text{ [-]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření stupně vyztužení desky

$$\rho = \frac{a_{s,req}}{bd} = \frac{558*10^{-6}}{1*0,229} = 0,0024 = 0,24 \% \quad (3.10)$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,229 \text{ m} \quad (\text{viz 3.9a})$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{\zeta df_{yd}} = \frac{54,062}{0,974*0,229*435*10^3} * 10^6 = 558 \text{ mm}^2 \quad (3.10a)$$

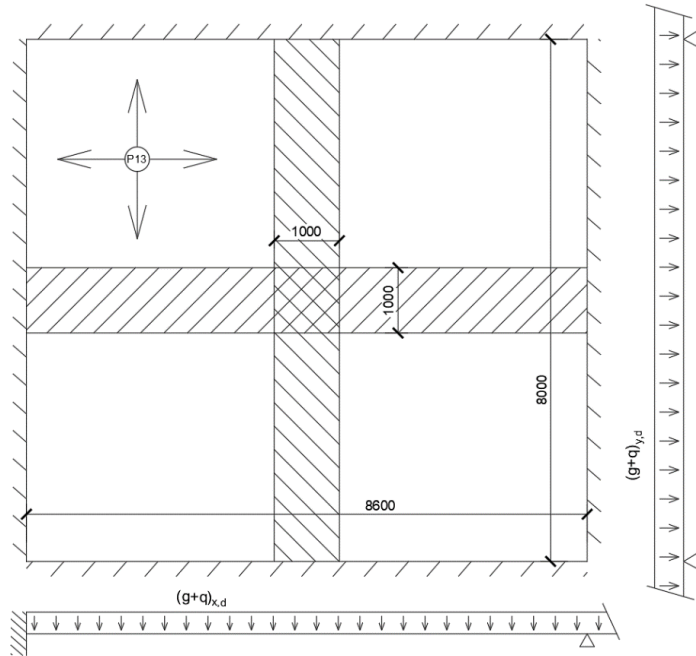
$$m_{Ed} = 54,062 \text{ kNm/m'}$$

$$\zeta = 0,974 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\rho \leq 0,5 \text{ [%]}$$

$0,24 \leq 0,5 \text{ [%]}$ – vyhovuje, odpovídá předpokladu pro návrh tloušťky stropní desky. Lze předpokládat, že průhyb desky při podrobném výpočtu vyhoví.

Stropní deska P13 nad 1.NP budovy B (vypočtena na zatěžovací šířku 1 m):



Obr. 10 Statická schéma stropní desky P13 nad 1. NP budovy B

Typ zatížení	Název zatížení	f_k		γ	f_d	
		kN/m ²				
STÁLÉ	vlastní tíha ŽB desky	0,28*25	7,000	1,35	9,450	
	ostatní stálé	viz 2.2.2.1	2,200		2,970	
	Σ	$g_k=$	9,200		$g_d=$	12,420
PROMĚNLIVÉ	užitné zatížení - kategorie C4	viz 2.2.2.2	5	1,5	7,500	
	Σ	$q_k=$	5			$q_d=$
Σ		$f_k=$	14,200		$f_d=$	19,920

Tab. 12 Plošné zatížení stropní desky 1. NP P13 budovy B

Rozdělení zatížení v směru x a y

$$(g + q)_{x,d} = \frac{f_d}{1 + \frac{k_x \cdot L_x^4}{k_y \cdot L_y^4}} = \frac{19,920}{1 + \frac{\frac{1}{384} \cdot 8,6^4}{\frac{1}{384} \cdot 8,0^4}} = 8,529 \text{ kN/m} \quad (3.11)$$

$$f_d = 19,920 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{viz tab. 12})$$

$$L_x = 8,6 \text{ m}$$

$$L_y = 8,0 \text{ m}$$

$$k_x = k_y = \frac{1}{384}$$

$$(g + q)_{y,d} = \frac{f_d}{1 + \frac{k_y \cdot L_y^4}{k_x \cdot L_x^4}} = \frac{19,920}{1 + \frac{\frac{1}{384} \cdot 8,0^4}{\frac{1}{384} \cdot 8,6^4}} = 11,391 \text{ kN/m} \quad (3.12)$$

$$f_d = 19,920 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{viz tab. 12})$$

$$L_x = 8,0 \text{ m}$$

$$L_y = 8,6 \text{ m}$$

$$k_x = k_y = \frac{1}{384}$$

Odhad návrhových momentů

$$m_{x,podp,L,Ed} = m_{x,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12}(g+q)_{x,d}L_x^2 \quad (3.13)$$

$$m_{x,podp,L,Ed} = m_{x,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12} * 8,529 * 8,6^2 = -52,569 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{x,pole,Ed} = \frac{1}{24}(g+q)_{x,d}L_x^2 \quad (3.14)$$

$$m_{x,pole,Ed} = \frac{1}{24} * 8,529 * 8,6^2 = 26,285 \text{ kNm/m'}$$

Pro hodnoty L_x , L_y , a $(g+q)_{x,d}$ viz 3.11.

$$m_{y,podp,L,Ed} = m_{y,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12}(g+q)_{y,d}L_y^2 \quad (3.15)$$

$$m_{y,podp,L,Ed} = m_{y,podp,P,Ed} = -\frac{1}{12} * 11,391 * 8^2 = -60,750 \text{ kNm/m'}$$

$$m_{y,pole,Ed} = \frac{1}{24}(g+q)_{y,d}L_y^2 \quad (3.16)$$

$$m_{y,pole,Ed} = \frac{1}{24} * 11,391 * 8^2 = 30,375 \text{ kNm/m'}$$

Pro hodnoty L_x , L_y , a $(g+q)_{y,d}$ viz 3.12.

Ověření poměrné výšky tlačené oblasti a stupně vyztužení ohybovou výztuží

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{bd^2f_{cd}} = \frac{60,750}{1 * 0,249^2 * 20 * 10^3} = 0,049 \quad (3.17)$$

$$m_{Ed} = 60,750 \text{ kNm/m'}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$d = h_d - c - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,28 - 0,025 - \frac{0,012}{2} = 0,249 \text{ m} \quad (3.17a)$$

$$h_d = 280 \text{ mm}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$\xi = 0,063 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,15 \text{ [-]}$$

$$0,063 \leq 0,15 \text{ [-]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření stupně vyztužení desky

$$\rho = \frac{a_{s,req}}{bd} = \frac{576 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,249} = 0,0023 = 0,23 \% \quad (3.18)$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,249 \text{ m} \quad (\text{viz } 3.17a)$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{\zeta d f_{yd}} = \frac{60,750}{0,975 \cdot 0,249 \cdot 435 \cdot 10^3} \cdot 10^6 = 576 \text{ mm}^2 \quad (3.18a)$$

$$m_{Ed} = 54,062 \text{ kNm/m'}$$

$$\zeta = 0,975 \quad (\text{převzato z [25]})$$

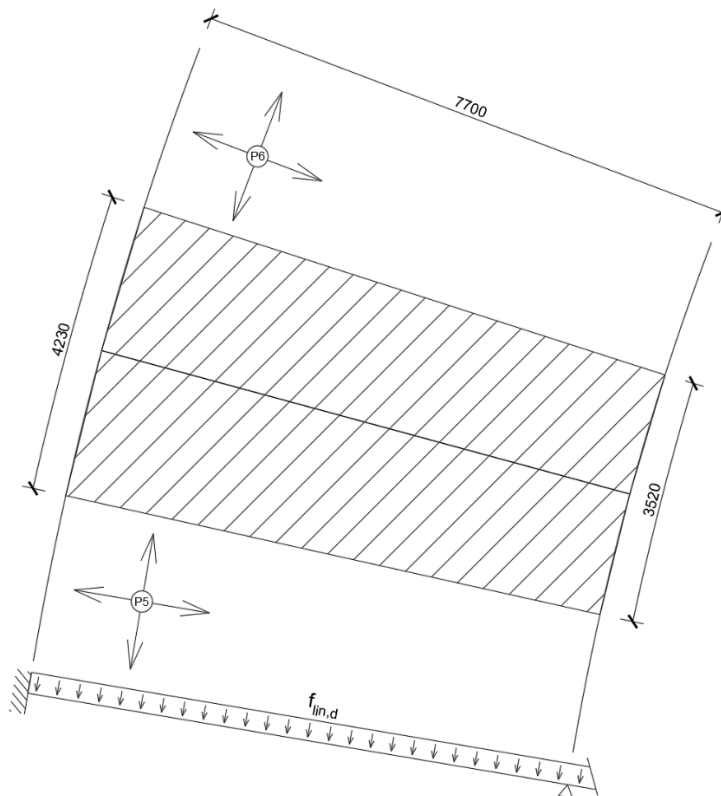
$$\rho \leq 0,5 [\%]$$

$0,23 \leq 0,5 [\%]$ – vyhovuje, odpovídá předpokladu pro návrh tloušťky stropní desky. Lze předpokládat, že průhyb desky při podrobném výpočtu vyhoví.

3.1.2. Průvlaky a trámy

3.1.2.1. Návrh rozměru průvlaků a trámů

Průvlak nad 1.PP budovy A mezi deskami P5 a P6:



Obr. 11 Půdorysné schéma průvlaku nad 1. PP budovy A mezi deskami P5 a P6

Empirický návrh výšky a šířky průvlaku:

$$h_t = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{10}\right) L_t = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{10}\right) * 7700 = 642 \div 770 \text{ [mm]} \quad (3.19)$$

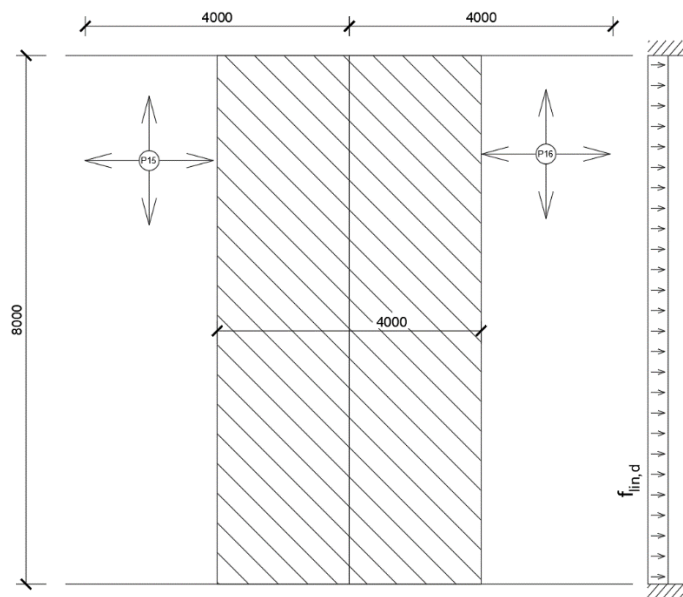
$$L_t = 7700 \text{ mm}$$

Návrh výšky průvlaku $h_t = 710 \text{ mm}$

$$b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) h_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) * 710 = 237 \div 474 \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

Návrh šířky průvlaku $b_t = 400 \text{ mm}$

Průvlak nad 1.NP budovy B mezi deskami P15 a P16:



Obr. 12 Půdorysné schéma průvlaku nad 1. NP budovy B mezi deskami P15 a P16

Empirický návrh výšky a šířky průvlaku:

$$h_t = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{10}\right) L_t = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{10}\right) * 8000 = 667 \div 800 \text{ [mm]} \quad (3.21)$$

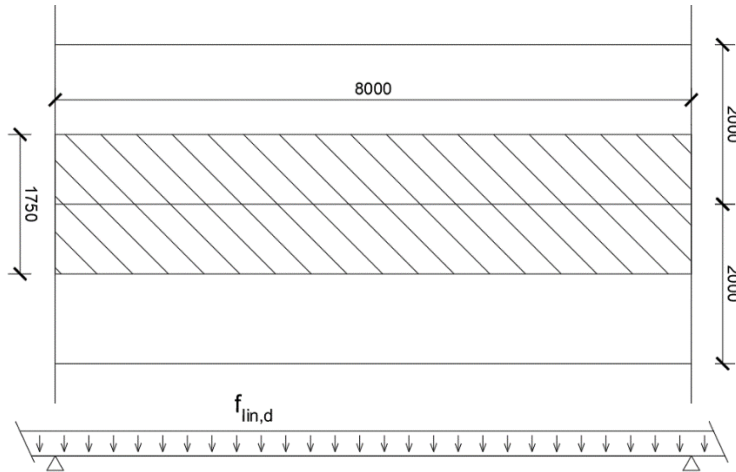
$$L_t = 8000 \text{ mm}$$

Návrh výšky průvlaku $h_t = 680 \text{ mm}$

$$b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) h_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) * 680 = 227 \div 453 \text{ [mm]} \quad (3.22)$$

Návrh šířky průvlaku $b_t = 450 \text{ mm}$

Střešní trámy budovy B (taneční sál):



Obr. 13 Půdorysné schéma střešního trámu budovy B

Empirický návrh výšky a šířky trámu:

$$h_t = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15}\right) L_t = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15}\right) * 8000 = 400 \div 534 \text{ [mm]} \quad (3.23)$$

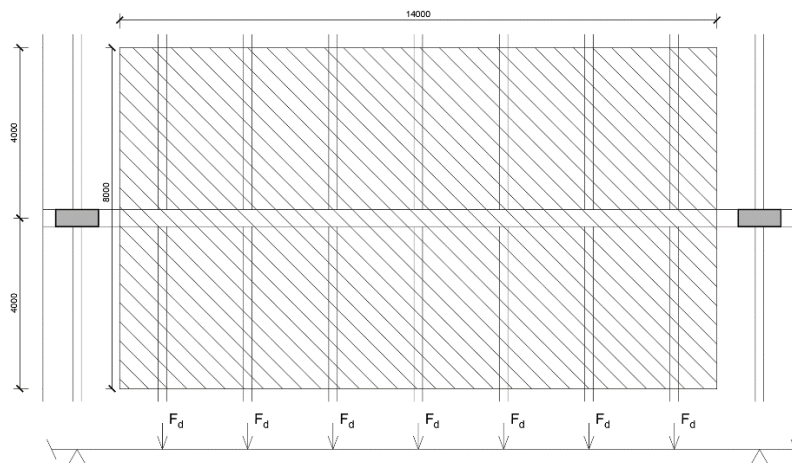
$$L_t = 8000 \text{ mm}$$

Návrh výšky trámu $h_t = 500 \text{ mm}$

$$b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) h_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) * 500 = 167 \div 334 \text{ [mm]} \quad (3.24)$$

Návrh šířky trámu $b_t = 200 \text{ mm}$

Střešní průvlek budovy B (taneční sál):



Obr. 14 Půdorysné schéma střešního průvleku budovy B (taneční sál)

Empirický návrh výšky a šířky průvleku:

$$h_t = \left(\frac{1}{15} \div \frac{1}{12}\right) L_t = \left(\frac{1}{15} \div \frac{1}{12}\right) * 16000 = 1067 \div 1334 \text{ [mm]} \quad (3.25)$$

$$L_t = 16000 \text{ mm}$$

$$\text{Návrh výšky průvlaku } h_t = 1200 \text{ mm}$$

$$b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) h_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) * 1200 = 400 \div 800 \text{ [mm]} \quad (3.26)$$

$$\text{Návrh šířky průvlaku } b_t = 450 \text{ mm}$$

3.1.2.2. Ověření průřezů průvlaků a trámů

Průvlak nad 1.PP budovy A mezi deskami P5 a P6:

Typ zatížení	Název zatížení	$f_{pl,k}$	$b \vee h$	$f_{lin,k}$	γ	$f_{lin,d}$
		kN/m ²	m	kN/m	-	kN/m
STÁLÉ	vlastní tíha ŽB desky	6,500	3,875	25,188		34,003
	vlastní tíha ŽB průvlaku	$0,4*(0,71-0,26)*25$		4,500	1,35	6,075
	ostatní stálé - viz. 2.2.2.1	2,200	3,875	8,525		11,509
	Σ		$g_k=$	38,213	$g_d=$	51,587
PROMI	užitné zatížení - kategorie C4	5	3,875	19,375	1,5	29,063
	Σ		$q_k=$	19,375	$q_d=$	29,063
Σ			$f_k=$	57,588	$f_d=$	80,649

Tab. 13 Liniové zatížení průvlaku nad 1. PP budovy A mezi deskami P5 a P6

Ověření z hlediska ohybu

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_t d^2 f_{cd}} = \frac{398,475}{0,4 * 0,66^2 * 20 * 10^3} = 0,114 \quad (3.27)$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,4 \text{ m}$$

$$d = h_t - c - \varnothing_{tř} - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,71 - 0,03 - 0,01 - \frac{0,02}{2} = 0,66 \text{ m} \quad (3.27a)$$

$$h_t = 0,71 \text{ m}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 20 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{12} f_{lin,d} L_t^2 = \frac{1}{12} * 80,649 * 7,7^2 = 398,475 \text{ kNm} \quad (3.27b)$$

$$f_{lin,d} = 80,649 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 13})$$

$$L_t = 7,7 \text{ m}$$

$$\xi = 0,154 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,45 \text{ [-]}$$

$$0,154 \leq 0,45 \text{ [-]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska smyku

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} b_t z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (3.28)$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) * 20 * 0,4 * 0,619 * \frac{1,5}{1+1,5^2} * 10^3 = 1207,269 \text{ kN}$$

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

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,4 \text{ m}$$

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

$$z = \zeta d = 0,938 * 0,66 = 0,619 \text{ m} \quad (3.28a)$$

$$\zeta = 0,938 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$d = 0,66 \text{ m} \quad (\text{viz 3.27a})$$

$$V_{Ed} = 0,6 f_{lin,d} L_t = 0,6 * 80,649 * 7,7 = 372,600 \text{ kN} \quad (3.29)$$

$$f_{lin,d} = 80,649 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 13})$$

$$L_t = 7,7 \text{ m}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

372,600 < 1207,269 [kN] – vyhovuje

Ověření z hlediska průhybu

$$\lambda = \frac{L_t}{d} = \frac{7,7}{0,66} = 11,7 \quad (3.30)$$

$$L_t = 7,7 \text{ m}$$

$$d = 0,66 \text{ m} \quad (\text{viz 3.27a})$$

$$\lambda_d = k_{c1} k_{c2} k_{c3} \lambda_{d,tab} = 0,8 * 0,903 * 1,0 * 25,9 = 18,7 \quad (3.31)$$

$$k_{c1} = 0,8$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L_t}\right) = \min\left(1; \frac{7}{7,7}\right) = \min(1; 0,903) = 0,903 \quad (3.31a)$$

$$L_t = 7,7 \text{ m}$$

$$k_{c3} = 1,0$$

$$\rho \leq 1,0 \%$$

$$\lambda_{d,tab} = 25,9$$

$$\lambda < \lambda_d$$

11,7 < 18,7 [-] – vyhovuje

Průvlak nad 1.NP budovy B mezi deskami P15 a P16:

Typ zatížení	Název zatížení	$f_{pl,k}$	$b \vee h$	$f_{lin,k}$	γ	$f_{lin,d}$
		kN/m^2	m	kN/m	-	kN/m
STÁLÉ	vlastní tíha ŽB desky	7,000	3,5	24,500		33,075
	vlastní tíha ŽB průvlaku	$0,45 \cdot (0,68 - 0,28) \cdot 25$		4,500	1,35	6,075
	ostatní stálé - viz. 2.2.2.1	2,200	3,5	7,700		10,395
	Σ		$g_k =$	36,700	$g_d =$	49,545
PROM	užitné zatížení - kategorie E1	5	3,5	17,500	1,5	26,250
	Σ		$q_k =$	17,500	$q_d =$	26,250
Σ			$f_k =$	54,200	$f_d =$	75,795

Tab. 14 Liniové zatížení průvlaku nad 1. NP budovy B mezi deskami P15 a P16

Ověření z hlediska ohybu

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_t d^2 f_{cd}} = \frac{404,240}{0,45 \cdot 0,63^2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,113 \quad (3.32)$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,45 \text{ m}$$

$$d = h_t - c - \varnothing_{tř} - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,68 - 0,03 - 0,01 - \frac{0,020}{2} = 0,63 \text{ m} \quad (3.32a)$$

$$h_t = 0,68 \text{ m}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 20 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{12} f_{lin,d} L_t^2 = \frac{1}{12} \cdot 75,795 \cdot 8^2 = 404,240 \text{ kNm} \quad (3.32b)$$

$$f_{lin,d} = 75,795 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 14})$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$\xi = 0,151 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,45 [-]$$

$$0,151 \leq 0,45 [-] - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska smyku

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} b_t z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (3.33)$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 \cdot 0,45 \cdot 0,592 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^3 = 1298,544 \text{ kN}$$

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

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,45 \text{ m}$$

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

$$z = \zeta d = 0,940 * 0,63 = 0,592 \text{ m} \quad (3.33a)$$

$$\zeta = 0,940 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$d = 0,63 \text{ m} \quad (\text{viz 3.32a})$$

$$V_{Ed} = 0,6 f_{lin,d} L_t = 0,6 * 75,795 * 8 = 363,816 \text{ kN} \quad (3.34)$$

$$f_{lin,d} = 75,795 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 14})$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$363,816 < 1298,544 \text{ [kN]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska průhybu

$$\lambda = \frac{L_t}{d} = \frac{8,0}{0,63} = 12,7 \quad (3.35)$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$d = 0,63 \text{ m} \quad (\text{viz 3.32a})$$

$$\lambda_d = k_{c1} k_{c2} k_{c3} \lambda_{d,tab} = 0,8 * 0,875 * 1,0 * 25,9 = 18,1 \quad (3.36)$$

$$k_{c1} = 0,8$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L_t}\right) = \min\left(1; \frac{7}{8,0}\right) = \min(1; 0,875) = 0,875 \quad (3.36a)$$

$$L_t = 7,7 \text{ m}$$

$$k_{c3} = 1,0$$

$$\rho \leq 1,0 \%$$

$$\lambda_{d,tab} = 25,9$$

$$\lambda < \lambda_d$$

$$12,7 < 18,1 [-] - \text{vyhovuje}$$

Střešní trám budovy B (taneční sál):

Typ zatížení	Název zatížení	$f_{pl,k}$	$b \vee h$	$f_{lin,k}$	γ	$f_{lin,d}$
		kN/m^2	m	kN/m	-	kN/m
STÁLÉ	vlastní tíha ŽB střešní desky	2,500	1,75	4,375		5,906
	vlastní tíha ŽB střešního trámu	$0,2 \cdot (0,5 - 0,1) \cdot 25$		2,000	1,35	2,700
	ostatní stálé - viz. 2.2.2.1	0,500	1,75	0,875		1,181
	Σ		$g_k =$	7,250	$g_d =$	9,788
PROM	užitné zatížení - kategorie H	0,75	1,75	1,313	1,5	1,969
	zatížení sněhem	0,56	1,75	0,980		1,470
	Σ		$q_k =$	1,313	$q_d =$	1,969
Σ			$f_k =$	8,563	$f_d =$	11,756

Tab. 15 Liniové zatížení střešního trámu budovy B (taneční sál)

Ověření z hlediska ohybu

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_t d^2 f_{cd}} = \frac{62,700}{0,2 \cdot 0,459^2 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,074 \quad (3.37)$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,2 \text{ m}$$

$$d = h_t - c - \varnothing_{tř} - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,5 - 0,025 - 0,01 - \frac{0,012}{2} = 0,459 \text{ m} \quad (3.37a)$$

$$h_t = 0,5 \text{ m}$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 12 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{12} f_{lin,d} L_t^2 = \frac{1}{12} \cdot 11,756 \cdot 8^2 = 62,700 \text{ kNm} \quad (3.37b)$$

$$f_{lin,d} = 11,756 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 15})$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$\xi = 0,097 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,45 [-]$$

$$0,097 \leq 0,45 [-] - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska smyku

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} b_t z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (3.38)$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 0,441 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \cdot 10^3 = 430,105 \text{ kN}$$

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

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,2 \text{ m}$$

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

$$z = \zeta d_t = 0,961 * 0,459 = 0,441 \text{ m} \quad (3.38a)$$

$$\zeta = 0,961 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$d = 0,459 \text{ m} \quad (\text{viz 3.37a})$$

$$V_{Ed} = 0,6 f_{lin,d} L_t = 0,6 * 11,756 * 8 = 56,430 \text{ kN} \quad (3.39)$$

$$f_{lin,d} = 11,756 \text{ kN/m} \quad (\text{viz tab. 15})$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$56,430 < 430,105 \text{ [kN]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska průhybu

$$\lambda = \frac{L_t}{d} = \frac{8,0}{0,459} = 17,4 \quad (3.40)$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$d = 0,459 \text{ m} \quad (\text{viz 3.37a})$$

$$\lambda_d = k_{c1} k_{c2} k_{c3} \lambda_{d,tab} = 0,8 * 0,875 * 1,0 * 30,8 = 21,6 \quad (3.41)$$

$$k_{c1} = 0,8$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L_t}\right) = \min\left(1; \frac{7}{8,0}\right) = \min(1; 0,875) = 0,875 \quad (3.41a)$$

$$L_t = 8,0 \text{ m}$$

$$k_{c3} = 1,0$$

$$\rho \leq 0,5 \%$$

$$\lambda_{d,tab} = 30,8$$

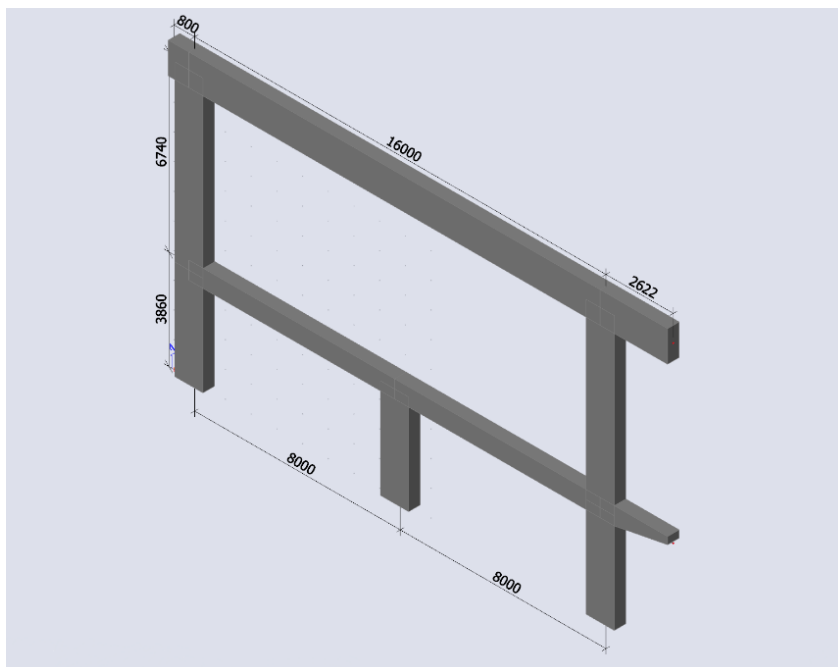
$$\lambda < \lambda_d$$

$$17,4 < 21,6 [-] - \text{vyhovuje}$$

Střešní průvlak budovy B (taneční sál):

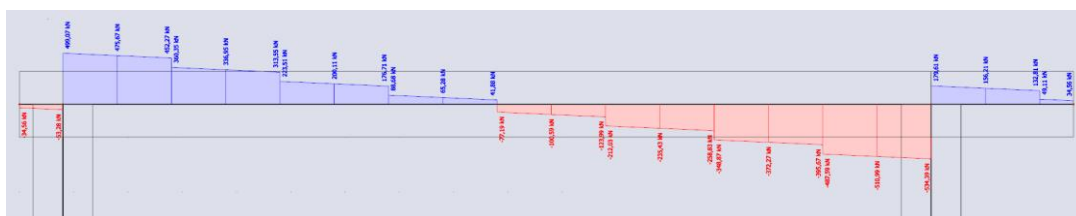
Předchozí prvky nosné konstrukce objektu (desky a nosníky běžných rozpětí) byly v rámci předběžného návrhu kontrolovány na odhadnuté hodnoty ohybových momentů.

V navržené nosné konstrukci budovy B je rám na poměrně velké rozpětí, zatížený osamělými břemeny od reakcí trámů střešní desky. Tento prvek už je namáhán více a vnitřní síly nelze odhadnout. Pro výpočet návrhových vnitřních sil a kontrolu navržených rozměrů nosných prvků byl proto použit program SCIA Engineer 22.0 [27]. V softwaru byl vytvořen zjednodušený rovinný model nejvíc zatíženého rámu (Obr. 15).

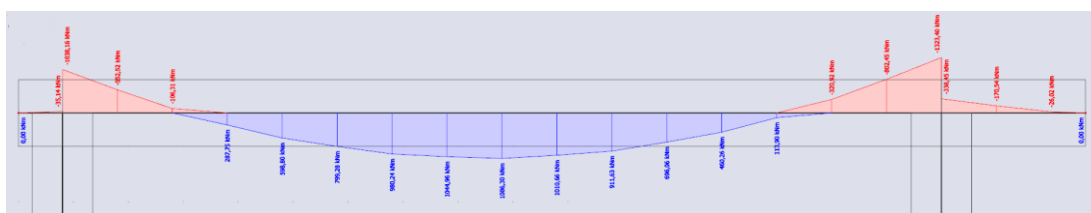


Obr. 15 Model rámu 10

Zatížení do rámu je přeneseno ze střešní desky na trámy, a z trámů jako osamělá břemena na střešní průvlak rámu.



Obr. 16 Průběh posouvajících sil pro střešní průvlak budovy B (taneční sál)



Obr. 17 Průběh ohybových momentu pro střešní průvlak budovy B (taneční sál)

Ověření z hlediska ohybu

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_t d^2 f_{cd}} = \frac{1323,400}{0,45 * 1,143^2 * 20 * 10^3} = 0,113 \quad (3.42)$$

$$M_{Ed} = 1323,400 \text{ kNm} \quad (\text{viz Obr. 17})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,45 \text{ m}$$

$$d = h_t - c - \varnothing_{tř} - \frac{\varnothing_s}{2} = 1,2 - 0,035 - 0,01 - \frac{0,025}{2} = 1,143 \text{ m} \quad (3.42a)$$

$$h_t = 1,2 \text{ m}$$

$$c = 35 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{tř} = 10 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 35 \text{ mm}$$

$$\xi = 0,150 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$\xi \leq 0,45 [-]$$

$$0,150 \leq 0,45 [-] - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska smyku

$$V_{Rd,max} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} b_t z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \quad (3.43)$$

$$V_{Rd,max} = 0,6 * \left(1 - \frac{30}{250}\right) * 20 * 0,45 * 1,074 * \frac{1,5}{1 + 1,5^2} * 10^3 = 2355,632 \text{ kN}$$

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

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$b_t = 0,45 \text{ m}$$

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

$$z = \zeta d_t = 0,940 * 1,143 = 1,074 \text{ m} \quad (3.43a)$$

$$\zeta = 0,940 \quad (\text{převzato z [25]})$$

$$d = 1,143 \text{ m} \quad (\text{viz 3.42a})$$

$$V_{Ed} = 534,390 \text{ kN} \quad (\text{viz Obr. 16})$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$534,390 < 2355,632 \text{ [kN]} - \text{vyhovuje}$$

Ověření z hlediska průhybu

$$\lambda = \frac{L_t}{d} = \frac{8,0}{1,143} = 14,0 \quad (3.44)$$

$$L_t = 16,0 \text{ m}$$

$$d = 1,143 \text{ m} \quad (\text{viz } 3.42a)$$

$$\lambda_d = k_{c1}k_{c2}k_{c3}\lambda_{d,tab} = 0,8 * 0,438 * 1,0 * 30,8 = 10,8 \quad (3.45)$$

$$k_{c1} = 0,8$$

$$k_{c2} = \min\left(1; \frac{7}{L_t}\right) = \min\left(1; \frac{7}{16,0}\right) = \min(1; 0,438) = 0,438 \quad (3.45a)$$

$$L_t = 16,0 \text{ m}$$

$$k_{c3} = 1,0$$

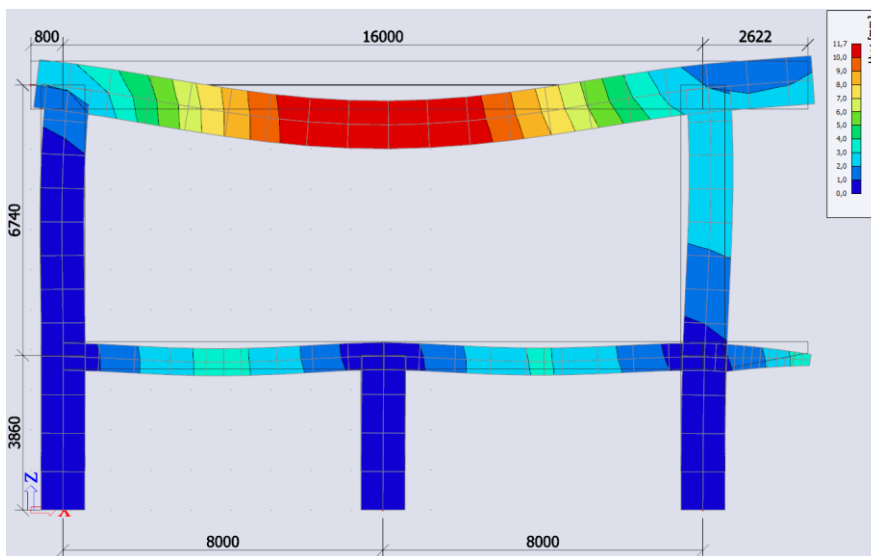
$$\rho \leq 0,5 \%$$

$$\lambda_{d,tab} = 30,8$$

$$\lambda < \lambda_d$$

14,0 < 10,8 [-] – nevyhovuje kritérium ohybové štíhlosti. Průhyb střešního průvlaku by bylo třeba ověřit podrobným výpočtem, ale řešení samotného rámu není součástí bakalářské práce. Podle modelu se maximální pružný (okamžitý) průhyb rovná 11,7 mm (Obr. 18).

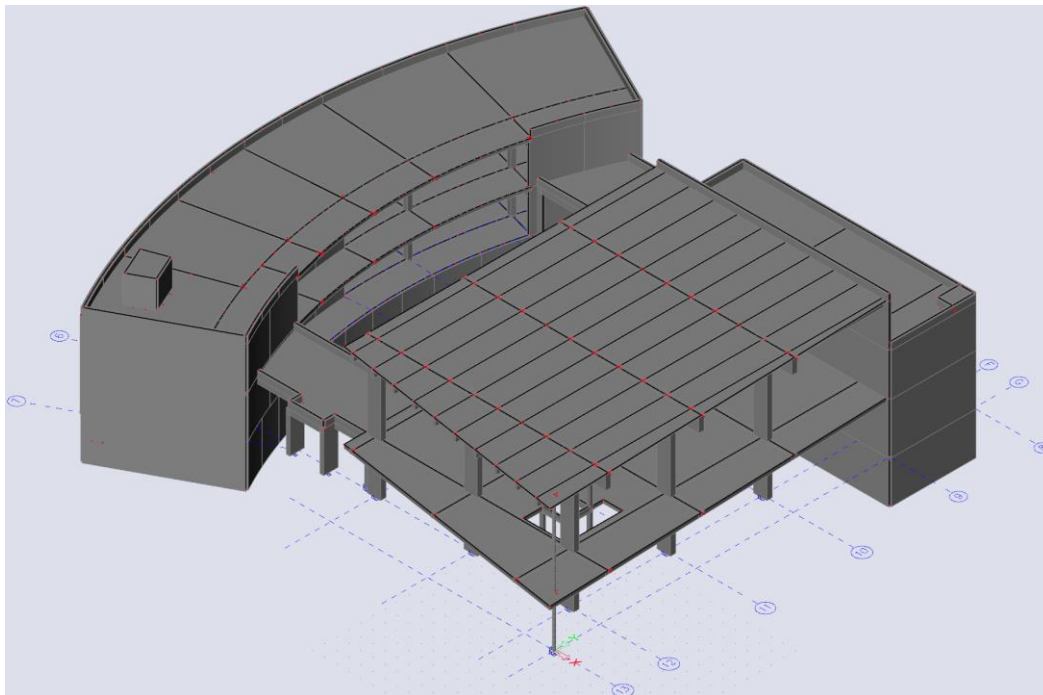
Odhadem, s využitím pružné deformace, kde by byl vliv trhlin a dotvarování betonu pouze přibližně odhadnut, by se přibližně mohl průhyb průvlaku zpětinásobit. Vycházela by hodnota celkového průhybu průvlaku zhruba 60 mm, což je méně než limitní hodnota průhybu podle normy k zajištění přijatelného vzhledu konstrukce - 64 mm (1/250 rozpětí nosníku). Proto lze předpokládat, že při podrobném výpočtu by byl průhyb v pořádku.



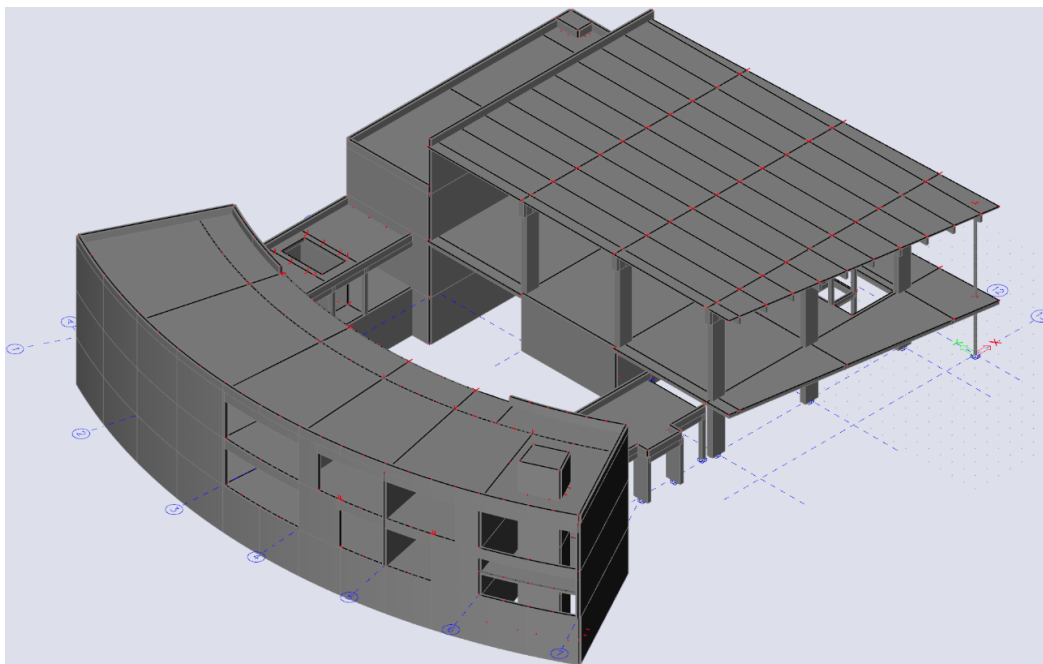
Obr. 18 Zobrazení deformace rámu

4. 3D model

Na základě předběžného návrhu byl vytvořen 3D model v programu SCIA Engineer 22.0 [27].



Obr. 19 Jihovýchodní pohled na model objektu

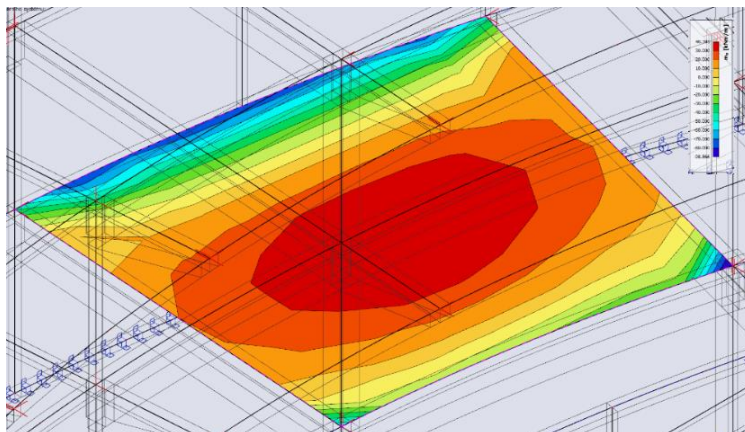


Obr. 20 Jihozápadní pohled na model objektu

Spočtené ohybové momenty s rozděleným zatížením v směru x a y (viz 3.1.1.2) byly porovnány s výstupem z modelu pro ověření jeho funkčnosti.

Stropní deska P5 nad 1. NP budovy A:

Ve směru x podporové i mezipodporové ohybové moment se změnili vlivem tuhosti.

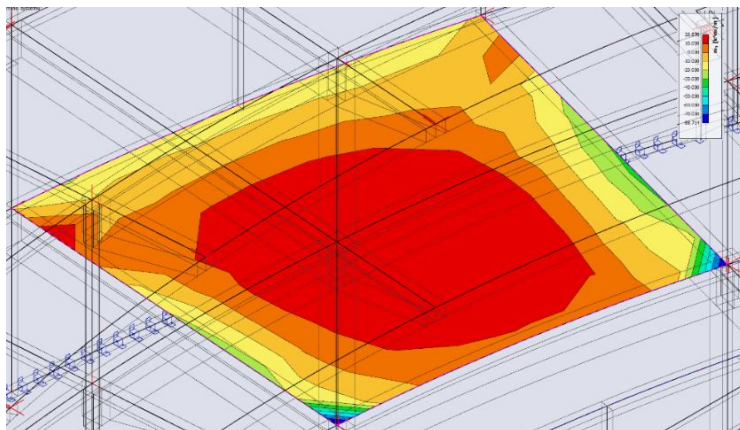


Obr. 21 Zobrazení ohybových momentů ve směru x pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A

Označení	Ruční výpočet [kNm] (viz 3.1.1.2)	Prostorový model [kNm]
$m_{x, \text{podp}, L, Ed}$	-54,062	-73,000
$m_{x, \text{pole}, Ed}$	27,031	40,393
$m_{x, \text{podp}, P, Ed}$	-54,062	-22,000

Tab. 16 Porovnání ohybových momentů ve směru x od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A

Ve směru y výrazně zmenšily ohybové podporové momenty. V poli desky bez výrazných změn.



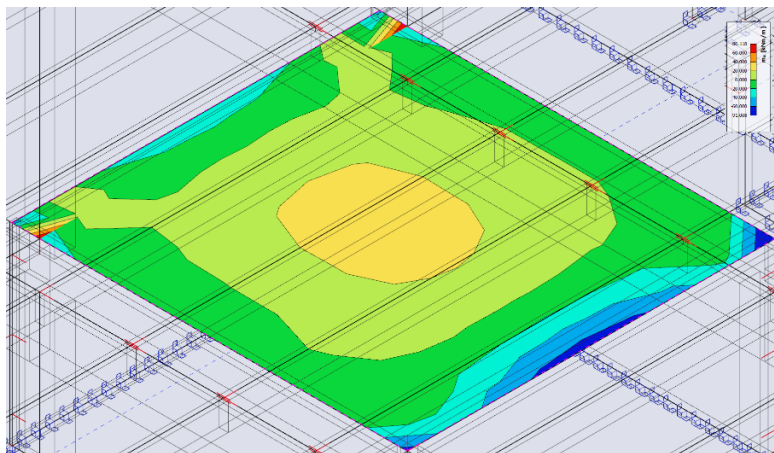
Obr. 22 Zobrazení ohybových momentů ve směru y pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A

Označení	Ruční výpočet [kNm] (viz 3.1.1.2)	Prostorový model [kNm]
$m_{y, \text{podp}, L, Ed}$	-47,094	-25,000
$m_{y, \text{pole}, Ed}$	23,547	26,870
$m_{y, \text{podp}, P, Ed}$	-47,094	-35,000

Tab. 17 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A

Stropní deska P13 nad 1.NP budovy B:

Ve směru x málo zmenšily ohybové podporové momenty. V poli desky je nevelké zmenšení momentu.

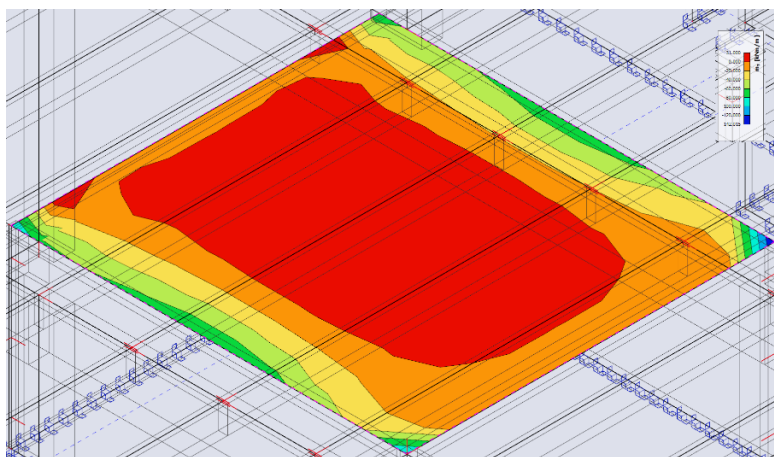


Obr. 23 Zobrazení ohybových momentů ve směru x pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B

Označení	Ruční výpočet [kNm] (viz 3.1.1.2)	Prostorový model [kNm]
$m_{x, \text{podp}, L, Ed}$	-52,569	-40,000
$m_{x, \text{pole}, Ed}$	26,285	30,000
$m_{x, \text{podp}, P, Ed}$	-52,569	-60,000

Tab. 18 Porovnání ohybových momentů ve směru x od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B

Ve směru y trochu zvětšily podporové i mezipodporové ohybové momenty.



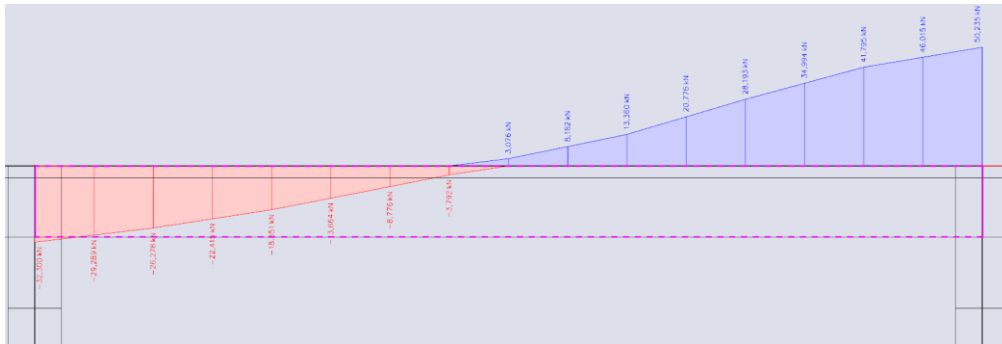
Obr. 24 Zobrazení ohybových momentů ve směru y pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B

Označení	Ruční výpočet [kNm] (viz 3.1.1.2)	Prostorový model [kNm]
$m_{y, \text{podp}, L, Ed}$	-60,750	-65,000
$m_{y, \text{pole}, Ed}$	30,375	31,000
$m_{y, \text{podp}, P, Ed}$	-60,750	-65,000

Tab. 19 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B

Střešní trámy budovy B (taneční sál):

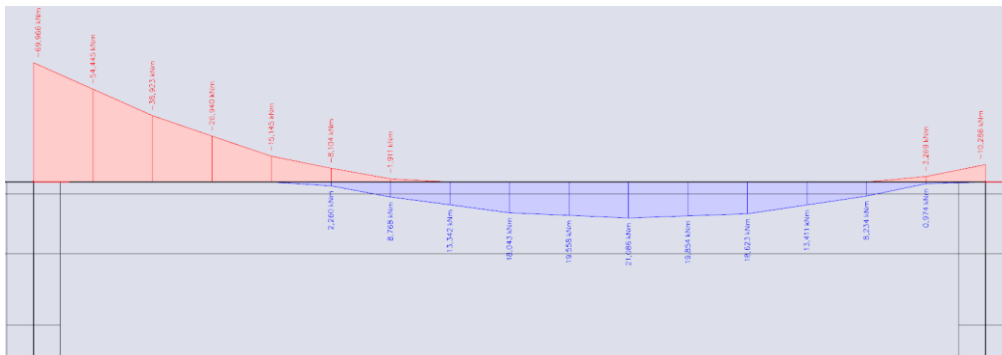
Předpoklady vnitřních sil použité při ověření průřezu (viz 3.1.2.2) skoro odpovídají výsledkům z prostorového modelu (Obr. 25 a 26).



Obr. 25 Průběh maximálních posouvajících sil u střešních tramů budovy B (taneční sál)

Označení	Ruční výpočet [kN] (viz 3.1.2.2)	Prostorový model [kN]
V_{Ed}	56,430	50,235

Tab. 20 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B



Obr. 26 Průběh maximálních ohybových momentů u střešních trámů budovy B (taneční sál)

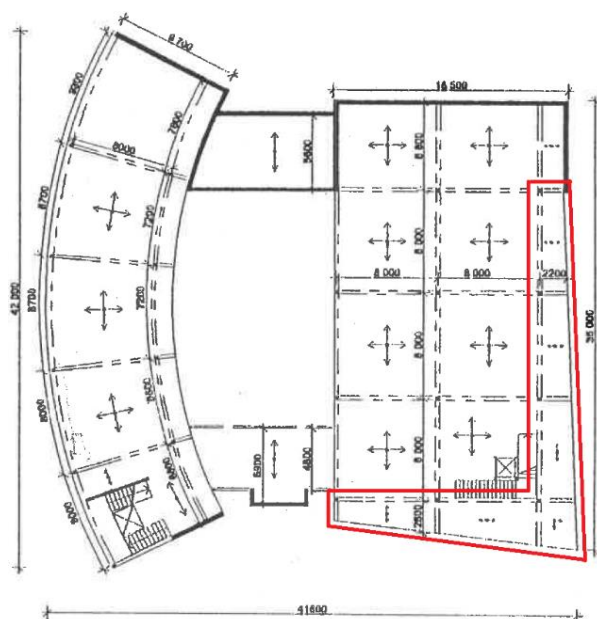
Označení	Ruční výpočet [kNm] (viz 3.1.2.2)	Prostorový model [kNm]
M_{Ed}	-62,700	-69,966

Tab. 21 Porovnání ohybových momentů od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro střešní trám budovy B

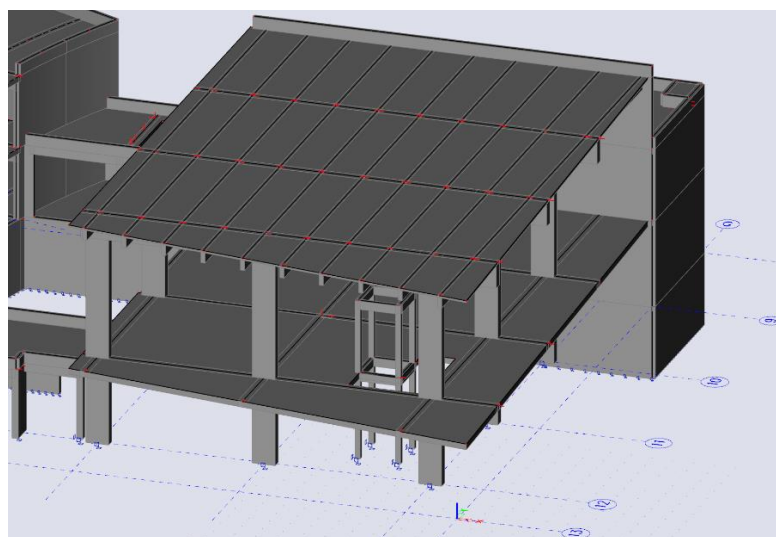
Lze konstatovat, že výsledný model funguje správně a předpoklady použité při návrhu nosných prvků objektu odpovídají reálnému chování konstrukci.

5. Výpočet namáhání sloupu G13 se zohledněním momentu druhého řádu pomocí různých výpočetních metod

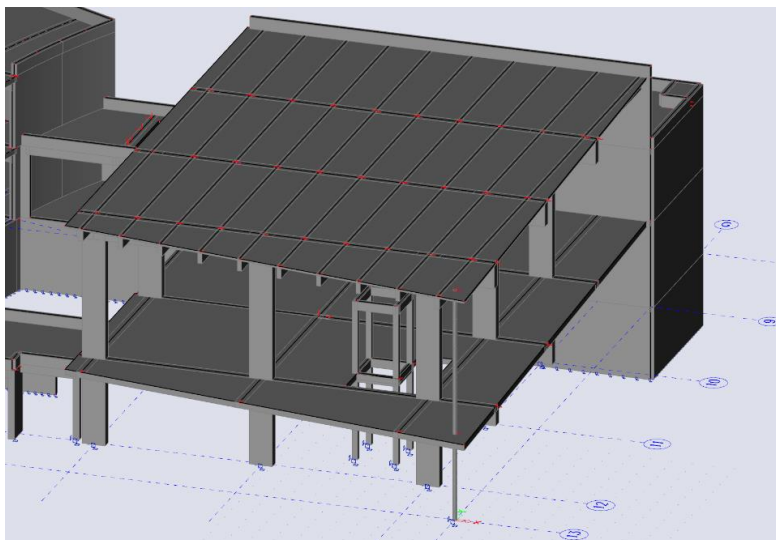
Z prostorového modelu vyplynulo, že problematickým místem celé konstrukce je vykonzolovaná část budovy B (Obr. 27 a 28). Původní architektonický návrh skoro nijak neřeší konzolu nad 1. NP. Prodloužení průvlaků nad 1. NP z interiéru do exteriéru není vyhovující řešení z hlediska designu a statiky pro konzolu, která vystupuje na jižní straně objektu od 1900 mm do 5000 mm a na východní od 3350 mm do 2350 mm.



Obr. 27 Architektonické konstrukční schéma 1:500, červeným mnohoúhelníkem je označena překouzlována část v 2. NP budovy B

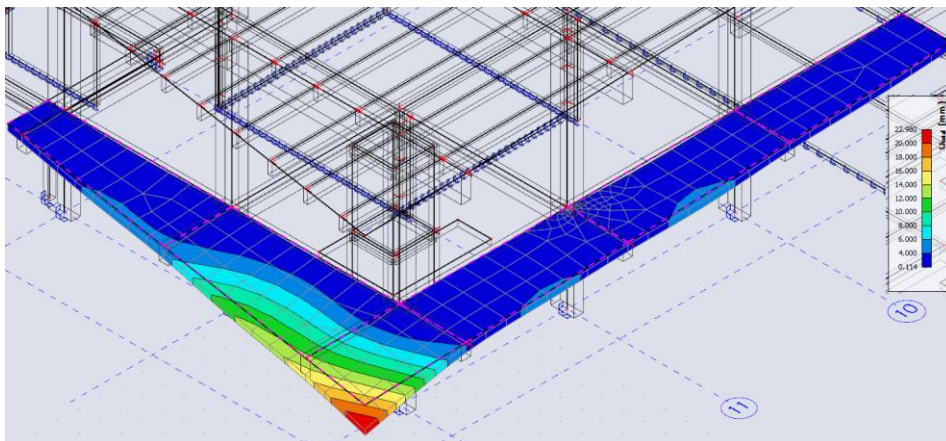


Obr. 28 Vizualizace konzoly nad 1. NP budovy B

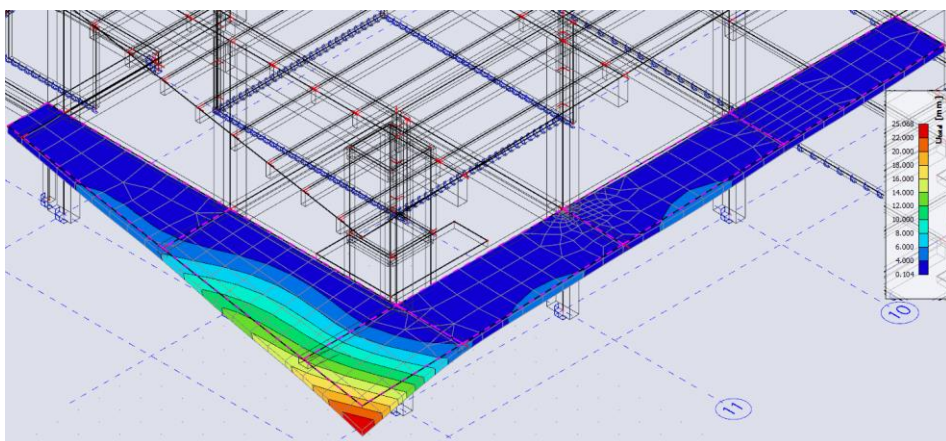


Obr. 29 vizualizace konzoly nad 1. NP s štíhlým sloupem G13 v rohu konzoly

Průhyb s daným typem desky není možné zajistit jen pomocí průvlaků. Pro ověření, že tato část tak navržena být nemůže, vzniklo několik verzí modelu. První verze byla vytvořena s průvlaky konstantní výšky 450x680 mm. Výsledný maximální pružný průhyb konzoly vycházel 23 mm (Obr. 30). V druhé verzi byly navrženy průvlaky s náběhy – s výškou 280 mm na konci konzol. Výsledný maximální pružný průhyb se zhoršil o 2,1 mm – vycházel 25,1 mm (Obr. 31).



Obr. 30 Podepření překonzolované části pomocí průvlaků



Obr. 31 Podepření překonzolované části pomocí náběhů

Je zřejmé, že je nutné zvolit jinou jiné řešení. V práci byla zvolena varianta podepření konzoly štíhlým sloupem v rohu konzoly, aby byl původní architektonický záměr narušen co nejméně. Byl přidán sloup kruhového průřezu o průměru 200 mm (Obr. 29). Sloup v 1. NP je exteriérový a má výšku 4,2 m, sloup v 2. NP je interiérový s výškou 7,0 m.

Tento nosný prvek byl v rámci bakalářské práce posuzován podrobně. Vliv účinků 2. řádu byl stanoven s využitím několika normou doporučených zjednodušených metod. Pro návrh a posouzení výztuže byly z upraveného 3D modelu (s vloženým sloupem) převzaty vstupní hodnoty vnitřních sil od 1. řádu.

5.1. Vstupní parametry

Beton C30/37:

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$E_{cd} = 27,5 \text{ GPa} \quad (\text{viz 2.2})$$

$$EI = E_{cm}I = 33 \cdot 10^6 \cdot 7,854 \cdot 10^7 \cdot 10^{-12} = 2591,814 \text{ kNm}^2 \quad (5.1)$$

$$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$$

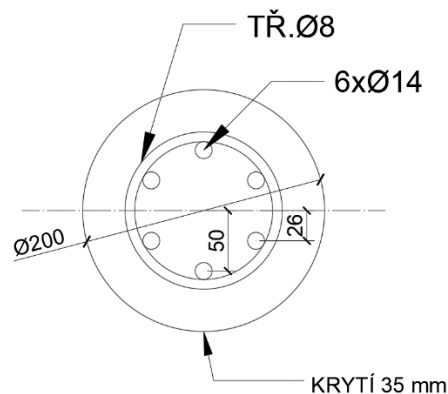
Výztuž – ocel B500B:

Návržená výztuž: 6xØ14

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.3})$$

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

$$d = d_c - \left(c + \varnothing_{tř} + \frac{\varnothing_s}{2} \right) = 200 - \left(35 + 8 + \frac{14}{2} \right) = 150 \text{ mm} \quad (5.2)$$



Obr. 32 Příčný řez sloupu G13

$$c = 35 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s = 14 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{tř} = 8 \text{ mm}$$

$$I_s = A_{s,1}(2z_{c1}^2 + z_{c2}^2) = 154 * (2 * 26^2 + 50^2) = 5,930 * 10^5 \text{ mm}^4 \quad (5.3)$$

$$z_{c1} = 26 \text{ mm}$$

$$z_{c2} = 50 \text{ mm}$$

$$A_s = nA_{s,1} = 6 * 154 = 924 \text{ mm}^2 \quad (5.4)$$

$$n = 6 \text{ ks}$$

$$A_{s,1} = \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = \frac{\pi * 14^2}{4} = 154 \text{ mm}^2 \quad (5.4a)$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{924}{31416} = 0,029 \quad (5.5)$$

$$A_s = 924 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz } 5.4)$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz } 5.7)$$

Geometrie sloupu:

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

$$r_c = \frac{d_c}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} \quad (5.6)$$

$$A_c = \pi r_c^2 = \pi * 100^2 = 31416 \text{ mm}^2 \quad (5.7)$$

$$I = \frac{1}{4} \pi r_c^4 = \frac{1}{4} * \pi * 100^4 = 7,854 * 10^7 \text{ mm}^4 \quad (5.8)$$

$$u = \pi 2r_c = \pi * 2 * 100 = 628,3 \text{ mm} \quad (5.9)$$

$$l_{sv,2} = L_2 - h_2 = 7,0 - 0,1 = 6,9 \text{ m} \quad (5.10)$$

$$L_2 = 7,0 \text{ m}$$

$$h_{s,2} = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$l_{sv,1} = L_1 - h_1 = 4,2 - 0,28 = 3,92 \text{ m} \quad (5.11)$$

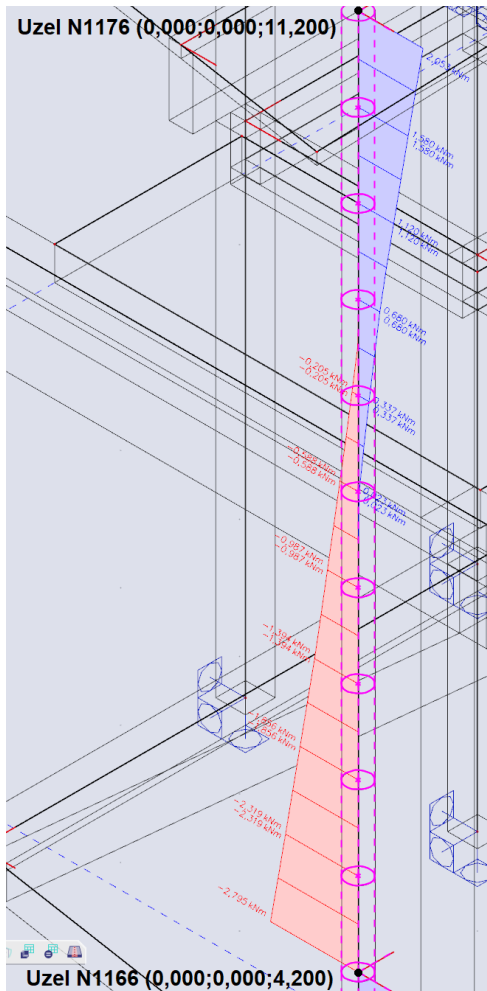
$$L_1 = 4,2 \text{ m}$$

$$h_{s,1} = 280 \text{ mm} = 0,28 \text{ m}$$

5.2. Výpočet vzpěrných délek sloupů

Pro stanovení vzpěrných délek obou částí sloupy byla využita natočení styčniců sloupu odečtená z prostorového 3D modelu. V konstrukci je navrženo několik ztužujících stěn, tudíž lze konstrukci považovat za ztuženou a předpokládat, že se jedná o sloup s neposuvnými styčnicíky.

5.2.1. Sloup v 2. NP



Obr. 33 Průběh ohybových momentu sloupu G13 v 2. NP

$$l_{0,2.NP} = 0,5l_{sv,2}\sqrt{\left(1 + \frac{k_{1176,1}}{0,45+k_{1176,1}}\right)\left(1 + \frac{k_{1166,2}}{0,45+k_{1166,2}}\right)} \quad (5.12)$$

$$l_{0,2.NP} = 0,5 * 6,9 * \sqrt{\left(1 + \frac{0,126}{0,45+0,126}\right)\left(1 + \frac{0,218}{0,45+0,218}\right)} = 0,64 * 6,9 = 4,387 \text{ m}$$

$$l_{sv,2} = 6,9 \text{ m} \quad (\text{viz 5.10})$$

$$k_{1176,1} = \frac{|\theta_{1176}|}{|M_{1176,top}|} \frac{EI}{l_{sv,2}} = \frac{|-0,690|*10^{-3}}{|2,053|} * \frac{2591,814}{6,9} = 0,126 \quad (5.12a)$$

$$\theta_{1176} = -0,690 \text{ mrad}$$

$$M_{1176,top} = 2,053 \text{ kNm}$$

$$EI = 2591,814 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz 5.1})$$

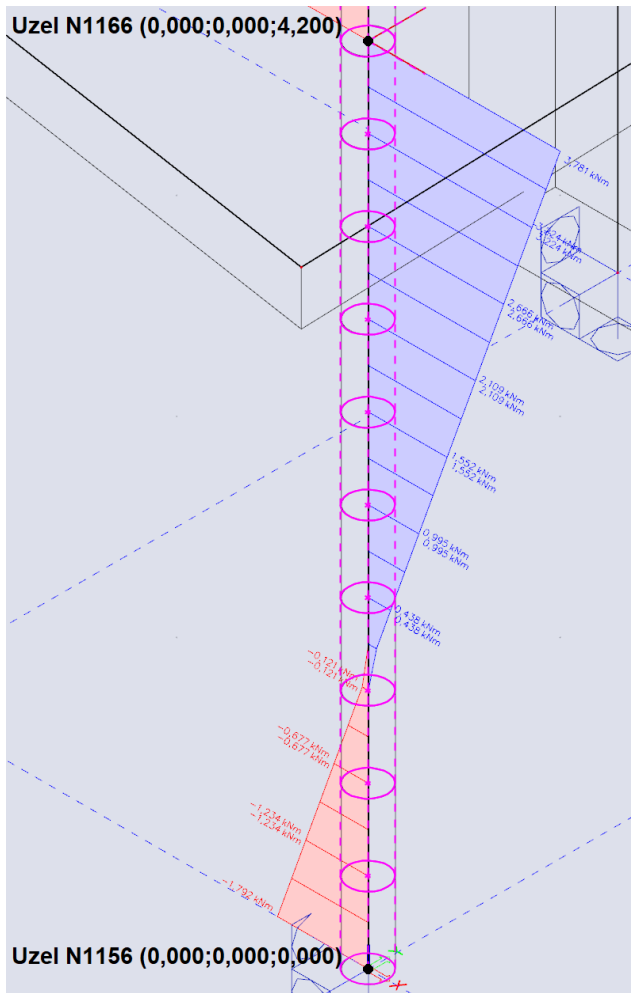
$$k_{1166,2} = \frac{|\theta_{1166}|}{|M_{1166,bot}|} \frac{EI}{l_{sv,2}} = \frac{|-1,622|*10^{-3}}{|-2,795|} * \frac{2591,814}{6,9} = 0,218 \quad (5.12b)$$

$$\theta_{1166} = -1,622 \text{ mrad}$$

$$M_{1166,bot} = -2,795 \text{ kNm}$$

$$EI = 2591,814 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz 5.1})$$

5.2.2. Sloup v 1. NP



Obr. 34 Průběh ohybových momentu sloupu G13 v 1. NP

$$l_{0,1.NP} = 0,5l_{sv,1}\sqrt{\left(1 + \frac{k_{1166,1}}{0,45+k_{1166,1}}\right)\left(1 + \frac{k_{1156,2}}{0,45+k_{1156,2}}\right)} \quad (5.13)$$

$$l_{0,1.NP} = 0,5 * 3,92 * \sqrt{\left(1 + \frac{0,284}{0,45+0,284}\right)\left(1 + \frac{0}{0,45+0}\right)} = 0,59 * 3,92 = 2,309 \text{ m}$$

$$l_{sv,1} = 3,92 \text{ m} \quad (\text{viz 5.11})$$

$$k_{1166,1} = \frac{|\theta_{1166}|}{|M_{1166,top}|} \frac{EI}{l_{sv,1}} = \frac{|-0,690|*10^{-3}}{|3,781|} * \frac{2591,814}{3,92} = 0,284 \quad (5.13a)$$

$$\theta_{1166} = -1,622 \text{ mrad}$$

$$M_{1166,top} = 3,781 \text{ kNm}$$

$$EI = 2591,814 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz 5.1})$$

$$k_{1156,2} = \frac{|\theta_{1156}|}{|M_{1156,bot}|} \frac{EI}{l_{sv,1}} = \frac{|0,001|*10^{-3}}{|-1,792|} * \frac{2591,814}{3,92} = 0 \quad (5.13b)$$

$$\theta_{1156} = 0,001 \text{ mrad}$$

$$M_{1156,bot} = -1,792 \text{ kNm}$$

$$EI = 2591,814 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz 5.1})$$

5.3. Výpočet excentricity řešeného sloupu

Ideálně dostředný tlak není reálně možný a proto je třeba interakční diagram omezit s ohledem na imperfekce, neboli nepřesnosti výroby. Pro posouzení navržené výztuže sloupu byla excentricita prvního řádu upravena s ohledem na imperfekce (dle normy) a dále také zvětšena o excentricitu druhého řádu. Výpočet excentricity druhého řádu byl proveden s využitím normou doporučených zjednodušených normových (metoda jmenovité křivosti a jmenovité tuhosti). Jako třetí alternativní postup byla zvolena obecná iterační metoda – postupné zatěžování sloupu v deformovaném tvaru. Deformovaný tvar byl vždy po jednotlivých iteračních krocích získán z prostorového 3D modelu konstrukce. Závěrem byly výsledky těchto metod porovnány.

5.3.1. Sloup v 2. NP

$$e_{1176,0,top} = e_{1176,top} + e_{i,2.NP} \geq \max\left(\frac{d_c}{30}; 20\right) \quad (5.14)$$

$$31,83 + 10,97 \geq \max\left(\frac{200}{30}; 20\right) = \max(6,67; 20)$$

42,80 ≥ 20 [mm] – vyhovuje

$$e_{1176,top} = \frac{|M_{1176,top}|}{|N_{1176,Ed,top}|} = \frac{|2,053|}{|-64,500|} = 31,83 \text{ mm} \quad (5.14a)$$

$$M_{1176,top} = 2,053 \text{ kNm}$$

$$N_{1176,Ed,top} = -64,500 \text{ kN}$$

$$e_{i,2.NP} = \frac{l_{0,2.NP}}{400} = \frac{4,387 \cdot 10^3}{400} = 10,97 \text{ mm} \quad (5.14b)$$

$$l_{0,2.NP} = 4,387 \text{ m} \quad (\text{viz 5.12})$$

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

$$e_{1166,0,bot} = e_{1166,bot} + e_{i,2.NP} \geq \max\left(\frac{d_c}{30}; 20\right) \quad (5.15)$$

$$38,86 + 10,97 \geq \max\left(\frac{200}{30}; 20\right) = \max(6,67; 20)$$

49,83 ≥ 20 [mm] – vyhovuje

$$e_{1166,bot} = \frac{|M_{1166,bot}|}{|N_{1166,Ed,bot}|} = \frac{|-2,795|}{|-71,922|} = 38,86 \text{ mm} \quad (5.15a)$$

$$M_{1166,bot} = -2,795 \text{ kNm}$$

$$N_{1166,Ed,bot} = -71,922 \text{ kN}$$

$$e_{i,2.NP} = \frac{l_{0,2.NP}}{400} = \frac{4,387 \cdot 10^3}{400} = 10,97 \text{ mm} \quad (5.15b)$$

$$l_{0,2.NP} = 4,387 \text{ m} \quad (\text{viz 5.12})$$

5.3.2. Sloup v 1. NP

$$e_{1166,0,top} = e_{1166,top} + e_{i,1.NP} \geq \max\left(\frac{d_c}{30}; 20\right) \quad (5.16)$$

$$12,63 + 5,77 \geq \max\left(\frac{200}{30}; 20\right) = \max(6,67; 20)$$

18,40 \geq 20 [mm] – nevyhovuje

$$e_{1166,top} = \frac{|M_{1166,top}|}{|N_{1166,Ed,top}|} = \frac{|3,781|}{|-299,399|} = 12,63 \text{ mm} \quad (5.16a)$$

$$M_{1166,top} = 3,781 \text{ kNm}$$

$$N_{1166,Ed,top} = -299,399 \text{ kN}$$

$$e_{i,1.NP} = \frac{l_{0,1.NP}}{400} = \frac{2,309 \cdot 10^3}{400} = 5,77 \text{ mm} \quad (5.16b)$$

$$l_{0,1.NP} = 2,309 \text{ m} \quad (\text{viz 5.13})$$

$$e_{1156,0,bot} = e_{1156,bot} + e_{i,1.NP} \geq \max\left(\frac{d_c}{30}; 20\right) \quad (5.17)$$

$$5,90 + 5,77 \geq \max\left(\frac{200}{30}; 20\right) = \max(6,67; 20)$$

11,67 \geq 20 [mm] – nevyhovuje

$$e_{1156,bot} = \frac{|M_{1156,bot}|}{|N_{1156,Ed,bot}|} = \frac{|-1,792|}{|-303,852|} = 5,90 \text{ mm} \quad (5.17a)$$

$$M_{1156,bot} = -1,792 \text{ kNm}$$

$$N_{1156,Ed,bot} = -303,852 \text{ kN}$$

$$e_{i,1.NP} = \frac{l_{0,1.NP}}{400} = \frac{2,309 \cdot 10^3}{400} = 5,77 \text{ mm} \quad (5.17b)$$

$$l_{0,1.NP} = 2,309 \text{ m} \quad (\text{viz 5.13})$$

Další výpočet momentů prvního řádu včetně vlivu imperfekce pro sloup v 1. NP byl proveden s uvažováním minimální excentricity dle normy $e_{1166,0,top} = 20 \text{ mm}$ a $e_{1156,0,bot} = 20 \text{ mm}$.

5.4. Výpočet koncových ohybových momentů prvního řádu s vlivem imperfekcí

5.4.1. Sloup v 2. NP

$$M_{01,2.NP} = \min(|M_{1176,top}|; |M_{1166,bot}|) + e_{i,2.NP} |N_{1176,Ed,top}| \quad (5.18)$$

$$M_{01,2.NP} = \min(|2,053|; |-2,795|) + 10,97 * 10^{-3} * |-64,500|$$

$$M_{01,2.NP} = 2,053 + 10,97 * 10^{-3} * |-64,500| = 2,760 \text{ kNm}$$

$$M_{1176,top} = 2,053 \text{ kNm}$$

$$M_{1166,bot} = -2,795 \text{ kNm}$$

$$e_{i,2.NP} = 10,97 \text{ mm} \quad (\text{viz 5.15b})$$

$$N_{1176,Ed,top} = -64,500 \text{ kN}$$

$$M_{02,2.NP} = \max(|M_{1176,top}|; |M_{1166,bot}|) + e_{i,2.NP} |N_{1166,Ed,bot}| \quad (5.19)$$

$$M_{02,2.NP} = \max(|2,053|; |-2,795|) + 10,97 * 10^{-3} * |-71,922|$$

$$M_{02,2.NP} = 2,795 + 10,97 * 10^{-3} * |-71,922| = 3,584 \text{ kNm}$$

$$M_{1176,top} = 2,053 \text{ kNm}$$

$$M_{1166,bot} = -2,795 \text{ kNm}$$

$$e_{i,2.NP} = 10,97 \text{ mm} \quad (\text{viz 5.16b})$$

$$N_{1166,Ed,bot} = -71,922 \text{ kN}$$

V dalším výpočtu bude uvažována záporná hodnota $M_{02,2.NP}$

5.4.2. Sloup v 1. NP

$$M_{01,1.NP} = |N_{1166,Ed,top}| e_{1166,0,top} = |-299,399| * 20 * 10^{-3} = 5,988 \text{ kNm} \quad (5.20)$$

$$N_{1166,Ed,top} = -299,399 \text{ kN}$$

$$e_{1166,0,top} = 20 \text{ mm}$$

$$M_{02,1.NP} = |N_{1156,Ed,bot}| e_{1156,0,bot} = |-303,852| * 20 * 10^{-3} = 6,077 \text{ kNm} \quad (5.21)$$

$$N_{1156,Ed,bot} = -303,852 \text{ kN}$$

$$e_{1156,0,bot} = 20 \text{ mm}$$

V dalším výpočtu bude uvažována záporná hodnota $M_{02,1.NP}$

5.5. Výpočet návrhových ohybových momentů prvního řádu s vlivem imperfekcí

5.5.1. Sloup v 2. NP

$$M_{0Ed,2.NP} = \max(0,6|M_{01,2.NP}| + 0,4|M_{02,2.NP}|; 0,4|M_{02,2.NP}|) \quad (5.22)$$

$$M_{0Ed,2.NP} = \max(0,6 * |2,760| + 0,4 * |-3,584|; 0,4 * |-3,584|)$$

$$M_{0Ed,2.NP} = \max(3,090; 1,433) = 3,090 \text{ kNm}$$

$$M_{01,2.NP} = 2,760 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.18)$$

$$M_{02,2.NP} = -3,584 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.19)$$

5.5.2. Sloup v 1. NP

$$M_{0Ed,1.NP} = \max(0,6|M_{01,1.NP}| + 0,4|M_{02,1.NP}|; 0,4|M_{02,1.NP}|) \quad (5.23)$$

$$M_{0Ed,1.NP} = \max(0,6 * |5,988| + 0,4 * |-6,077|; 0,4 * |-6,077|)$$

$$M_{0Ed,1.NP} = \max(6,024; 2,431) = 6,024 \text{ kNm}$$

$$M_{01,1.NP} = 5,988 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.20)$$

$$M_{02,1.NP} = -6,077 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.21)$$

5.6. Stanovení štíhlosti sloupů

5.6.1. Sloup v 2. NP

$$\lambda_{2.NP} = \frac{4l_{0,2.NP}}{d_s} = \frac{4*4,387}{200*10^{-3}} = 87,7 \quad (5.24)$$

Vstupní parametry pro stanovení konečného součinitele dotvarování:

Vyjádření, kdy bude vneseno zatížení na sloup $t_0 = 28 \text{ dní}$

$$\text{Jmenovitý rozměr } h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2*31416}{628,3} = 100 \text{ mm}$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz } 5.7)$$

$$u = 628,3 \text{ mm} \quad (\text{viz } 5.9)$$

Typ cementu N – normálně tvrdnoucí

Prostředí $RH = 50\%$ - vnitřní prostředí

Třída betonu C30/37

Výsledek - $\varphi_{(\infty,t_0)} = 2,71$

$$A_{2.NP} = \frac{1}{1+0,2\varphi_{ef,2.NP}} = \frac{1}{1+0,2*1,67} = 0,75 \quad (5.25)$$

$$\varphi_{ef,2.NP} = \varphi_{(\infty,t_0)} \frac{M_{0Eqp,2.NP}}{M_{0Ed,2.NP}} = 2,71 * \frac{1,267}{2,053} = 1,67 \quad (5.25a)$$

$$\varphi_{(\infty,t_0)} = 2,71$$

$$M_{0Eqp,2.NP} = 1,267 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed,2.NP} = 2,053 \text{ kNm}$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 * 0,639} = 1,51 \quad (5.26)$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{924 * 10^{-6} * 435 * 10^3}{31416 * 10^{-6} * 20 * 10^3} = 0,639 \quad (5.26a)$$

$$A_s = 924 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.4})$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.3})$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.7})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$C_{2.NP} = 1,7 - r_{m,2.NP} = 1,7 - (-0,770) = 2,470 \quad (5.27)$$

$$r_{m,2.NP} = \frac{M_{01,2.NP}}{M_{02,2.NP}} = \frac{2,760}{-3,584} = -0,770 \quad (5.27a)$$

$$M_{01,2.NP} = 2,760 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.18})$$

$$M_{02,2.NP} = -3,584 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.19})$$

$$\lambda_{lim,2.NP} = \frac{20A_{2.NP}BC_{2.NP}}{\sqrt{n_{2.NP}}} = \frac{20*0,75*1,51*2,470}{\sqrt{0,114}} = 165,2 \quad (5.28)$$

$$n_{2.NP} = \frac{|N_{Ed,2.NP}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-71,922|}{31416 * 10^{-6} * 20 * 10^3} = 0,114 \quad (5.28a)$$

$$N_{Ed,2.NP} = N_{1166,Ed,bot} = -71,922 \text{ kN}$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.7})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$A_{2.NP} = 0,75 \quad (\text{viz 5.23})$$

$$B = 1,51 \quad (\text{viz 5.24})$$

$$C_{2.NP} = 2,470 \quad (\text{viz 5.25})$$

Doporučené omezení štíhlosti

$$\lambda_{lim,2.NP} = \frac{16}{\sqrt{n_{2.NP}}} = \frac{16}{\sqrt{0,114}} = 47,3 \text{ (pro } |n| \leq 0,41) \quad (5.29)$$

$$n_{2.NP} = 0,114 \quad (\text{viz 5.28a})$$

$$\lambda_{2.NP} < \lambda_{lim,2.NP}$$

87,7 < 47,3 [-] – nevyhovuje => sloup v 2. NP je štíhlý

5.6.2. Sloup v 1. NP

$$\lambda_{1.NP} = \frac{4l_{0,1.NP}}{d_s} = \frac{4*2,309}{200*10^{-3}} = 46,2 \quad (5.30)$$

$$A_{1.NP} = \frac{1}{1+0,2\varphi_{ef,1.NP}} = \frac{1}{1+0,2*1,77} = 0,74 \quad (5.31)$$

$$\varphi_{ef,1.NP} = \varphi_{(\infty,t0)} \frac{M_{0Eqp,1.NP}}{M_{0Ed,1.NP}} = 2,71 * \frac{2,470}{3,781} = 1,77 \quad (5.31a)$$

$$\varphi_{(\infty,t0)} = 2,71$$

$$M_{0Eqp,1.NP} = 2,470 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed,1.NP} = 3,781 \text{ kNm}$$

$$C_{1.NP} = 1,7 - r_{m,1.NP} = 1,7 - (-0,985) = 2,685 \quad (5.32)$$

$$r_{m,1.NP} = \frac{M_{01,1.NP}}{M_{02,1.NP}} = \frac{5,988}{-6,077} = -0,985 \quad (5.32a)$$

$$M_{01,1.NP} = 5,988 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.20})$$

$$M_{02,1.NP} = -6,077 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.21})$$

$$\lambda_{lim,1.NP} = \frac{20A_{1.NP}BC_{1.NP}}{\sqrt{n_{1.NP}}} = \frac{20*0,74*1,51*2,685}{\sqrt{0,484}} = 86,1 \quad (5.33)$$

$$n_{1.NP} = \frac{|N_{Ed,1.NP}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-303,852|}{31416*10^{-6}*20*10^3} = 0,484 \quad (5.31a)$$

$$N_{Ed,1.NP} = N_{1156,Ed,bot} = -303,852 \text{ kN}$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.7})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$A_{2.NP} = 0,75 \quad (\text{viz 5.23})$$

$$B = 1,51 \quad (\text{viz 5.24})$$

$$C_{2.NP} = 2,470 \quad (\text{viz 5.25})$$

Doporučené omezení štíhlosti

$$\lambda_{lim,1.NP} = 25,0 \text{ (pro } |n| \geq 0,41) \quad (5.34)$$

$$\lambda_{1.NP} < \lambda_{lim,1.NP}$$

86,1 < 25,0 [-] – nevyhovuje => sloup v 1. NP je štíhlý

5.7. Výpočet excentricit i ohybových momentů druhého řádu a stanovení rozhodujících ohybových momentů

Použité způsoby výpočtu:

- 1) Ruční výpočet podle metody jmenovité křivosti (viz 5.7.1).
- 2) Ruční výpočet podle metody jmenovité tuhosti (viz 5.7.2).
- 3) Obecná numerická metoda s využitím 3D modulu (viz 5.7.3).

5.7.1. Metoda jmenovité křivosti

5.7.1.1. Sloup v 2. NP

Výpočet excentricity druhého řádu

$$K_{r,2.NP} = \min\left(\frac{n_u - n_{2.NP}}{n_u - n_{bal}}; 1\right) \quad (5.35)$$

$$K_{r,2.NP} = \min\left(\frac{1,639 - 0,114}{1,639 - 0,4}; 1\right)$$

$$K_{r,2.NP} = \min(1,23; 1) = 1,0$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,639 = 1,639 \quad (5.35a)$$

$$\omega = 0,639 \quad (\text{viz } 5.26a)$$

$$n_{2.NP} = 0,114 \quad (\text{viz } 5.28a)$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_{\varphi,2.NP} = \max(1 + \beta_{jk,2.NP} \varphi_{ef,2.NP}; 1) \quad (5.36)$$

$$K_{\varphi,2.NP} = \max(1 + (-0,085) * 1,67; 1)$$

$$K_{\varphi,2.NP} = \max(0,86; 1) = 1,0$$

$$\beta_{jk,2.NP} = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_{2.NP}}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{87,7}{150} = -0,085 \quad (5.36a)$$

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

$$\lambda_{2,NP} = 87,7 \quad (\text{viz } 5.24)$$

$$\varphi_{ef,2,NP} = 1,67 \quad (\text{viz } 5.25a)$$

$$e_{2,2,NP} = 0,1 \frac{K_{r,2,NP} K_{\varphi,2,NP} f_{yd} l_{0,2,NP}^2}{0,45 d E_s c} \quad (5.37)$$

$$e_{2,2,NP} = \left(0,1 * \frac{1,0 * 1,0 * 435 * 10^3}{0,45 * 150 * 10^{-3} * 200 * 10^6} * \frac{4,387^2}{9,870} \right) * 10^3 = 6,28 \text{ mm}$$

$$K_{r,2,NP} = 1,0 \quad (\text{viz } 5.35)$$

$$K_{\varphi,2,NP} = 1,0 \quad (\text{viz } 5.36)$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (\text{viz } 2.3)$$

$$d = 150 \text{ mm} \quad (\text{viz } 5.2)$$

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

$$l_{0,2,NP} = 4,387 \text{ m} \quad (\text{viz } 5.12)$$

$$c = \pi^2 = 9,870$$

Výpočet ohybového momentu druhého řádu

$$M_{2,2,NP} = e_{2,2,NP} |N_{Ed,2,NP}| = 6,28 * 10^{-3} * |-71,922| = 0,452 \text{ kNm} \quad (5.38)$$

$$e_{2,2,NP} = 6,28 \text{ mm} \quad (\text{viz } 5.37)$$

$$N_{Ed,2,NP} = -71,922 \text{ kN}$$

Stanovení rozhodujícího momentu

$$M_{Ed,roz,h,jk,2,NP} = \max(|M_{02,2,NP}|; M_{0Ed,2,NP} + M_{2,2,NP}; |M_{01,2,NP}| + 0,5M_{2,2,NP}) \quad (5.39)$$

$$M_{Ed,roz,h,jk,2,NP} = \max(|-3,584|; 3,090 + 0,452; |2,760| + 0,5 * 0,452)$$

$$M_{Ed,roz,h,jk,2,NP} = \max(|-3,584|; 3,542; 2,986) = 3,584 \text{ kNm}$$

$$M_{01,2,NP} = 2,760 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.18)$$

$$M_{02,2,NP} = -3,584 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.19)$$

$$M_{0Ed,2,NP} = 3,090 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.22)$$

$$M_{2,2,NP} = 0,452 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.38)$$

5.7.1.2. Sloup v 1. NP

Výpočet excentricity druhého řádu

$$K_{r,1,NP} = \min\left(\frac{n_u - n_{1,NP}}{n_u - n_{bal}}; 1\right) \quad (5.40)$$

$$K_{r,1.NP} = \min\left(\frac{1,639-0,484}{1,639-0,4}; 1\right)$$

$$K_{r,1.NP} = \min(0,93; 1) = 0,93$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,639 = 1,639 \quad (5.40a)$$

$$\omega = 0,639 \quad (\text{viz } 5.26a)$$

$$n_{1.NP} = 0,484 \quad (\text{viz } 5.31a)$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_{\varphi,1.NP} = \max(1 + \beta_{jk,1.NP}\varphi_{ef,1.NP}; 1) \quad (5.41)$$

$$K_{\varphi,1.NP} = \max(1 + 0,190 * 1,77; 1)$$

$$K_{\varphi,1.NP} = \max(1,34; 1) = 1,34$$

$$\beta_{jk,1.NP} = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda_{1.NP}}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{46,2}{150} = 0,190 \quad (5.41a)$$

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

$$\lambda_{1.NP} = 46,2 \quad (\text{viz } 5.30)$$

$$\varphi_{ef,1.NP} = 1,77 \quad (\text{viz } 5.31a)$$

$$e_{2,1.NP} = 0,1 \frac{K_{r,1.NP}K_{\varphi,1.NP}f_{yd} l_{0,1.NP}^2}{0,45dE_s c} \quad (5.42)$$

$$e_{2,1.NP} = \left(0,1 * \frac{0,93*1,34*435*10^3}{0,45*150*10^{-3}*200*10^6} * \frac{2,309^2}{9,870}\right) * 10^3 = 2,17 \text{ mm}$$

$$K_{r,1.NP} = 0,93 \quad (\text{viz } 5.40)$$

$$K_{\varphi,1.NP} = 1,34 \quad (\text{viz } 5.41)$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (\text{viz } 2.3)$$

$$d = 150 \text{ mm} \quad (\text{viz } 5.2)$$

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

$$l_{0,1.NP} = 2,309 \text{ m} \quad (\text{viz } 5.13)$$

$$c = \pi^2 = 9,870$$

Výpočet ohybového momentu druhého řádu

$$M_{2,1.NP} = e_{2,1.NP} |N_{Ed,1.NP}| = 2,17 * 10^{-3} * |-303,852| = 0,661 \text{ kNm} \quad (5.43)$$

$$e_{2,1.NP} = 2,17 \text{ mm} \quad (\text{viz } 5.41)$$

$$N_{Ed,1.NP} = -303,852 \text{ kN}$$

Stanovení rozhodujícího momentu

$$M_{Ed,rozh,jk,1.NP} = \max(|M_{02,1.NP}|; M_{0Ed,1.NP} + M_{2,1.NP}; |M_{01,1.NP}| + 0,5M_{2,1.NP}) \quad (3.44)$$

$$M_{Ed,rozh,jk,1.NP} = \max(|-6,077|; 6,024 + 0,661; |5,988| + 0,5 * 0,661)$$

$$M_{Ed,rozh,jk,1.NP} = \max(|-6,077|; 6,684; 6,319) = 6,684 \text{ kNm}$$

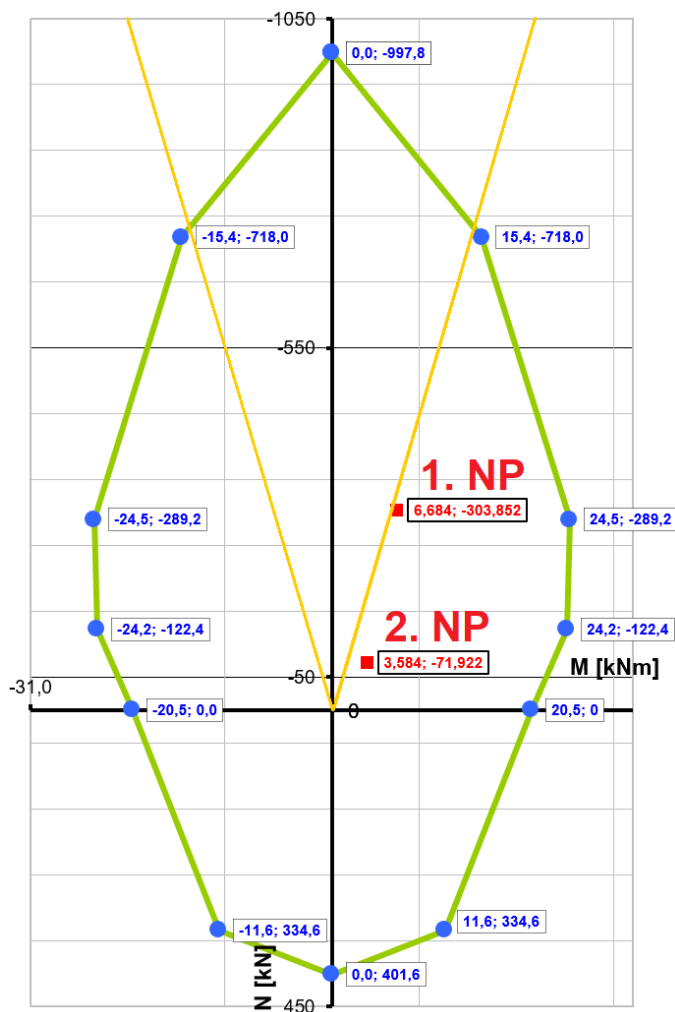
$$M_{01,1.NP} = 5,988 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.20)$$

$$M_{02,1.NP} = -6,077 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.21)$$

$$M_{0Ed,1.NP} = 6,024 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.23)$$

$$M_{2,1.NP} = e_{2,1.NP} |N_{Ed,1.NP}| = 2,04 * 10^{-3} * |-303,852| = 0,619 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.43)$$

5.7.1.3. Výsledek podle metody jmenovité křivosti



Obr. 35 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy

Při výpočtu metodou jmenovité křivosti navržené rozměry sloupu a předpoklad výztuže $6x\text{Q}14$ vyhovuje.

5.7.2. Metoda jmenovité tuhosti

5.7.2.1. Sloup v 2. NP

Výpočet ohybového momentu druhého řádu

$$EI_{2.NP} = K_{c,2.NP}E_{cd}I_c + K_{s,2.NP}E_sI_s \quad (5.45)$$

$$EI_{2.NP} = 0,027 * 27,5 * 10^6 * 7,854 * 10^{-5} + 1 * 200 * 10^6 * 5,930 * 10^{-7}$$

$$EI_{2.NP} = 177,070 \text{ kNm}^2$$

$$E_{cd} = 27,5 \text{ GPa} \quad (\text{viz 2.2})$$

$$I_c = I = 7,854 * 10^7 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 5.8})$$

$$K_{s,2.NP} = 1, E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$I_s = 5,930 * 10^5 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 5.3})$$

$$K_{c,2.NP} = \frac{k_1 k_2}{1 + \varphi_{ef,2.NP}} = \frac{1,22 * 0,06}{1 + 1,67} = 0,027 \quad (5.46)$$

$$\varphi_{ef,2.NP} = 1,67 \quad (\text{viz 5.25a})$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,22 \quad (5.46a)$$

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

$$k_2 = \frac{|N_{Ed,2.NP}| \lambda_{2.NP}}{A_c f_{cd}} = \frac{|-71,922|}{31416 * 10^{-6} * 20 * 10^3} * \frac{87,7}{170} = 0,06 \quad (5.46b)$$

$$\lambda_{2.NP} = 87,7 \quad (\text{viz 5.24})$$

$$N_{Ed,2.NP} = -71,922 \text{ kN}$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.7})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$M_{Ed,2.NP} = M_{0Ed,2.NP} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_{B,2.NP}}{|N_{Ed,2.NP}|} - 1} \right] \quad (5.47)$$

$$M_{Ed,2.NP} = 3,090 * \left[1 + \frac{1,234}{\frac{90,808}{|-71,922|} - 1} \right] = 17,606 \text{ kNm}$$

$$\beta = \frac{\pi^2}{8} = 1,234 \quad (5.47a)$$

$$N_{B,2.NP} = \frac{\pi^2 EI_{2.NP}}{l_{0,2.NP}^2} = \frac{\pi^2 * 177,070}{4,387^2} = 90,808 \text{ kN} \quad (5.47b)$$

$$EI_{2.NP} = 177,070 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz 5.45})$$

$$l_{0,2.NP} = 4,387 \text{ m} \quad (\text{viz 5.12})$$

$$N_{Ed,2.NP} = -71,922 \text{ kN}$$

Stanovení rozhodujícího momentu

$$M_{Ed,roz,jt,2.NP} = \max \left(|M_{02,2.NP}|; M_{Ed,2.NP}; |M_{01,2.NP}| + 0,5(M_{Ed,2.NP} - M_{0Ed,2.NP}) \right)$$

$$M_{Ed,roz,jt,2.NP} = \max(|-3,584|; 17,606; |2,760| + 0,5 * (17,606 - 3,090))$$

$$M_{Ed,roz,jt,2.NP} = \max(|-3,584|; 17,606; 10,018) = 17,606 \text{ kNm}$$

$$M_{01,2.NP} = 2,760 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.18})$$

$$M_{02,2.NP} = -3,584 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.19})$$

$$M_{0Ed,2.NP} = 3,090 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.22})$$

$$M_{Ed,2.NP} = 17,606 \text{ kNm} \quad (\text{viz 5.47})$$

5.7.2.2. Sloup v 1. NP

Výpočet ohybového momentu druhého řádu

$$EI_{1.NP} = K_{c,1.NP}E_{cd}I_c + K_{s,1.NP}E_sI_s \quad (5.48)$$

$$EI_{1.NP} = 0,058 * 27,5 * 10^6 * 7,854 * 10^{-5} + 1 * 200 * 10^6 * 5,930 * 10^{-7}$$

$$EI_{1.NP} = 244,026 \text{ kNm}^2$$

$$E_{cd} = 27,5 \text{ GPa} \quad (\text{viz 2.2})$$

$$I_c = I = 7,854 * 10^7 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 5.8})$$

$$K_{s,1.NP} = 1$$

$$I_s = 5,930 * 10^5 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 5.3})$$

$$K_{c,1.NP} = \frac{k_1 k_2}{1 + \varphi_{ef,1.NP}} = \frac{1,22 * 0,13}{1 + 1,77} = 0,058 \quad (5.49)$$

$$\varphi_{ef,1.NP} = 1,77 \quad (\text{viz 5.31a})$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,22 \quad (5.49a)$$

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

$$k_2 = \frac{|N_{Ed,1.NP}| \lambda_{1.NP}}{A_c f_{cd} 170} = \frac{|-71,922|}{31416 * 10^{-6} * 20 * 10^3} * \frac{46,2}{170} = 0,06 \quad (5.49b)$$

$$\lambda_{1.NP} = 46,2 \quad (\text{viz 5.30})$$

$$N_{Ed,1.NP} = -303,852 \text{ kN}$$

$$A_c = 31416 \text{ mm}^2 \quad (\text{viz 5.7})$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa} \quad (\text{viz 2.1})$$

$$M_{Ed,1.NP} = M_{0Ed,1.NP} \left[1 + \frac{\beta}{\frac{N_{B,1.NP}}{|N_{Ed,1.NP}|} - 1} \right] \quad (5.50)$$

$$M_{Ed,1.NP} = 6,024 * \left[1 + \frac{1,234}{\frac{451,764}{|-303,852|} - 1} \right] = 21,290 \text{ kNm}$$

$$\beta = 1,234 \quad (\text{viz } 5.47a)$$

$$N_{B,1.NP} = \frac{\pi^2 EI_{1.NP}}{l_{0,1.NP}^2} = \frac{\pi^2 * 244,026}{2,309^2} = 451,764 \text{ kN} \quad (5.50a)$$

$$EI_{1.NP} = 244,026 \text{ kNm}^2 \quad (\text{viz } 5.48)$$

$$l_{0,2.NP} = 4,387 \text{ m} \quad (\text{viz } 5.12)$$

$$N_{Ed,1.NP} = -303,852 \text{ kN}$$

Stanovení rozhodujícího momentu

$$M_{Ed,roz,h,jt,1.NP} = \max(|M_{02,1.NP}|; M_{Ed,1.NP}; |M_{01,1.NP}| + 0,5(M_{Ed,1.NP} - M_{0Ed,1.NP}))$$

$$M_{Ed,roz,h,jt,1.NP} = \max(|-6,077|; 21,290; |5,988| + 0,5 * (21,290 - 6,024))$$

$$M_{Ed,roz,h,jt,1.NP} = \max(|-6,077|; 21,290; 13,621) = 21,290 \text{ kNm}$$

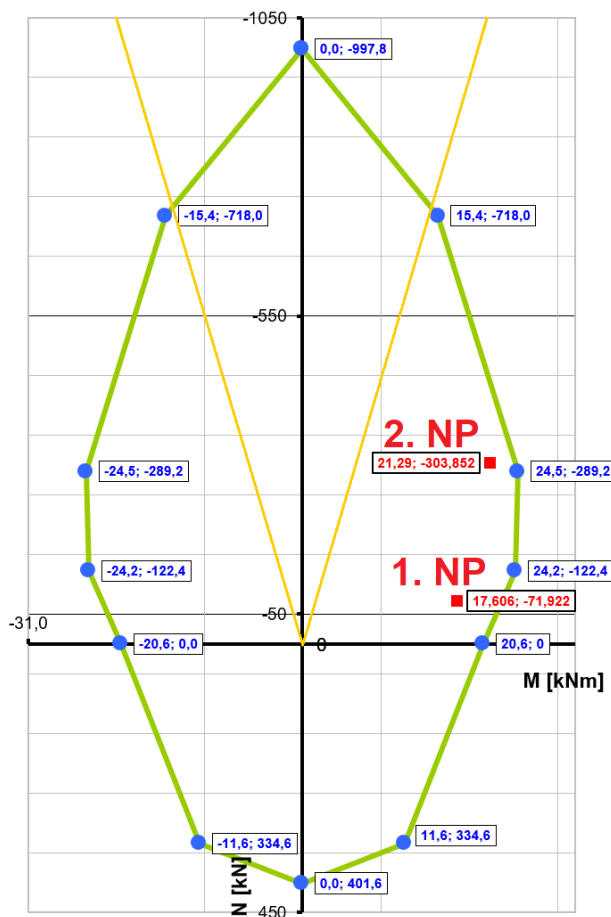
$$M_{01,1.NP} = 5,988 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.20)$$

$$M_{02,1.NP} = -6,077 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.21)$$

$$M_{0Ed,1.NP} = 6,024 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.23)$$

$$M_{Ed,1.NP} = 21,290 \text{ kNm} \quad (\text{viz } 5.50)$$

5.7.2.3. Výsledek podle metody jmenovité tuhosti



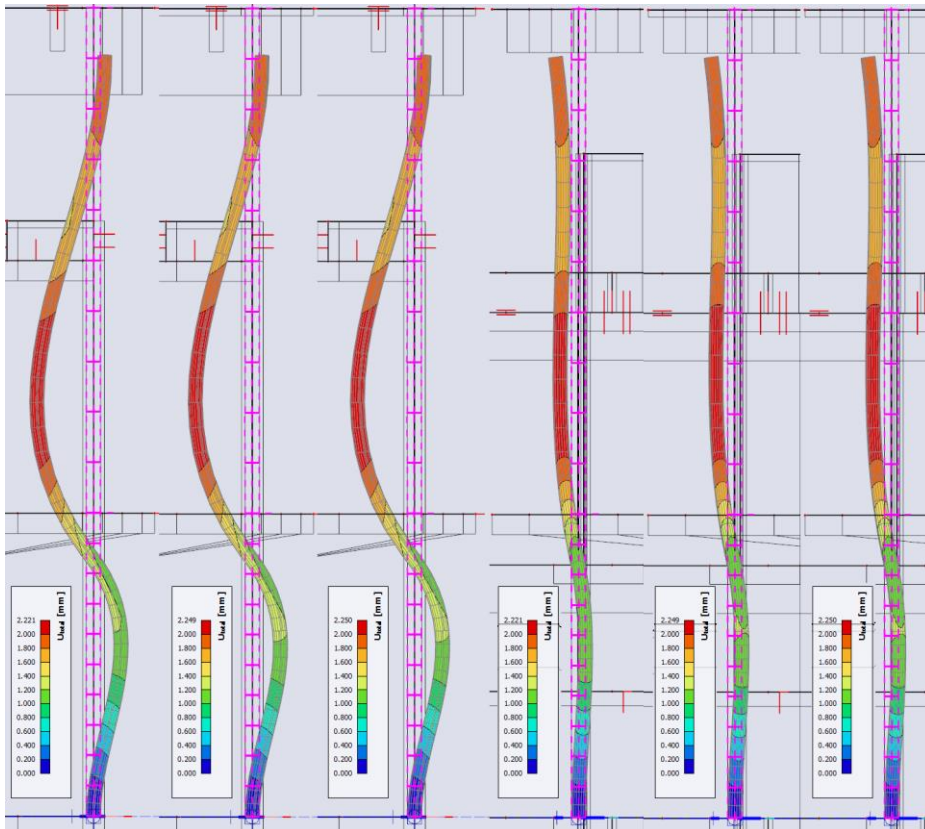
Obr. 36 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy

Při výpočtu metodou jmenovité tuhosti navržené rozměry sloupu a předpoklad výztuže $6x\text{Ø}14$ vyhovuje.

5.7.3. Obecná numerická metoda

Pro účely obecné numerické metody byl vytvořen model, kde osa sloupu G13 byla přemístěna do počátku souřadnicového systému. Sloup v každém jednotlivém podlaží byl rozdělen na deset úseků (Obr. 37), kvůli čemuž bylo vytvořeno 18 nových uzlů plus původní uzly v patě a hlavě sloupu (pro obě části řešeného sloupu).

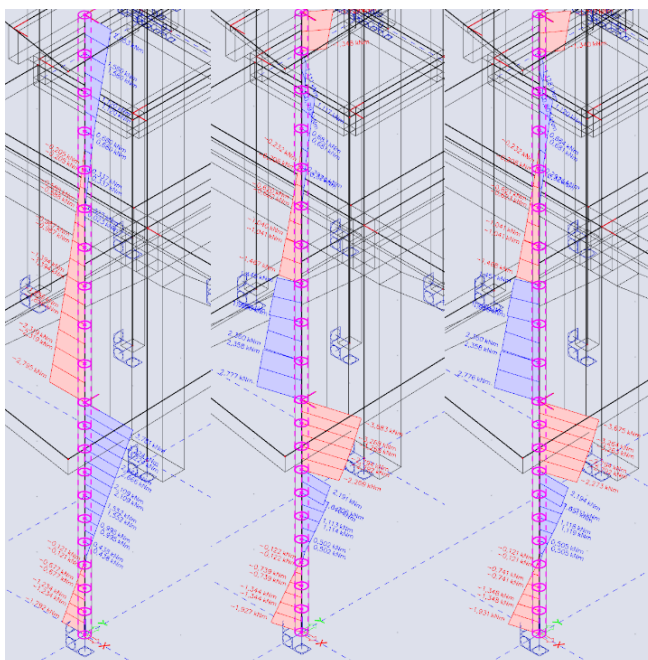
S využitím výstupů z 3D modelu byly po každé iteraci získány souřadnice přemístění a pootočení (viz příloha 5 a 6) všech uzlů, které pak byly použity pro zadání polohy sloupu v deformovaném tvaru znovu do modelu.



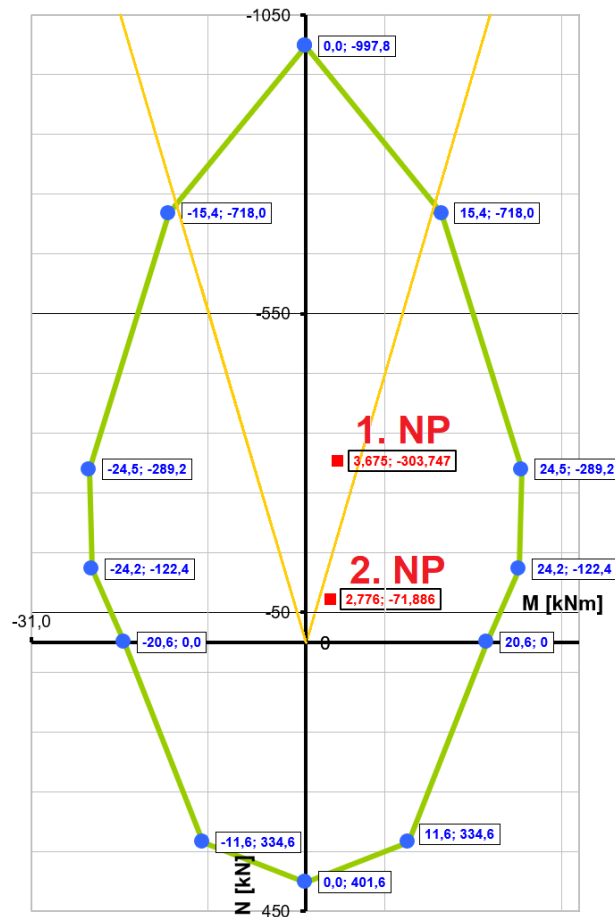
Obr. 37 Deformace sloupu G13 ve směru x a y po 1, 2 a 3 iteracích

Pro zvolený sloup byla iterace provedena třikrát – hodnoty ohybových momentů po druhé a třetí iteraci se lišily zanedbatelně.

Celkové hodnoty ohybových momentů zahrnující imperfekce a vliv druhého řádu získané obecnou iterační metodou:



Obr. 38 Průběh ohybových momentů sloupu G13 po 1, 2 a 3 iteracích



Obr. 39 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy

6. Parametrická studie hodnot ohybových momentů stanovených různými metodami

Mnohdy se reálná konstrukce může značně lišit od navrženého modelu uvažovaného při konstrukčním návrhu. Proto je důležité zohlednit náhodnost jevů, které souvisí s návrhem, výrobou, montáží, provozem, údržbou i rekonstrukcí nosných konstrukcí [20].

V programu Microsoft Excel [28] byl vytvořen celý výpočet popsáný v kapitole 5. V rámci bakalářské práce je v návaznosti na návrh vybraného štíhlého sloupu objektu provedena parametrická studie. Postupně je upravována vzpěrná délka daného sloupu, následně byly vyčísleny hodnoty ohybových momentů 2. řádu a rozhodujících ohybových momentů pomocí zjednodušených výpočetních metod jmenovité křivosti a jmenovité tuhosti. Při řešení jednotlivých variant je zachována plocha navržené výztuže vycházející z podrobného výpočtu.

6.1.1. Sloup v 2. NP

vzpěrná délka		součinitel C	štíhlost	limitní štíhlost	doporučené omezení štíhlost
$l_0=$	l_0 [m]	C [-]	λ [-]	λ_{lim} [-]	λ_{lim} [-]
0,5L	3,450	2,464	69,0	164,7	47,3
0,6L	4,140	2,469	82,8	165,1	47,3
0,64L	4,387	2,470	87,7	165,2	47,3
0,7L	4,830	2,473	96,6	165,3	47,3
0,8L	5,520	2,477	110,4	165,6	47,3
0,9L	6,210	2,481	124,2	165,9	47,3
1,0L	6,900	2,484	138,0	166,1	47,3
1,1L	7,590	2,488	151,8	166,3	47,3
1,2L	8,280	2,491	165,6	166,5	47,3
1,3L	8,970	2,494	179,4	166,7	47,3
1,4L	9,660	2,497	193,2	166,9	47,3
1,5L	10,350	2,479	207,0	165,8	47,3
1,6L	11,040	2,502	220,8	167,3	47,3
1,7L	11,730	2,504	234,6	167,4	47,3
1,8L	12,420	2,507	248,4	167,6	47,3
1,9L	13,110	2,509	262,2	167,7	47,3
2,0L	13,800	2,511	276,0	167,9	47,3

Tab. 22 Porovnání štíhlosti sloupu v 2. NP pro různé vzpěrné délky

vzpěrná délka	excentricita 2. řádu	ohybový moment 2. řádu	rozhodující ohybový moment	vliv 2. řádu	
				[%]	
$l_0=$	e_2 [mm]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N1176	N1166
0,5L	4,14	0,298	3,415	66,4	22,2
0,6L	5,59	0,402	3,539	72,4	26,6
0,64L	6,28	0,452	3,584	74,6	28,2
0,7L	7,61	0,548	3,712	80,8	32,8
0,8L	9,94	0,715	3,996	94,6	43,0
0,9L	12,58	0,905	4,302	109,6	53,9
1,0L	15,54	1,117	4,631	125,6	65,7
1,1L	18,80	1,352	4,982	142,7	78,2
1,2L	22,37	1,609	5,355	160,9	91,6
1,3L	26,26	1,888	5,751	180,1	105,8
1,4L	30,45	2,190	6,169	200,5	120,7
1,5L	34,96	2,514	5,856	185,2	109,5
1,6L	39,77	2,860	7,072	244,5	153,0
1,7L	44,90	3,229	7,558	268,1	170,4
1,8L	50,34	3,620	8,065	292,8	188,6
1,9L	56,08	4,034	8,595	318,6	207,5
2,0L	62,14	4,469	9,147	345,5	227,3

Tab. 23 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité křivosti

vzpěrná délka	jmenovitá tuhost	kritické břemeno	ohybový moment 2. řádu	rozhodující ohybový moment	vliv 2. řádu	
					[%]	
$l_0=$	EI [kNm ²]	N_B [kN]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N1176	N1166
0,5L	164,581	136,471	6,962	6,962	239,1	149,1
0,6L	173,779	100,068	12,657	12,657	516,5	352,9
0,64L	177,070	90,808	17,606	17,606	757,6	529,9
0,7L	182,976	77,411	54,323	54,323	2546,0	1843,6
0,8L	192,174	62,247	-26,807	3,788	84,5	35,5
0,9L	201,371	51,536	-11,390	3,912	90,5	39,9
1,0L	210,569	43,651	-7,514	4,036	96,6	44,4
1,1L	219,766	37,651	-5,768	4,160	102,6	48,8
1,2L	228,963	32,961	-4,786	4,284	108,7	53,3
1,3L	238,161	29,214	-4,162	4,408	114,7	57,7
1,4L	247,358	26,162	-3,737	4,532	120,7	62,1
1,5L	256,556	23,637	-2,799	3,852	87,6	37,8
1,6L	265,753	21,520	-3,203	4,780	132,8	71,0
1,7L	274,951	19,722	-3,029	4,904	138,9	75,5
1,8L	284,148	18,180	-2,894	5,028	144,9	79,9
1,9L	293,346	16,845	-2,787	5,152	151,0	84,3
2,0L	302,543	15,679	-2,702	5,276	157,0	88,8

Tab. 24 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité tuhosti

6.1.2. Sloup v 1. NP

vzpěrná délka		součinitel C	štíhlost	limitní štíhlost	doporučené omezení štíhlost
$l_0=$	l_0 [m]	C [-]	λ [-]	λ_{lim} [-]	λ_{lim} [-]
0,5L	1,960	2,685	39,2	86,1	25
0,59L	2,309	2,685	46,2	86,1	25
0,6L	2,352	2,685	47,0	86,1	25
0,7L	2,744	2,685	54,9	86,1	25
0,8L	3,136	2,708	62,7	86,8	25
0,9L	3,528	2,757	70,6	88,4	25
1,0L	3,920	2,805	78,4	89,9	25
1,1L	4,312	2,853	86,2	91,5	25
1,2L	4,704	2,902	94,1	93,0	25
1,3L	5,096	2,950	101,9	94,6	25
1,4L	5,488	2,998	109,8	96,1	25
1,5L	5,880	3,007	117,6	96,4	25
1,6L	6,272	2,993	125,4	95,9	25
1,7L	6,664	2,979	133,3	95,5	25
1,8L	7,056	2,967	141,1	95,1	25
1,9L	7,448	2,956	149,0	94,8	25
2,0L	7,840	2,945	156,8	94,4	25

Tab. 25 Porovnání štíhlosti sloupu v 1. NP pro různé vzpěrné délky

vzpěrná délka	excentricita 2. řádu	ohybový moment 2. řádu	rozhodující ohybový moment	vliv 2. řádu	
				[%]	
$l_0=$	e_2 [mm]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N1166	N1156
0,5L	1,66	0,505	6,529	72,7	264,3
0,59L	2,17	0,661	6,684	76,8	273,0
0,6L	2,24	0,680	6,704	77,3	274,1
0,7L	2,84	0,862	6,885	82,1	284,2
0,8L	3,43	1,041	7,149	89,1	298,9
0,9L	3,99	1,211	7,495	98,2	318,2
1,0L	4,68	1,421	7,881	108,4	339,8
1,1L	5,66	1,719	8,355	121,0	366,2
1,2L	6,73	2,046	8,858	134,3	394,3
1,3L	7,90	2,401	9,389	148,3	424,0
1,4L	9,17	2,785	9,949	163,1	455,2
1,5L	10,52	3,197	10,610	180,6	492,1
1,6L	11,97	3,637	11,345	200,1	533,1
1,7L	13,51	4,106	12,109	220,3	575,7
1,8L	15,15	4,603	12,902	241,2	620,0
1,9L	16,88	5,129	13,723	262,9	665,8
2,0L	18,70	5,683	14,572	285,4	713,2

Tab. 26 Porovnání vlivů 2. pro sloup v 1. NP získaných pomocí metody jmenovité křivosti

vzpěrná délka	jmenovitá tuhost	kritické břemeno	ohybový moment 2. řádu	rozhodující ohybový moment	vliv 2. řádu	
					[%]	
$l_0=$	EI [kNm ²]	N_B [kN]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N1166	N1156
0,5L	225,070	578,236	14,253	14,253	277,0	695,4
0,59L	244,026	451,764	21,290	21,290	463,1	1088,0
0,6L	246,365	439,546	22,664	22,664	499,4	1164,7
0,7L	267,661	350,846	54,073	54,073	1330,1	2917,5
0,8L	288,956	289,987	-159,031	6,077	60,7	239,1
0,9L	309,563	245,466	-34,061	6,077	60,7	239,1
1,0L	309,563	198,828	-16,597	6,077	60,7	239,1
1,1L	309,563	164,320	-11,192	6,077	60,7	239,1
1,2L	309,563	138,075	-8,592	6,077	60,7	239,1
1,3L	309,563	117,649	-7,080	6,077	60,7	239,1
1,4L	309,563	101,443	-6,104	6,077	60,7	239,1
1,5L	309,563	88,368	-5,483	6,259	65,5	249,3
1,6L	309,563	77,667	-5,067	6,556	73,4	265,9
1,7L	309,563	68,798	-4,760	6,854	81,3	282,5
1,8L	309,563	61,367	-4,530	7,152	89,2	299,1
1,9L	309,563	55,077	-4,355	7,450	97,0	315,7
2,0L	309,563	49,707	-4,222	7,747	104,9	332,3

Tab. 27 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité tuhosti

6.1.3. Vyhodnocení

Při výpočtu obecnou numerickou metodou vznikají menší ohybové momenty než u výpočtu pomocí zjednodušených metod. Malý nárůst ohybového momentu byl zaznamenán pouze v patce sloupu G13 (1. iterace – 1,792 kNm, 3. iterace – 1,931 kNm, viz obr. 38), ostatní ohybové momenty se naopak nevýznamně zmenšily.

V případě zjednodušených metod je rozdíl mezi oběma metodami způsoben principem výpočtu. U metody jmenovité křivosti hraje malou roli stupeň vyztužení prvku, jelikož jeho účinek je ve výpočtu pouze pro určení součinitele K_r , tak u metody jmenovité tuhosti je stupeň vyztužení prvku zásadní pro určení tuhosti průřezu. Tato skutečnost je důležitá při výpočtu velikosti ohybových momentů, protože mezi výsledky mohou nastat velké rozdíly. V případě malého vyztužení je ohybová tuhost prvku menší, a to má za následek malou velikost síly vzpěrného břemena N_B . Jakmile se velikost síly vzpěrného břemena N_B přiblíží velikosti návrhové síly N_{Ed} začne výrazně růst hodnota ohybového momentu M_{Ed} (viz tab. 24 a 27). Jakmile nastane taková situace, je nutné zvýšit ohybovou tuhost prvku použitím většího množství výztuže, zlepšením třídy betonu nebo zvětšením rozměru průřezu. Celkově lze říci, že ohybové momenty při výpočtu pomocí metody jmenovité křivosti vznikají menší než u metody jmenovité tuhosti.

Na základě výsledných hodnot lze konstatovat, že pouze metoda jmenovité křivosti může být použita pro návrh vybraného sloupu řešeného objektu. Metoda jmenovité tuhosti je pro daný sloup od určité štíhlosti nepoužitelná, kritické břemeno vychází menší než působící síla. Podle této metody už by sloup zkolaboval.

Závěr

V rámci první části bakalářské práce (kapitola 2, 3 a 4) byl zpracován předběžný statický návrh nosných prvků administrativní budovy a na základě výpočtu byl vytvořen 3D model objektu v programu SCIA Engineer 22.0 [27].

V druhé části práce (kapitola 5) byl proveden podrobný výpočet ohybových momentů vybraného štíhlého sloupu pomocí dvou zjednodušených metod (metoda jmenovité křivosti a jmenovité tuhosti) a obecné numerické metody v softwaru SCIA Engineer 22.0 [27].

Ve třetí části (kapitola 6) byla provedena parametrická studie, která porovnává chování zjednodušených výpočetních metod jmenovité křivosti a jmenovité tuhosti při změně vzpěrné délky řešeného štíhlého sloupu. Na základě výsledků lze konstatovat, že výsledky metod se mohou výrazně lišit. Při stejných vstupních parametrech průřezu a vyztužení sloupu má metoda jmenovité tuhosti návrhové hodnoty ohybových momentů vyšší než u metody jmenovité křivosti. Problém je zapříčiněn malou ohybovou tuhostí výztuže, která má výrazný vliv na velikost vzpěrného břemena N_B . Z hlediska použitelnosti je metoda jmenovité křivosti vhodnější pro použití při výpočtu řešeného sloupu i jeho upravených variant v rámci studie. Tato metoda vykazuje větší shodu výsledných hodnot při jednotlivých způsobech výpočtu. Norma také doporučuje k výpočtu využít spíše metodu jmenovité křivosti, což se v rámci druhé a třetí části práce potvrdilo.

Vypracování bakalářské práce mělo velký osobní přínos, bylo zapotřebí podrobně prostudovat postup výpočtu účinků druhého řádu pomocí uvedených metod, které obsahují velké množství vstupních parametrů. Tyto parametry bylo nutné dopočítat na základě údajů o geometrii konstrukce, použitých materiálech, množství i rozmístění výztuže a hodnotách vnitřních sil při různých kombinacích zatížení. Bylo nutné podrobně pracovat s postupy uvedenými v normě a odborné literatuře.

Seznam zkratek

PP – podzemní podlaží

NP – nadzemní podlaží

f_{cd} – návrhová pevnost betonu v tlaku

f_{ck} – charakteristická pevnost betonu v tlaku

γ_c – součinitel spolehlivosti betonu

E_{cd} – návrhová hodnota modulu pružnosti betonu

E_{cm} – modul pružnosti betonu

γ_{cE} – součinitel spolehlivosti betonu

f_{ctm} – pevnost betonu v tahu

f_{yd} – návrhová pevnost oceli na mezi kluzu

f_{yk} – charakteristická pevnost oceli na mezi kluzu

γ_s – součinitel spolehlivosti oceli

E_s – modul pružnosti oceli

g_k – ostatní stálé zatížení

q_k – užitné zatížení

α – sklon střechy

s – průměrné zatížení sněhem

s_k – charakteristické zatížení sněhem na zemi

μ – tvarový součinitel

C_e – součinitel expozice

C_t – součinitel tepla

λ – ohybová štíhlost

λ_d – vymezuující ohybová štíhlost

L – teoretický rozpon desky

k_{c1} – součinitel tvaru průřezu

k_{c2} – součinitel rozpětí prvku

k_{c3} – součinitel napětí tahové výztuže

ρ – stupeň vyztužení průřezu

\varnothing_s – průměr hlavní výztuže

c – krycí vrstva výstuže

h_d – tloušťka stropní desky

$(g + q)_{x,d}$ – celkové zatížení stropní desky ve směru x

$(g + q)_{y,d}$ – celkové zatížení stropní desky ve směru y

f_d – návrhové plošné zatížení na stropní desku

f_d – plošné zatížení stropní desky

k_x – součinitel momentu pro typ uložení V-V (vetknutí-vetknutí) ve směru x

k_y – součinitel momentu pro typ uložení V-V (vetknutí-vetknutí) ve směru y

L_x – rozpětí desky ve směru x

L_y – rozpětí desky ve směru y

$m_{x,podp,L,Ed}$ – levý podporový ohybový moment desky ve směru x

$m_{x,podp,P,Ed}$ – pravý podporový ohybový moment desky ve směru x

$m_{x,pole,Ed}$ – mezipodporový ohybový moment desky ve směru x

$m_{y,podp,L,Ed}$ – levý podporový ohybový moment desky ve směru y

$m_{y,podp,P,Ed}$ – pravý podporový ohybový moment desky ve směru y

$m_{y,pole,Ed}$ – mezipodporový ohybový moment desky ve směru y

m_{Ed} – návrhový maximální moment v desce

b – šířka průřezu

μ – součinitel μ

ξ – poměrná výška tlačené oblasti

L_t – délka průvlaku nebo trámu

h_t – výška průřezu průvlaku nebo trámu

b_t – šířka průřezu průvlaku nebo trámu

M_{Ed} – návrhový maximální moment v průvlaku

$V_{Rd,max}$ – návrhová hodnota únosnosti

ζ – poměrné rameno vnitřních sil

z – rameno vnitřních sil

$\cot \theta$ – sklon trhlin

V_{Ed} – návrhová maximální posouvající síla na průvlaku

EI – ohybová tuhost průřezu

d_c – průměr průřezu sloupu

r_c – poloměr průřezu sloupu

L_1 – výška sloupu v 1. NP

L_2 – výška sloupu v 2. NP

h_1 – tloušťka stropní desky nad 1. NP v budově B

h_2 – tloušťka střešní desky nad 2. NP v budově B (taneční sál)

$l_{sv,1}$ – světlá výška sloupu v 1. NP

$l_{sv,2}$ – světlá výška sloupu v 2. NP

π – číslo pí

A_c – plocha průřezu sloupu

I – moment setrvačnosti průřezu sloupu

u – délka obvodu průřezu sloupu

d – účinná výška průřezu

\mathcal{Q}_{tr} – průměr třmíneků

n – počet prutu podélné výztuže ve sloupu

$A_{s,1}$ – plocha průřezu jednoho prutu výztuže

A_s – celková plocha výztuže v průřezu

I_s – moment setrvačnosti výztuže vztažený k těžištové ose betonového průřezu

z_s – poloha výztuže od těžiště betonového průřezu

θ_{1176} – pootočení v uzlu N1176

θ_{1166} – pootočení v uzlu N1166

$M_{1176,top}$ – ohybový moment v uzlu N1176

$M_{1166,bot}$ – ohybový moment v uzlu N1166

$k_{1176,1}$ – poměrná ohebnost v uzlu N1176 (pro ztužené prvky)

$k_{1166,2}$ – poměrná ohebnost v uzlu N1166 (pro ztužené prvky)

$l_{0,2.NP}$ – účinná délka sloupu v 2. NP

θ_{1156} – pootočení v uzlu N1156

$M_{1166,top}$ – ohybový moment v uzlu N1166

$M_{1156,bot}$ – ohybový moment v uzlu N1156

$k_{1166,1}$ – poměrná ohebnost v uzlu N1166 (pro ztužené prvky)

$k_{1156,2}$ – poměrná ohebnost v uzlu N1156 (pro ztužené prvky)

$l_{0,1.NP}$ – účinná délka sloupu v 1. NP

- $e_{i,2,NP}$ – výstřednost vyjadřující geometrické imperfekce pro sloup 2. NP
 $N_{1176,Ed,top}$ – návrhová normálová síla v hlavě sloupu 2. NP
 $N_{1166,Ed,bot}$ – návrhová normálová síla v patě sloupu 2. NP
 $e_{1176,top}$ – výstřednost návrhové normálové síly v hlavě sloupu 2. NP
 $e_{1166,bot}$ – výstřednost návrhové normálové síly v patě sloupu 2. NP
 $e_{1176,0,top}$ – výstřednost prvního řádu v hlavě sloupu 2. NP
 $e_{1166,0,bot}$ – výstřednost prvního řádu v hlavě sloupu 2. NP
 $M_{01,2,NP}$ – koncový moment 1. řádu s vlivem imperfekcí v hlavě sloupu 2. NP
 $M_{02,2,NP}$ – koncový moment 1. řádu s vlivem imperfekcí v patě sloupu 2. NP
 $M_{01,2,NP}$ – koncový moment 1. řádu s vlivem imperfekcí v patě sloupu 1. NP
 $M_{02,2,NP}$ – koncový moment 1. řádu s vlivem imperfekcí v hlavě sloupu 1. NP
 $e_{i,1,NP}$ – výstřednost vyjadřující geometrické imperfekce pro sloup 1. NP
 $N_{1166,Ed,top}$ – návrhová normálová síla v hlavě sloupu 1. NP
 $N_{1156,Ed,bot}$ – návrhová normálová síla v patě sloupu 1. NP
 $e_{1166,top}$ – výstřednost návrhové normálové síly v hlavě sloupu 1. NP
 $e_{1156,bot}$ – výstřednost návrhové normálové síly v patě sloupu 1. NP
 $e_{1166,0,top}$ – výstřednost prvního řádu v hlavě sloupu 1. NP
 $e_{1156,0,bot}$ – výstřednost prvního řádu v hlavě sloupu 1. NP
 $\lambda_{2,NP}$ – štíhlost sloupu v 2. NP (pro kruhové průřezy)
 $\varphi_{(\infty,t0)}$ – koneční součinitel dotvarování
 $M_{0Eqp,2,NP}$ – ohybový moment 1. řádu od MSP v sloupu 2. NP
 $M_{0Ed,2,NP}$ – návrhový ohybový moment 1. řádu od MSÚ v sloupu 2. NP
 $\varphi_{ef,2,NP}$ – účinný součinitel dotvarování pro sloup v 2. NP
 $A_{2,NP}$ – součinitel A pro sloup v 2. NP
 ω – mechanický stupeň výztužení
 B – součinitel B
 $r_{m,2,NP}$ – poměr momentů pro sloup v 2. NP
 $C_{2,NP}$ – součinitel C pro sloup v 2. NP
 $N_{Ed,2,NP}$ – návrhová normálová síla v sloupu 2. NP
 $n_{2,NP}$ – poměrná návrhová normálová síla sloupu v 2. NP

$\lambda_{lim,2.NP}$ – limitní štíhlost pro sloup v 2. NP

$M_{0Ed,2.NP}$ – ohybový moment 1. řádu s vlivem imperfekce v sloupu 2. NP

$\lambda_{1.NP}$ – štíhlost sloupu v 1. NP (pro kruhové průřezy)

$M_{0Eqp,1.NP}$ – ohybový moment 1. řádu od MSP v sloupu 1. NP

$M_{0Ed,1.NP}$ – návrhový ohybový moment 1. řádu od MSÚ v sloupu 1. NP

$\varphi_{ef,1.NP}$ – účinný součinitel dotvarování pro sloup v 1. NP

$A_{1.NP}$ – součinitel A pro sloup v 1. NP

$r_{m,1.NP}$ – poměr momentů pro sloup v 1. NP

$C_{1.NP}$ – součinitel C pro sloup v 1. NP

$N_{Ed,1.NP}$ – návrhová normálová síla v sloupu 1. NP

$n_{1.NP}$ – poměrná návrhová normálová síla sloupu v 1. NP

$\lambda_{lim,1.NP}$ – limitní štíhlost pro sloup v 1. NP

$M_{0Ed,1.NP}$ – ohybový moment 1. řádu s vlivem imperfekce v sloupu 1. NP

n_{bal} – hodnota n při maximální momentové únosnosti

$K_{r,2.NP}$ – opravný součinitel závislý na normálové síle pro sloup v 2. NP

$\beta_{jk,2.NP}$ – součinitel β pro sloup v 2. NP

$K_{\varphi,2.NP}$ – součinitel zohledňující účinek dotvarování pro sloup v 2. NP

c – součinitel c

$e_{2,2.NP}$ – excentricita 2. řádu pro sloup v 2. NP

$M_{2,2.NP}$ – ohybový moment od excentricity 2. řádu

$M_{Ed,roz,jk,2.NP}$ – rozhodující návrhový moment v sloupu 2. NP vypočteny pomocí metody jmenovité křivosti

$K_{r,1.NP}$ – opravný součinitel závislý na normálové síle pro sloup v 1. NP

$\beta_{jk,1.NP}$ – součinitel β pro sloup v 1. NP

$K_{\varphi,1.NP}$ – součinitel zohledňující účinek dotvarování pro sloup v 1. NP

$e_{2,1.NP}$ – excentricita 2. řádu pro sloup v 1. NP

$M_{2,1.NP}$ – ohybový moment od excentricity 2. řádu

$M_{Ed,roz,1.NP}$ – rozhodující návrhový moment v sloupu 1. NP vypočteny pomocí metody jmenovité křivosti

$K_{c,2.NP}$ – opravný součinitel zohledňující účinky trhlin a dotvarování betonu pro sloup v 2. NP

$K_{S,2.NP}$ – opravný součinitel zohledňující příspěvek výztuže pro sloup v 2. NP

I_c – moment setrvačnosti betonového průřezu vztahovaný k těžiškové ose

$EI_{2.NP}$ – jmenovitá tuhost pro sloup v 2. NP

$N_{B,2.NP}$ – vzpěrní břemeno na základě jmenovité tuhosti pro sloup v 2. NP

β – součinitel závislý na rozdělení momentů prvního a druhého řádu

$M_{Ed,2.NP}$ – ohybový moment s vlivem 2. řádu v sloupu 2. NP

$M_{Ed,roz,h,jt,2.NP}$ – rozhodující návrhový moment v sloupu 2. NP vypočteny pomocí metody jmenovité tuhosti

$K_{C,1.NP}$ – opravný součinitel zohledňující účinky trhlin a dotvarování betonu pro sloup v 1. NP

$K_{S,1.NP}$ – opravný součinitel zohledňující příspěvek výztuže pro sloup v 1. NP

$EI_{1.NP}$ – jmenovitá tuhost pro sloup v 1. NP

$N_{B,1.NP}$ – vzpěrní břemeno na základě jmenovité tuhosti pro sloup v 2. NP

$M_{Ed,1.NP}$ – ohybový moment s vlivem 2. řádu v sloupu 1. NP

$M_{Ed,roz,h,jt,1.NP}$ – rozhodující návrhový moment v sloupu 1. NP vypočteny pomocí metody jmenovité tuhosti

Použité zdroje

Normy:

- [1] ČSN ISO 2394: *Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí.*
- [2] ČSN EN 1990: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.*
- [3] ČSN EN 1991-1-1: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.*
- [4] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
- [5] ČSN EN 1997-1: *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla.*
- [6] ČSN EN 206+A2: *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.*
- [7] ČSN 73 1201: *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb.*
- [8] ČSN 73 0202: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení.*
- [9] ČSN 73 0210-1: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Podmínky provádění. Část 1: Přesnost osazení.*
- [10] ČSN 73 0212-3: *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty.*
- [11] ČSN EN 13670: *Provádění betonových konstrukcí.*
- [12] ČSN EN 10080: *Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně.*

Odborná literatura:

- [13] HANZLOVÁ, Hana a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí. 2. přepracované vydání.* V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06508-2.
- [14] KOHOUTKOVÁ, Alena. *Betonové konstrukce 1.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3197-7.
- [15] KOHOUTKOVÁ, Alena, Jaroslav PROCHÁZKA a Jitka VAŠKOVÁ. *Navrhování železobetonových konstrukcí: příklady a postupy.* Vydavatelství ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [16] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí 1.* 2. přepracované vydání. Praha: ČBS Servis, 2005. ISBN 80-903-5020-8.

Webové stránky:

[17] HOLICKÝ, Milan. Základní rozměry betonových nosných prvků [online]. 1-15 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z:

<https://docplayer.cz/42760304-Zakladni-rozmary-betonovych-nosnych-prvku.html>

[18] VRATNÝ, Ondřej, Martin TIPKA a Jitka VAŠKOVÁ. *Základní typy betonových konstrukcí pozemních staveb se vzorovými příklady* [online]. In: 2015, s. 1-24 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z:

https://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/granty_soubory/FRVS_2012/zaklad_typ_y_bet_konstr.pdf

[19] KALA, Zdeněk a Jiří KALA. *Složené případy namáhání prutu, stabilita a vzpěrná pevnost tlačených prutů* [online]. 2004 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z:

<https://docplayer.cz/45871436-Vysoke-uceni-technicke-v-brne-fakulta-stavebni-doc-ing-zdenek-kala-ph-d-ing-jiri-kala-ph-d-pruznost-a-pevnost-modul-bd02-m03.html>

[20] TEPLÝ, Břetislav a Zdeněk KALA. *Nástroje spolehlivostní analýzy v aplikaci na navrhování ocelových konstrukcí. Inženýrská mechanika* [online]. 2000, 7(1), 3-13 [cit. 2023-03-16]. ISSN 1210-2717. Dostupné z:

<https://www.fce.vutbr.cz/STM/kala.z/publications/Inzenyrskamechanika2000-1.pdf>

[21] LICHTENBERG, Petr. *Navrhování štíhlých železobetonových sloupů*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Radek Štefan, Ph.D. Dostupné z:

<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/78096>

[22] PÁNEK, Jan. *Citlivostní analýza únosnosti štíhlého železobetonového sloupu*. Praha, 2020. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Josef Novák, Ph.D. Dostupné z:

<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/88436>

[23] PIXA, Marek. *Porovnání metod pro návrh štíhlých železobetonových sloupů*. Praha, 2022. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Martin Tipka, Ph.D. Dostupné z:

<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/102637>

[24] HYNEK, Tomáš. *Štíhlé železobetonové sloupy*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Martin Tipka, Ph.D. Dostupné z:

<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/86396>

Použité programy:

[25] Microsoft Excel, TIPKA, Martin. *Tabulka součinitelů pro návrh ŽB prvků*. 2019-08-27. Dostupné z:

http://people.fsv.cvut.cz/~tipkamar/vyuka_soubory/BK01/pomucky_BK01_soubory/01_soucinitele_ksi,%20dzeta.xls

[26] AutoCAD 2023

[27] Scia Engineer 22.0

[28] Microsoft Excel

[29] Microsoft Word

Seznam obrázků

Obr. 1 Půdorys 2. NP 1:200.....	11
Obr. 2 Půdorys suterénu 1:200.....	12
Obr. 3 Příčný řez 1:200.....	12
Obr. 4 Podélný řez 1:200.....	12
Obr. 5 Konstrukční schéma 1. PP.....	15
Obr. 6 Konstrukční schéma 1. NP.....	15
Obr. 7 Konstrukční schéma 2. NP.....	16
Obr. 8 Konstrukční schéma 2.NP (taneční sál)	16
Obr. 9 Statická schéma stropní desky P5 nad 1. PP budovy A.....	24
Obr. 10 Statická schéma stropní desky P13 nad 1. NP budovy B	27
Obr. 11 Půdorysné schéma průvlastku nad 1. PP budovy A mezi deskami P5 a P6	29
Obr. 12 Půdorysné schéma průvlastku nad 1. NP budovy B mezi deskami P15 a P16	30
Obr. 13 Půdorysné schéma střešního trámu budovy B.....	31
Obr. 14 Půdorysné schéma střešního průvlastku budovy B (taneční sál)	31
Obr. 15 Model rámu 10.....	38
Obr. 16 Průběh posouvajících sil pro střešní průvlast budovy B (taneční sál)...	38
Obr. 17 Průběh ohybových momentu pro střešní průvlast budovy B (taneční sál)	38
Obr. 18 Zobrazení deformace rámu	40
Obr. 19 Jihovýchodní pohled na model objektu.....	41
Obr. 20 Jihozápadní pohled na model objektu	41
Obr. 21 Zobrazení ohybových momentů ve směru x pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A.....	42

Obr. 22 Zobrazení ohybových momentů ve směru y pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A.....	42
Obr. 23 Zobrazení ohybových momentů ve směru x pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B.....	43
Obr. 24 Zobrazení ohybových momentů ve směru y pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B.....	43
Obr. 25 Průběh maximálních posouvajících sil u střešních tramů budovy B (taneční sál).....	44
Obr. 26 Průběh maximálních ohybových momentů u střešních trámů budovy B (taneční sál).....	44
Obr. 27 Architektonické konstrukční schéma 1:500, červeným mnohoúhelníkem je označena překouzlována část v 2. NP budovy B.....	45
Obr. 28 Vizualizace konzoly nad 1. NP budovy B.....	45
Obr. 29 vizualizace konzoly nad 1. NP s štíhlým sloupem G13 v rohu konzoly	46
Obr. 30 Podepření překonzolované části pomocí průvlaků.....	46
Obr. 31 Podepření překonzolované části pomocí náběhů.....	46
Obr. 32 Příčný řez sloupu G13.....	47
Obr. 33 Průběh ohybových momentu sloupu G13 v 2. NP.....	49
Obr. 34 Průběh ohybových momentu sloupu G13 v 1. NP.....	50
Obr. 35 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy.....	60
Obr. 36 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy.....	64
Obr. 37 Deformace sloupu G13 ve směru x a y po 1, 2 a 3 iterací.....	65
Obr. 38 Průběh ohybových momentů sloupu G13 po 1, 2 a 3 iterací.....	65
Obr. 39 Interakční diagram pro sloup G13. Body 2. NP a 1. NP jsou uvnitř ohraničené plochy.....	66

Seznam tabulek

Tab. 1 Skladba stropní desky nad 1. PP	18
Tab. 2 Skladba stropní desky nad 1. NP	18
Tab. 3 Skladba střešní desky budovy A	19
Tab. 4 Skladba střešní desky budovy B	19
Tab. 5 Skladba suterénních stěn	20
Tab. 6 Skladba obvodových stěn.....	20
Tab. 7 Návrh stropní desky 1. PP budovy A na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti	23
Tab. 8 Empirický návrh stropní desky 1. PP budovy A.....	23
Tab. 9 Návrh stropní desky 1. NP budovy B na základě splnění podmínky ohybové štíhlosti	23
Tab. 10 Empirický návrh stropní desky 1. NP budovy B.....	24
Tab. 11 Plošné zatížení stropní desky 1. PP P5 budovy A.....	25
Tab. 12 Plošné zatížení stropní desky 1. NP P13 budovy B.....	27
Tab. 13 Liniové zatížení průvlaku nad 1. PP budovy A mezi deskami P5 a P6	32
Tab. 14 Liniové zatížení průvlaku nad 1. NP budovy B mezi deskami P15 a P16	34
Tab. 15 Liniové zatížení střešního trámu budovy B (taneční sál).....	36
Tab. 16 Porovnání ohybových momentů ve směru x od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A	42
Tab. 17 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P5 nad 1. PP budovy A	42
Tab. 18 Porovnání ohybových momentů ve směru x od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B	43

Tab. 19 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B	43
Tab. 20 Porovnání ohybových momentů ve směru y od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro stropní desku P13 nad 1. NP budovy B	44
Tab. 21 Porovnání ohybových momentů od ručního výpočtu s výstupem z modelu pro střešní trám budovy B	44
Tab. 22 Porovnání štíhlosti sloupu v 2. NP pro různé vzpěrné délky	67
Tab. 23 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité křivosti	67
Tab. 24 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité tuhosti	67
Tab. 25 Porovnání štíhlosti sloupu v 1. NP pro různé vzpěrné délky	68
Tab. 26 Porovnání vlivů 2. pro sloup v 1. NP získaných pomocí metody jmenovité křivosti.....	68
Tab. 27 Porovnání vlivů 2. řádu pro sloup v 2. NP získaných pomocí metody jmenovité tuhosti	68

Přílohy

Příloha 1 – schémata výkresů tvaru jednotlivých podlaží (1:200)

Příloha 2 – výkres výztuže sloupu G13 (1:40)

Příloha 3 – technická zpráva pro statickou část

Příloha 4 – originální architektonické výkresy Kulturního centra, Stodůlky

Příloha 5 – tabulka přemístění uzlů ve směru x, y a z pro obecnou numerickou metodu

Příloha 6 – tabulka pootočení uzlů ve směru x, y a z pro obecnou numerickou metodu