

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
DVOULODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA
TWO-BAY INDUSTRIAL HALL

Úvod

2023

Vypracovala: Kateřina Benešová
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D



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





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

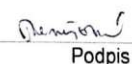
Příjmení: Benešová	Jméno: Kateřina	Osobní číslo: 494243
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Dvoulodní průmyslová hala	
Název bakalářské práce anglicky: Two-bay industrial hall	
Pokyny pro vypracování: Návrh hlavních prvků nosné konstrukce, včetně části zázemí, a vybraných přípojů a detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohled, vybrané detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Břetislav Židlický	
Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23.2.2023	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že tato bakalářská práce s názvem Dvoulodní průmyslová hala je výsledkem mého vlastního studia a práce s použitím uvedených zdrojů a literatury a to v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Práce je vypracovaná pod odborným vedením.

Kateřina Benešová



Poděkování:

Ráda bych poděkovala panu Ing. Břetislavovi Židlickému, Ph.D za vstřícný přístup, pomoc a poskytnuté materiály k vypracování této práce



Anotace:

Cílem této práce je návrh a posouzení hlavní nosné konstrukce dvoulodní průmyslové ocelové haly, včetně části zázemí a vybraných přípojů a detailů.

Hala je obdélníkového tvaru o půdorysných rozměrech 32x55 m, kdy rozpětí jedné lodi je 16 m. Objekt má dvě sedlové střechy o sklonu 15°, které mají společné úžlabí. Výška haly je 11m. Hlavní nosnou konstrukci tvoří ocelový rám. Sloupy a příčle v rámu tvoří průřezy IPE. Čelní sloupy tvoří průřezy HEA. Zázemí má dvě nadzemní podlaží, nachází se u čela haly. Strop v zázemí ve výšce 4,5 m nad prvním nadzemním podlažím je tvořen spřaženými ocelobetonovými nosníky a ocelovými nosníky o průřezech IPE. Prostorou tuhost zajišťují střešní, stěnová a vodorovná ztužidla.

Klíčová slova:

Dvoulodní průmyslová hala, rám, ocel, sloup, příčle, ocelobetonový nosník, nosník, Dlubal software, RFEM6, LTBeam

Annotation:

The aim of this work is the design and assessment of the main load-bearing structure of a two-bay industrial steel hall, including the ancillary area and selected connections and details.

The hall has a rectangular shape with floor dimensions of 32x55 meters, with a span of 16 meters for each aisle. The building features two gable roofs about slope 15° with a common ridge. The height of the hall is 11 meters. The main load-bearing structure consists of a steel frame. The columns and beams in the frame are IPE sections. The front columns are HEA sections. The ancillary area has two above-ground floors, located at the front of the hall. The ceiling in the ancillary area, 4.5 meters above the first above-ground floor, is composed of composite steel-concrete beams and steel beams with IPE sections. Structural rigidity is ensured by roof, wall, and horizontal bracings.

Keywords:

Two-aisle industrial hall, frame, steel, column, beam, composite steel-concrete beam, girder, Dlubal software, RFEM, LTBeam

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
DVOULODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA
TWO-BAY INDUSTRIAL HALL

Technická zpráva

2023

Vypracovala: Kateřina Benešová
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D



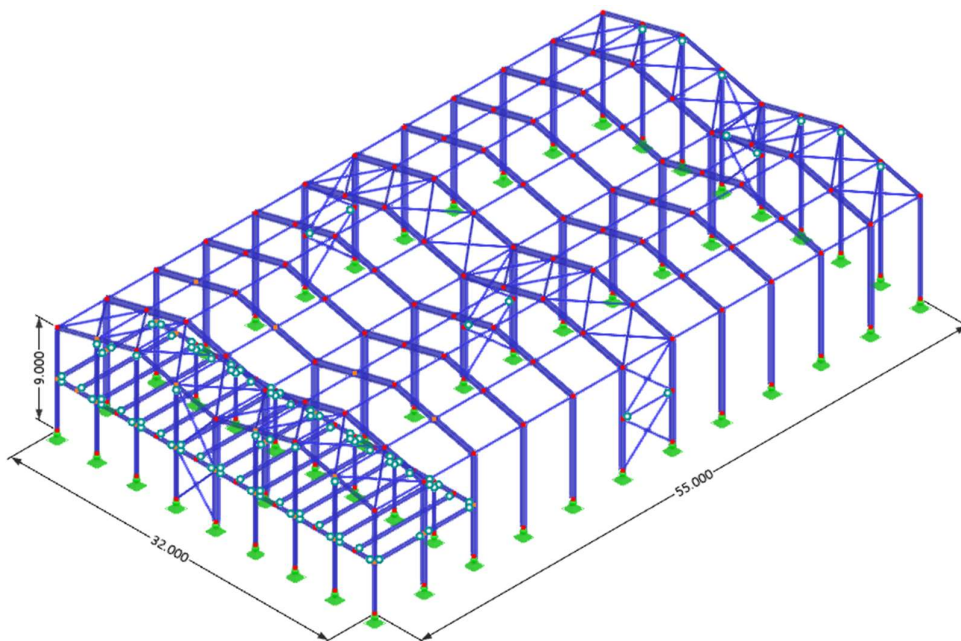
Obsah

1	Popis budovy	2
2	Konstrukční materiály.....	2
3	Popis konstrukce	2
3.1	Základy.....	2
3.2	Sloupy	3
3.3	Příčle	3
3.4	Nosníky	3
3.5	Ztužidla	3
3.6	Vaznice a paždíky.....	3
4	Zatížení	3
4.1	Zatížení sněhem.....	3
4.2	Zatížení větrem.....	4
5	Výroba ocelových konstrukcí.....	4
6	Antikorozní a protipožární ochrana konstrukce.....	4
7	Závěr	4



1 Popis budovy

Jedná se o dvoulodní průmyslovou halu, která má obdélníkový tvar o půdorysných rozměrech 32x55 m. Rozpětí jedné lodi je 16 m. Objekt má dvě sedlové střechy, které mají společné úžlabí. Výška haly je 11m. Část dvoupodlažního zázemí se nachází v přední části haly a zasahuje přes dvě pole. Druhé podlaží zázemí je ve výšce 4,5 m. Průmyslová část haly nemá druhé podlaží, je na celou výšku objektu. Budova se bude nacházet v Rudné u Prahy.



2 Konstrukční materiály

Ocel:	S355	pro hlavní ocelové prvky
	S350GD	pro vaznice a paždíky
Šrouby:	8.8	
Beton:	C25/30	

3 Popis konstrukce

3.1 Základy

Svislá konstrukce je založena na kloubových betonových patkách. Patky jsou z prostého betonu C25/30 a jsou navrženy o různých rozměrech dle výpočtu. Výška patek je navržena tak, aby základová spára byla v nezámrazné hloubce. Tloušťka podlití je 50 mm a tloušťka patního plechu je 30 mm. Kotvy jsou navrženy jako M24 a smyková zarážka jako HEB 100.



3.2 Sloupy

Sloupy v hlavní rámové vazbě jsou navrženy z profilů IPE o různých velikostech průřezů a výšce 9 m. Čelní a rohové sloupy jsou z profilů HEA a o 90° otočené oproti sloupům v hlavní rámové vazbě, kvůli snadnému uchycení stěnového pláště. Sloupy čelní a rohové mají výšku 9-11 m

3.3 Příčle

Příčle v hlavní rámové vazbě jsou navrženy z profilů IPE 450. Délka rozponu jedné příčle je 16,5 m. Sloupy a příčle jsou spojeny rámovým rohem, kde jsou šrouby 12xM20 8.8 v každém rámovém rohu. Příčle mají klon 15°, vrchol příčle je ve výšce 11 m.

3.4 Nosníky

Nosníky jsou navrženy jako strop nad prvním nadzemním podlažím v zázemí, jsou ve výšce 4,5 m. Nosníky kolmo na rámovou vazbu jsou navrženy jako spřažené ocelobetonové nosníky o průřezu IPE 270. Mají délku 10 m a jsou šroubově spojené se sloupy a nosníky kolmo na ně.

Nosníky vodorovné s rámovou vazbou mají průřez IPE 270. Jsou dlouhé 4 m a jsou spojené šroubovým spojem s čelními a rohovými sloupy.

3.5 Ztužidla

V objektu se nachází tři typy ztužidel, která slouží k prostorovému ztužení haly. Všechny ztužidla jsou navržena kruhovými trubkami. Střešní ztužidla mají průřez CHS 60x5, stěnová ztužidla CHS 76x5 a vodorovná ztužidla 82,5x8. Ztužidla jsou s rámovou vazbou spojeny šroubovým spojem, kde jsou šrouby 2x16M 8.8 a spojovací plech má tloušťku 6 mm.

3.6 Vaznice a paždíky

Vaznice jsou navrženy jako tenkostěnné profily Z 210-S. Krajní vaznice mají tloušťku profilu 2,5 mm a vaznice v poli mají tloušťku 2,0 mm. Vzdálenost mezi vaznicemi jsou 2 m.

Paždíky jsou navrženy jako tenkostěnné profily C 210-S/1,5. Vzdálenost mezi paždíky jsou 2 m.

4 Zatížení

Zatížení je navrženo podle platných norem pro Českou republiku. Klimatické zatížení je navrženo podle umístění stavby.

4.1 Zatížení sněhem

Umístění haly: Česká republika, Rudná u Prahy. Sněhová oblast 1 a charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi je $s_k = 0,75$ kPa



4.2 Zatížení větrem

Větrná oblast II, kde rychlost větru je $v_{b,0} = v_b = 25,0$ m/s a základní tlak větru je $q_b = 0,39$ kPa.
Kategorie terénu III.

5 Výroba ocelových konstrukcí

Ocelové konstrukce je z hlediska výroby zařazena do třídy provedení EXC2 dle ČSN EN 1090.

6 Antikorozní a protipožární ochrana konstrukce

Konstrukce bude před nátěry upravena tak aby dosáhla požadované drsnosti a poté opatřena nátěry požadovaných norem. Předpokládaná životnost > 15 let.

Konkrétní nátěrový systém není v této práci řešen. Předpoklad aplikace nátěrového systému v dílně, montážní spoje na stavbě.

7 Závěr

Veškeré konstrukce musí splňovat platné české zákony, normy, hygienické předpisy a nařízení. Před uvedením do provozu je nutno vypracovat předpis pro kontrolu a údržbu a provozní řád.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
DVOULODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA
TWO-BAY INDUSTRIAL HALL

Statický výpočet

2023

Vypracovala: Kateřina Benešová
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D



Obsah

1	Zadání - dvoulodní hala	4
1.1	Dispozice dvoulodní haly	4
2	Zatížení	5
2.1	Proměnné zatížení	5
2.1.1	Zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3 ed. 2	5
2.1.2	Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2	6
2.2	Stálé zatížení	15
2.2.1	Střešní plášť	15
2.2.2	Strop v administrativě	16
2.3	Užitné zatížení	16
3	Vaznice a paždíky	16
3.1	Návrh vaznice	16
3.2	Návrh paždíků	18
4	Zatěžovací stavy a kombinace zatížení – ČSN EN 1990 ed. 2	19
4.1	Zatěžovací stavy	19
4.2	Kombinace zatížení	22
4.2.1	Kombinace zatížení MSÚ	22
4.2.2	Kombinace zatížení MSP	23
5	Návrh 3D modelu ve výpočtovém programu DLUBAL RFEM 6	24
6	Posouzení nosníků (+4,500 m)	25
6.1	Ocelobetonový spřažený nosník (+4,500 m)	25
6.1.1	Návrh průřezu	26
6.1.2	MSP	26
6.1.3	MSÚ	28
6.2	Nosník (+4,500 m)	30
6.2.1	Návrh průřezu	30
6.2.2	MSP	31
6.2.3	MSÚ	31
7	Posouzení sloupů	33
7.1	Sloupy S1	33
7.1.1	Návrh průřezu	33
7.1.2	MSP	34
7.1.3	MSÚ	35
7.2	Sloupy S2	38
7.2.1	Návrh průřezu	38
7.2.2	MSP	39



7.2.3	MSÚ	40
7.3	Sloupy S3	43
7.3.1	Návrh průřezu.....	43
7.3.2	MSP.....	44
7.3.3	MSÚ	45
7.4	Sloupy S4	49
7.4.1	Návrh průřezu.....	49
7.4.2	MSP.....	50
7.4.3	MSÚ	51
7.5	Sloupy S5	54
7.5.1	Návrh průřezu.....	54
7.5.2	MSP.....	55
7.5.3	MSÚ	56
7.6	Sloupy S6	59
7.6.1	Návrh průřezu.....	59
7.6.2	MSP.....	60
7.6.3	MSÚ	61
7.7	Sloupy S7	64
7.7.1	Návrh průřezu.....	64
7.7.2	Tlačený sloup	65
8	Příčle	67
8.1	Příčle P1	67
8.1.1	Návrh průřezu.....	67
8.1.2	MSP.....	68
8.1.3	MSÚ	68
8.2	Příčel P2	72
9	Návrh rámového rohu	73
9.1	Rámový roh R1	73
9.1.1	Návrh koutových svarů.....	74
9.1.2	Návrh šroubů	74
9.1.3	Únosnost řad šroubů v tahu	75
9.1.4	Únosnost řad šroubů ve smyku	81
9.1.5	Únosnost pásnice příčle v tlaku	82
9.1.6	Únosnost stěny sloupu ve smyku	83
9.1.7	Rozdělení sil a momentová podmínka	83
9.2	Rámový roh R2	84
9.2.1	Návrh koutových svarů.....	85
9.2.2	Návrh šroubů	85



9.2.3	Únosnost řad šroubů v tahu	85
9.2.4	Únosnost řad šroubů ve smyku	92
9.2.5	Únosnost pásnice příčle v tlaku	93
9.2.6	Únosnost stěny sloupu ve smyku	93
9.2.7	Rozdělení sil a momentová podmínka	94
10	Kloubové patky	95
10.1	Kloubová patka pod sloupem S1	95
10.1.1	Návrh betonového základu	95
10.2	Kloubová patka pod sloupem S6	96
10.2.1	Návrh betonového základu	96
11	Návrh ztužidel	97
11.1	Střešní ztužidla	97
11.1.1	Návrh průřezu	98
11.1.2	Tlačená diagonála	98
11.1.3	Návrh šroubového přípoje	99
11.1.4	Návrh svaru	100
11.2	Stěnová ztužidla	100
11.2.1	Návrh průřezu	100
11.2.2	Tlačená diagonála	101
11.2.3	Návrh šroubového přípoje	102
11.2.4	Návrh svaru	102
11.3	Vodorovná ztužidla	103
11.3.1	Návrh průřezu	103
11.3.2	Tlačená diagonála	103
11.3.3	Návrh šroubového přípoje	104
11.3.4	Návrh svaru	105
12	Zdroje	106
13	Přílohy	106



1 Zadání - dvoulodní hala

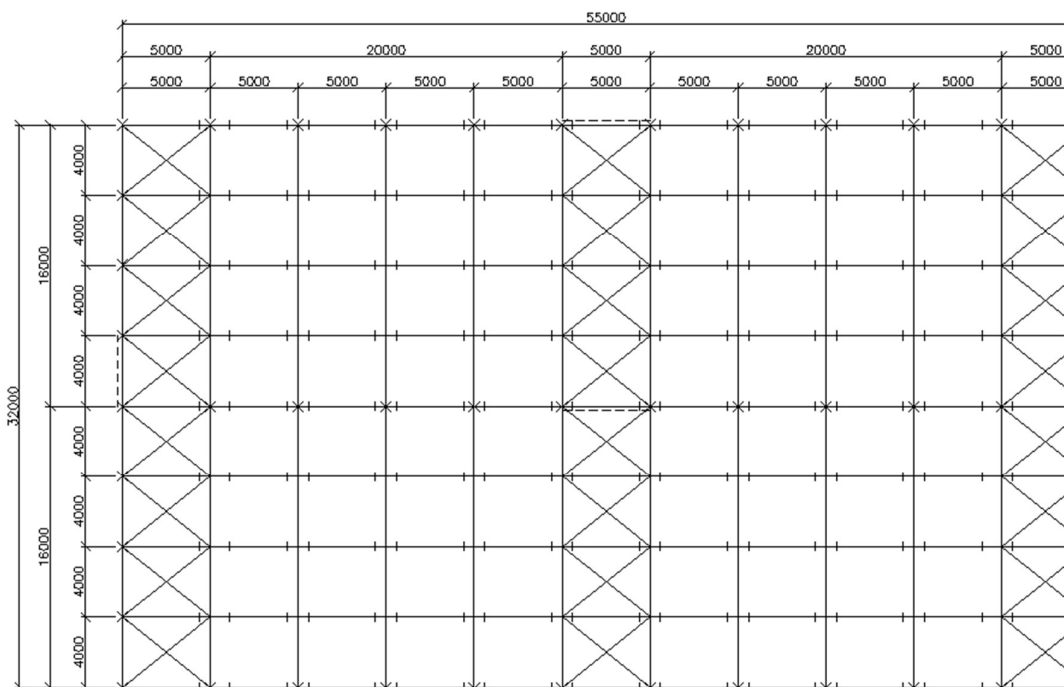
- Umístění dvoulodní průmyslové haly: Česká republika, Rudná u Prahy
- Materiál: vaznice S350GD
paždíky S350GD
ostatní S355
- Třída provedení: EXC2

1.1 Dispozice dvoulodní haly

- Půdorysné rozměry:
délka: 55,0 m
šířka: 32,0 m
délka rozpětí jedné lodi: 16,0 m
- Výška haly k hřebenu: 11,0 m
- Výška haly k okapu: 9,0 m
- Sklon střech: 15°

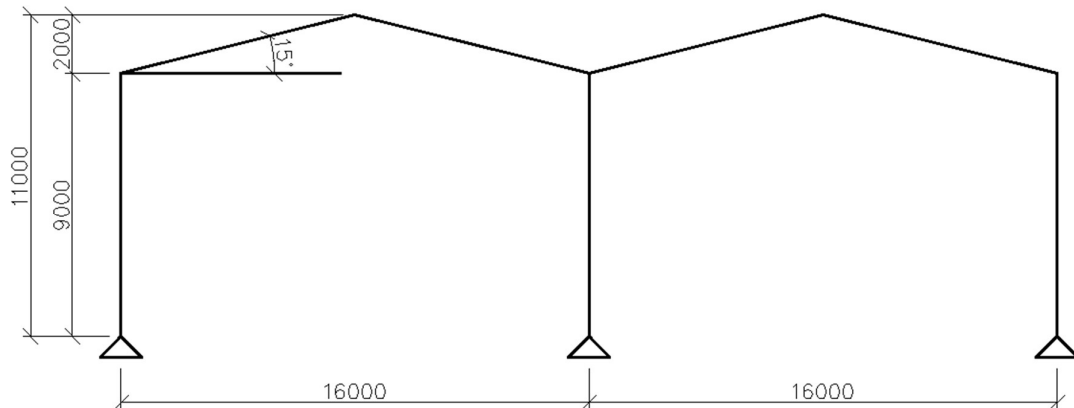
Tyto rozměry jsou použity ve výpočtech dvoulodní průmyslové haly.

Půdorys

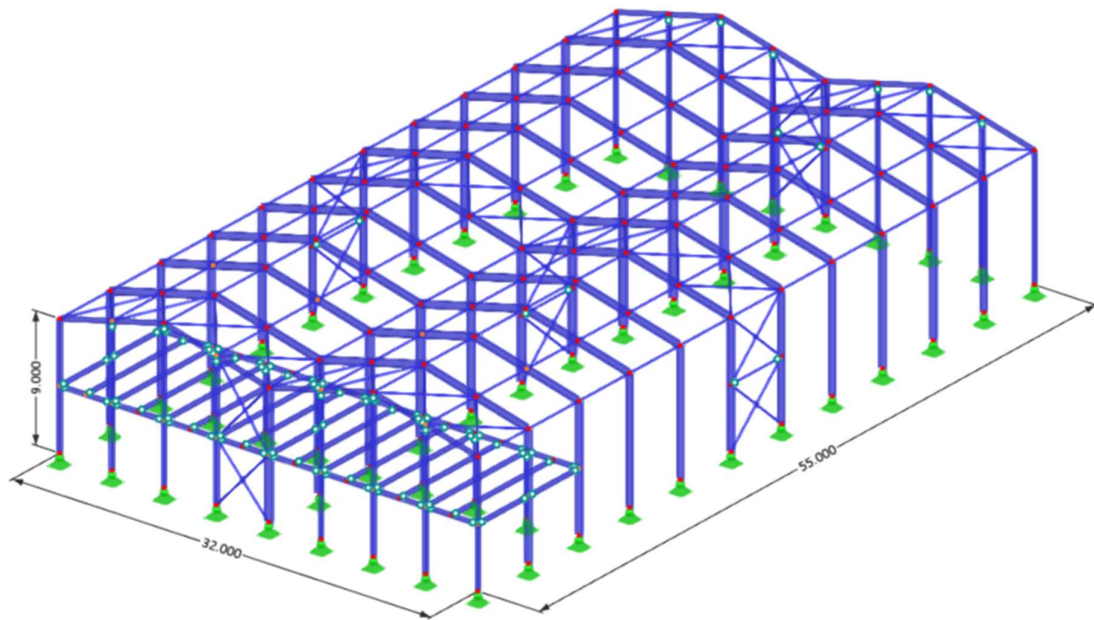




Statické schéma



3D model z programu DLUBAL RFEM 6



2 Zatížení

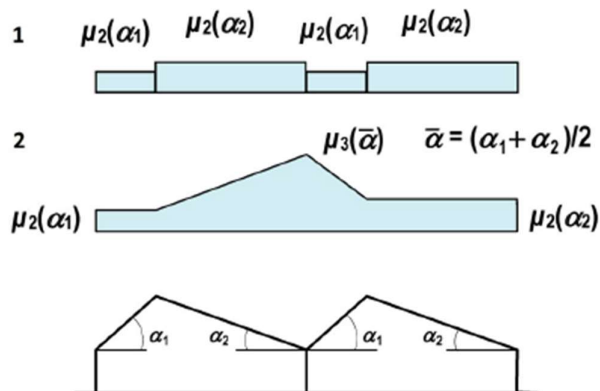
2.1 Proměnné zatížení

2.1.1 Zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3 ed. 2

- Umístění dvoulodní průmyslové haly: Česká republika, Rudná u Prahy
- Sněhová oblast 1 → charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi $s_k = 0,75$ kPa
 - součinitel expozice $C_e = 1,0$
 - normální typ krajiny: plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům
 - tepelný součinitel $C_t = 1,0$



- tvarový součinitel μ_i – střechy vícelodních budov



– sklon střechy $\alpha_{1,2} = 15^\circ$

$$\mu_2 = 0,8$$

$$\mu_3 = 0,8 + 0,8\alpha/30 = 0,8 + 0,8 \cdot 15/30 = 1,2$$

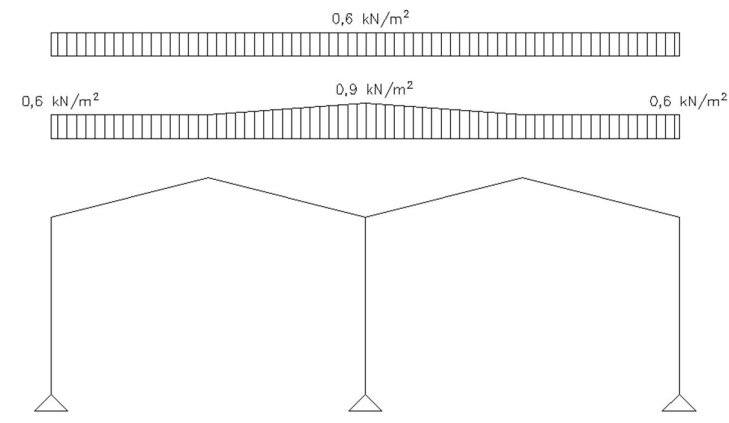
- Zatížení sněhem

$$s_i = \mu_i C_e C_t S_k \text{ [kPa]}$$

Úhel sklonu střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_n(\alpha)$	$\mu_n(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_n(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_e(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_s(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	–

$$s_2 = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = \underline{0,6 \text{ kPa}}$$

$$s_3 = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = \underline{0,9 \text{ kPa}}$$

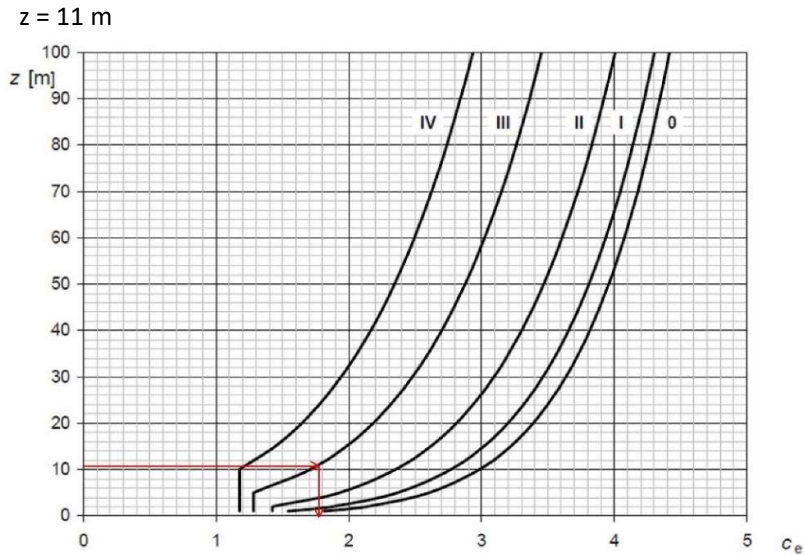


2.1.2 Zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2

- Umístění dvoulodní průmyslové haly: Česká republika, Rudná u Prahy
- Větrná oblast II:
 - rychlost větru $v_{b,0} = v_b = 25,0 \text{ m/s}$



- základní tlak větru $q_b = 0,39$ kPa
- Kategorie terénu III:
 - maximální dynamický tlak – počítám zjednodušeně kvůli jednoduchému tvaru objektu



$$C_{e(z)} = 1,76$$

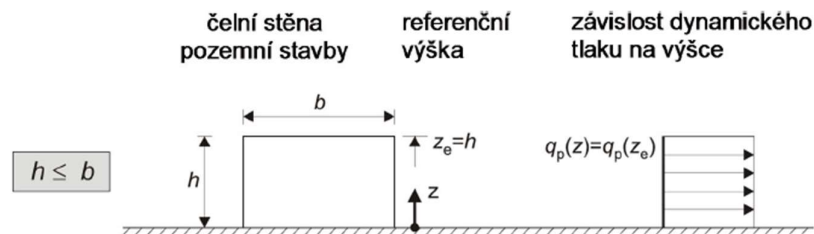
$$q_p = C_{e(z)} q_{b(z)} = 1,76 * 0,39 = 0,67 \text{ kPa}$$

- Tlak větru na vnější povrch: Návětrné plochy jsou větší než 10 m^2 → součinitel vnějšího tlaku $C_{pe,10}$

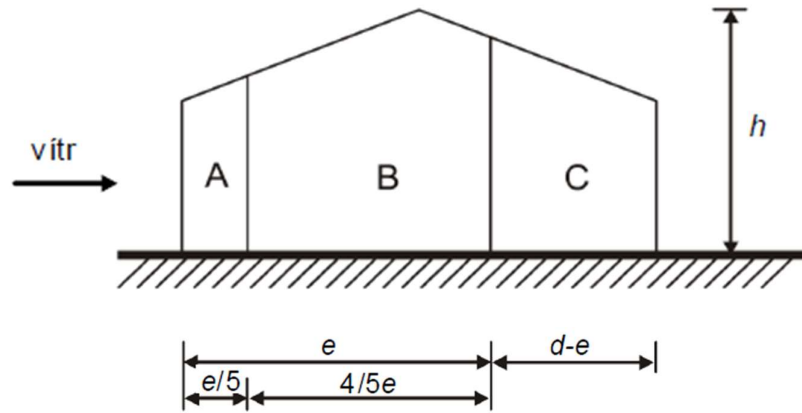
2.1.2.1 Zatížení větrem pro svislé stěny

Závislost dynamického tlaku na výšce objektu

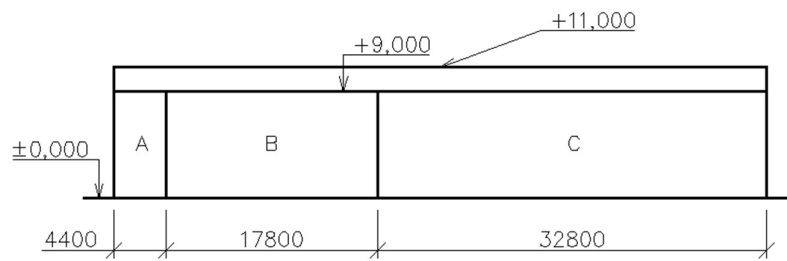
výška objektu $h = 11,0$



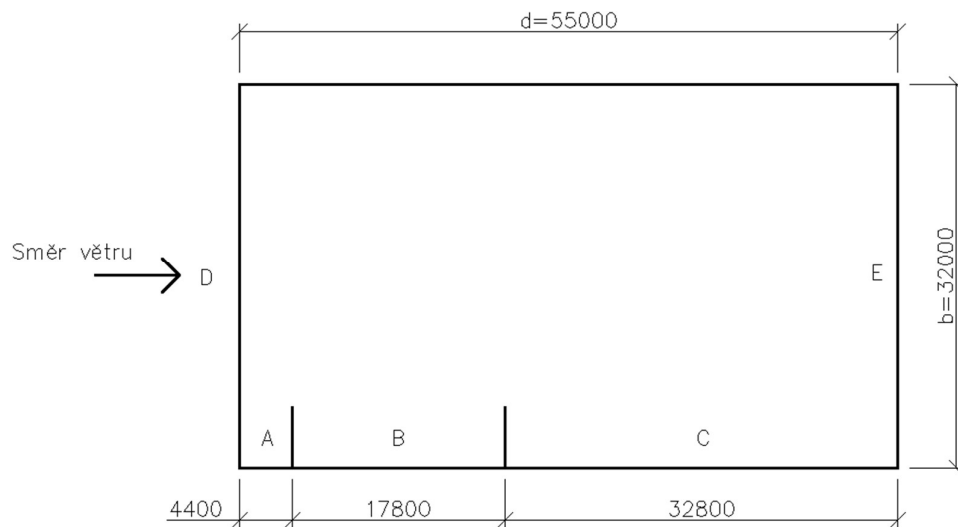
- Podélný vítr:
 - výška objektu $h = 11,0$
 - rozměr kolmý na směr větru $b = 32$ m
 - rozměr vodorovný se směrem větru $d = 55$ m
 - $e = \min(b; 2h) = \min(32,0; 22,0) = 22,0$ m
 - Pohled pro $d > e$
 $d = 55 \text{ m} > e = 22 \text{ m}$



Pohledy na řešený objekt:
Pohled na stěnu:



Pohled shora:





Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravouhlym půdorysem

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

$$h/d = 11,0/55,0 = 0,20$$

A: $C_{pe,10} = -1,2$

B: $C_{pe,10} = -0,8$

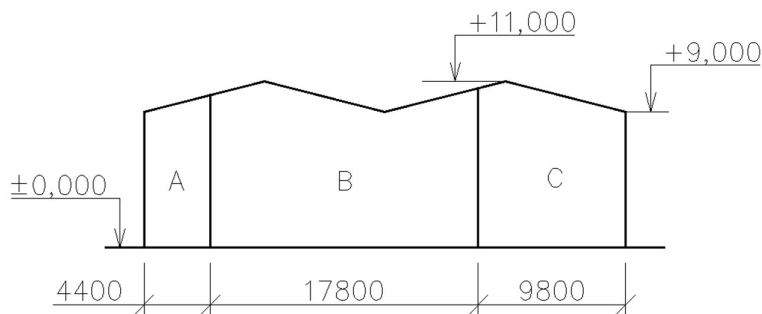
C: $C_{pe,10} = -0,5$

D: $C_{pe,10} = 0,7$

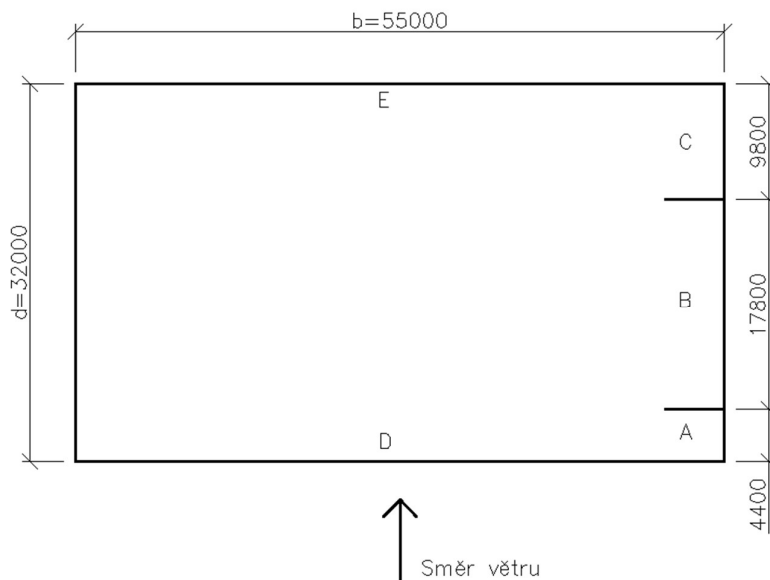
E: $C_{pe,10} = -0,3$

- Podélný vítr:
 - výška objektu $h = 11,0$
 - rozměr kolmý na směr větru $b = 55$ m
 - rozměr vodorovný se směrem větru $d = 32$ m
 - $e = \min(b; 2h) = \min(55,0; 22,0) = 22,0$ m
 - Pohled pro $d > e$

Pohled na stěnu:



Pohled shora:



Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

$$d = 32 \text{ m} > e = 22 \text{ m}$$

$$h/d = 11,0/32,0 = 0,34$$

Pomocí interpolace:

A: $C_{pe,10} = -1,2$

B: $C_{pe,10} = -0,872$

C: $C_{pe,10} = -0,5$

D: $C_{pe,10} = 0,712$

E: $C_{pe,10} = -0,324$

2.1.2.2 Zatížení větrem na střechu

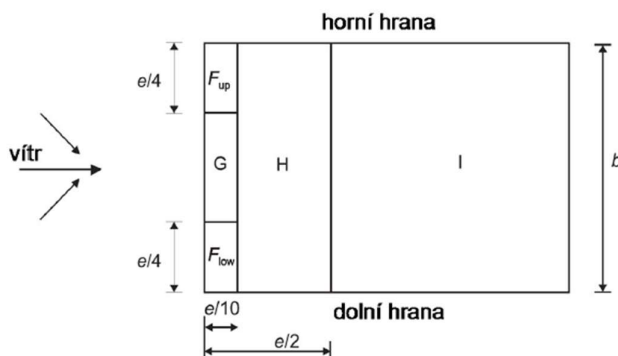
- Podélný vítr:

Při řešení podélného směru větru, uvažují krajní části jako pultovou střechu a vnitřní část jako střechu sedlovou s úžlabím.

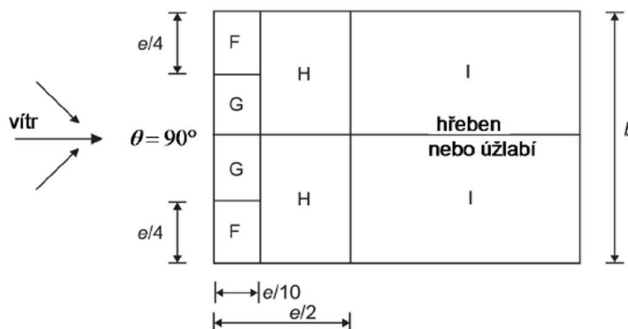
- úhel sklonu střechy $\alpha = \pm 15^\circ$
- výška objektu $h = 11,0$
- rozměr kolmý na směr větru $b = 32 \text{ m}$
- rozměr vodorovný se směrem větru $d = 55 \text{ m}$
- $e = \min(b; 2h) = \min(32,0; 22,0) = 22,0 \text{ m}$



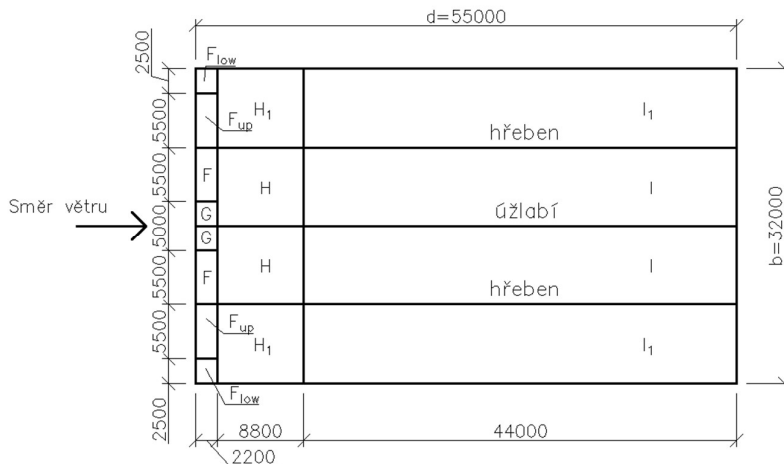
Pultová střecha:



Sedlová střecha:



Pohled na střechu:



- Na krajních částech střechy, které jsou řešené jako pultová střecha, se neobjeví oblast G a oblasti F_{low} a F_{up} se překrývají. Jako větší z těchto oblastí budu uvažovat tu, která má větší součinitel vnějšího tlaku.

$$F_{low}: C_{pe,10} = -1,6$$

$$F_{up}: C_{pe,10} = -2,4$$

$$H_1: C_{pe,10} = -0,8$$



I₁: C_{pe,10} = -0,7

F: C_{pe,10} = -1,9

Tabulka 7.3b – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro pultové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$									
	F _{up}		F _{low}		G		H		I	
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2

G: C_{pe,10} = -1,2

H: C_{pe,10} = -0,8

I: C_{pe,10} = -0,8

Tabulka 7.4b – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy

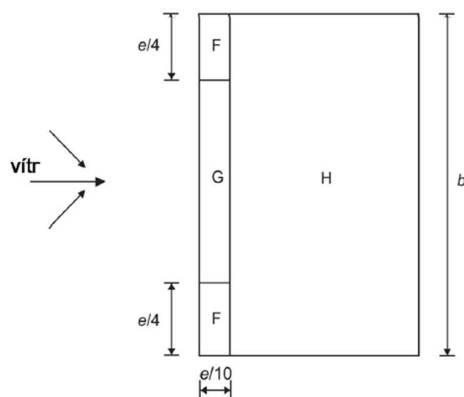
Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2

• **Příčný vítr:**

Při řešení příčného směru větru, uvažují krajní části jako pultovou střechu a vnitřní část jako střechu sedlovou s úžlabím.

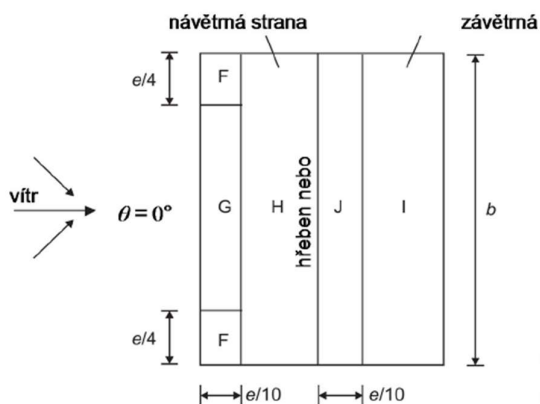
- úhel sklonu střechy $\alpha = \pm 15^\circ$
- výška objektu $h = 11,0$
- rozměr kolmý na směr větru $b = 55$ m
- rozměr vodorovný se směrem větru $d = 32$ m
- $e = \min(b; 2h) = \min(55,0; 22,0) = 22,0$ m

Pultová střecha:

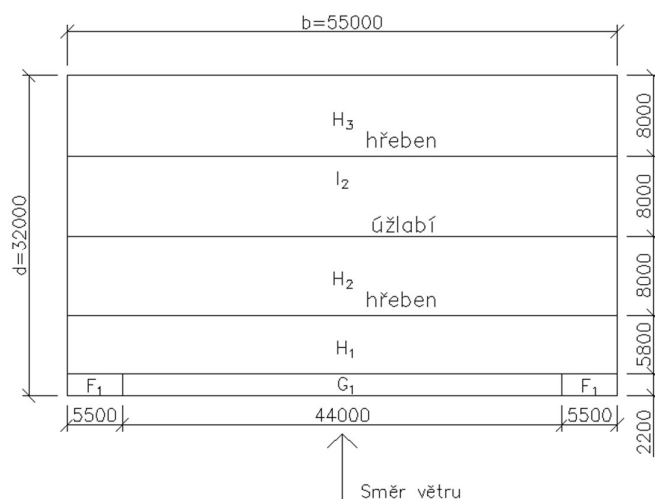




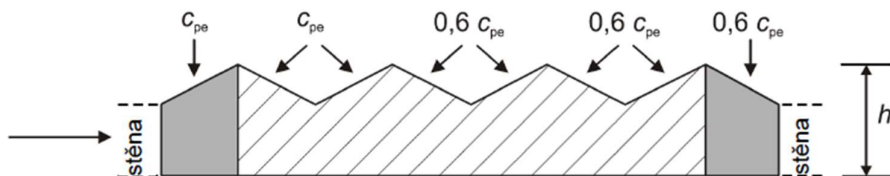
Sedlová střecha:



Pohled na střechu:



- Na krajních částech střechy, které jsou řešené jako sedlová střecha, se neobjeví oblasti G a F.



Tabulka 7.3a – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro pultové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$						Oblast pro směr větru $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5		-0,3	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							



$$\begin{aligned}
 F_1: & C_{pe,10} = -0,9 \\
 & C_{pe,10} = 0,2 \\
 G_1: & C_{pe,10} = -0,8 \\
 & C_{pe,10} = 0,2 \\
 H_1: & C_{pe,10} = -0,3 \\
 & C_{pe,10} = 0,2 \\
 H_3: & C_{pe,10} = -0,3 * 0,6 = -0,18
 \end{aligned}$$

Tabulka 7.4a – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2

$$\begin{aligned}
 H_2: & C_{pe,10} = -0,9 \\
 I_2: & C_{pe,10} = -0,5
 \end{aligned}$$

• Zatížení větrem

Oblast	Podélný vítr	
	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	-0,824
B	-0,8	-0,549
C	-0,5	-0,343
D	0,7	0,480
E	-0,3	-0,206
F_{low}	-1,6	-1,098
F_{up}	-2,4	-1,647
H_1	-0,8	-0,549
I_1	-0,7	-0,480
F	-1,9	-1,304
G	-1,2	-0,824
H	-0,8	-0,549
I	-0,8	-0,549

MAX = -1,647 kN/m²

Oblast	Příčný vítr	
	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	-0,824
B	-0,872	-0,599
C	-0,5	-0,343
D	0,712	0,489
E	-0,324	-0,222
F_1 :	-0,9	-0,618
	0,2	0,137
G_1 :	-0,8	-0,549
	0,2	0,137
H_1 :	-0,3	-0,206
	0,2	0,137
H_2 :	-0,9	-0,618
I_2 :	-0,5	-0,343
H_3 :	-0,18	-0,124

MAX = -0,824 kN/m²



2.2 Stálé zatížení

2.2.1 Střešní plášť

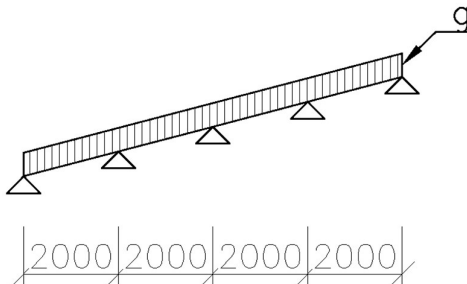
- Sendvičový střešní panel: Kingspan KS1000 FF, tloušťka 200 mm $g = 0,343 \text{ kN/m}^2$

Svislé zatížení

Zatížení	Char. z.	γ	Návrh. z.
	[kN/m ²]		[kN/m ²]
• Sníh	0,9	1,5	1,350
Σ	0,9		1,350

Sání větru

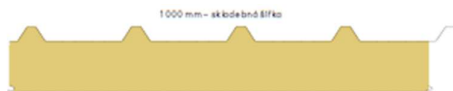
Zatížení	Char. z.	γ	Návrh. z.
	[kN/m ²]		[kN/m ²]
• Vítr	-1,647	1,5	-2,471
Σ	-1,647		-2,471



- Posouzení sendvičového panelu
 - TLAK: z tabulek výrobce: $q_{RK} = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Střešní panel KS1000 FF 200

plech vnější/vnitřní: 0,6/0,5 mm
profilace vnější/vnitřní: trapéz 34 mm/Q (minibox)
S280GD podle ČSN EN 14509
platí pro panely FF dodávané z závodu v Lipsku – Kingspan Polsko



		TLAK																				
systém	barevná skupina	charakteristické průměrné zatížení sněhem [kN/m ²]																				
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
prostý nosník	I, II, III	40	41	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
		8,49	6,88	5,86	4,79	4,07	3,55	3,15	2,84	2,60	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
spojitý nosník o 2 polích	I, II	40	40	45	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
		5,51	5,51	5,51	4,79	4,06	3,54	3,15	2,84	2,59	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
	III	40	40	40	40	40	40	40	45	53	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29		
spojitý nosník o 3 polích	I, II, III	40	41	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
		6,94	6,87	5,87	4,79	4,06	3,54	3,15	2,84	2,59	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	

$$q_{EK} = 0,9 \text{ kN/m}^2 < q_{RK} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

-> VYHOVUJE



- SÁNÍ:
z tabulek výrobce: $q_{RK} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

sÁNÍ		charakteristické proměnné zatížení sání větru [kN/m ²]																			
systém	barevná skupina	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
prostý nosník	I, II, III	11,03	11,03	8,91	7,36	6,41	5,76	4,99	4,33	3,63	3,44	3,12	2,87	2,65	2,47	2,32	2,18	2,06	1,96	1,86	1,78
	spojitý nosník o 2 polích	I	5,50	5,50	5,14	3,66	2,95	2,52	2,23	2,01	1,84	1,71	1,59	1,50	1,41	1,34	1,28	1,22	1,17	1,12	1,08
spojitý nosník o 3 polích	II	5,50	5,50	3,11	2,54	2,25	2,06	1,91	1,79	1,67	1,56	1,46	1,38	1,31	1,25	1,20	1,14	1,10	1,06	1,02	0,99
	III	2,11	1,91	1,77	1,64	1,57	1,50	1,44	1,38	1,33	1,28	1,24	1,21	1,17	1,14	1,09	1,05	1,01	0,98	0,95	0,92
spojitý nosník o 3 polích	I	6,92	6,92	6,68	4,60	3,56	2,95	2,54	2,25	2,03	1,86	1,72	1,61	1,51	1,43	1,36	1,30	1,24	1,19	1,14	1,10
	II	6,92	6,92	5,95	4,06	3,15	2,63	2,28	2,04	1,85	1,70	1,59	1,49	1,41	1,34	1,27	1,22	1,17	1,12	1,09	1,05
	III	6,92	6,92	3,30	2,32	2,00	1,82	1,68	1,58	1,50	1,43	1,37	1,32	1,27	1,21	1,16	1,12	1,08	1,04	1,01	0,98

$$|q_{Ek}| = 1,647 \text{ kN/m}^2 < q_{RK} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

2.2.2 Strop v administrativě

- Železobetonová deska vybetonovaná do trapézového plechu, podepřená během montáže

Stálé zatížení

Zatížení	Char. z.	γ	Návrh. z.
	[kN/m ²]		[kN/m ²]
• Beton (25*h _{ST})	2,92	1,35	3,945
• TR 50/250/1,0	0,9	1,35	1,215
Σ	3,8		5,160

tl. betonu: 100 mm
h_{st} = 116,9 mm

2.3 Užité zatížení

- Užité zatížení stropu v administrativě: kategorie B (kancelářské plochy)
 $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

3 Vaznice a pažďíky

3.1 Návrh vaznice

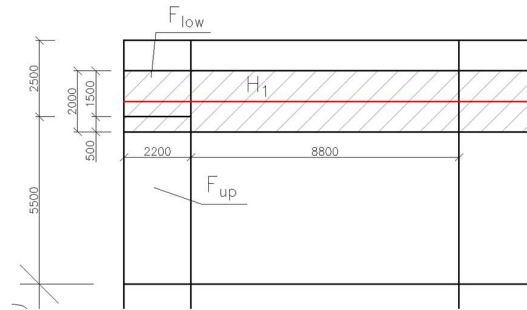
- Tenkostěnná vaznice tvaru Z: Krajní vaznice – Z 210/2,5-S
Vaznice v poli – Z 210/2,0-S

Svislé zatížení

Zatížení	Zatěžovací šířka [m]	Char. z.	γ	Návrh. z.
		[kN/m]		[kN/m]
• Stálé	2	0,686	1,35	0,926
• Vaznice	-	1,06	1,35	1,431
• Sníh	2	1,8	1,5	2,700
Σ		3,546		5,057



• Podélný vítr



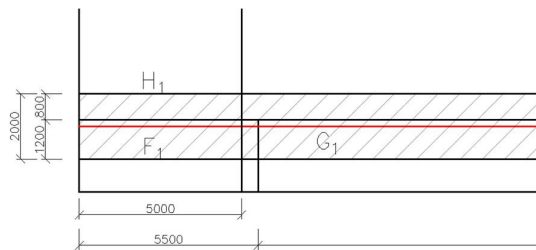
- F_{low} : zatěžovací plocha: $1,5 * 2,2 = 3,3 \text{ m}^2$
 $w_e = -1,098 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $3,3 * -1,098 = -3,62 \text{ kN}$
- F_{up} : zatěžovací plocha: $0,5 * 2,2 = 1,1 \text{ m}^2$
 $w_e = -1,647 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $1,1 * -1,674 = -1,81 \text{ kN}$
- $H1$: zatěžovací plocha: $2 * 8,8 = 17,6 \text{ m}^2$
 $w_e = -0,549 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $17,6 * -0,549 = -9,665 \text{ kN}$

$$\sum w_e = (-3,62) + (-1,81) + (-9,665) = -15,101 \text{ kN}$$

$$L_{pole} = 5 \text{ m}$$

$$q_k = w_e / L_{pole} = -15,101 / 5 = -3,020 \text{ kN/m}$$

• Příčný vítr



- F_1 : zatěžovací plocha: $1,2 * 5 = 6 \text{ m}^2$
 $w_e = -0,618 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $6 * -0,618 = -3,71 \text{ kN}$
- $H1$: zatěžovací plocha: $0,8 * 5 = 4 \text{ m}^2$
 $w_e = -0,206 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $4 * -0,206 = -0,82 \text{ kN}$

$$\sum w_e = (-3,71) + (-0,82) = -4,530 \text{ kN}$$

$$L_{pole} = 5 \text{ m}$$

$$q_k = w_e / L_{pole} = -4,530 / 5 = -0,906 \text{ kN/m}$$



Sání větru

Zatížení	Zatěžovací šířka [m]	Char. z.	γ	Návrh. z.
		[kN/m]		[kN/m]
• Stálé	2	0,686	1,0	0,686
• Vaznice	-	1,06	1,0	1,06
• Vítr	-	-3,020	1,5	-4,530
Σ		-1,274		-2,784

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pc								
		4,00	4,50	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50
krajní : Z 210/2,0	1	5,96	4,84	4,03	3,71	3,42	3,18	2,96	2,71	2,49
	2	4,74	3,87	3,25	2,99	2,78	2,58	2,41	2,16	1,93
	3	-6,19	-4,80	-3,81	-3,42	-3,09	-2,79	-2,54	-2,33	-2,13
vnitřní : Z 210/1,5	4	-3,89	-2,95	-2,29	-2,03	-1,82	-1,63	-1,46	-1,33	-1,21
	5	10,3	7,24	5,28	4,56	3,97	3,47	3,06	2,70	2,40
	6	6,88	4,83	3,52	3,04	2,64	2,31	2,04	1,80	1,60
krajní : Z 210/2,5	1	8,86	7,25	6,08	5,62	5,21	4,85	4,54	4,18	3,86
	2	7,42	6,12	5,17	4,79	4,46	4,17	3,91	3,52	3,17
	3	-8,35	-6,48	-5,15	-4,62	-4,17	-3,78	-3,44	-3,15	-2,89
vnitřní : Z 210/2,0	4	-6,15	-4,70	-3,69	-3,29	-2,95	-2,66	-2,40	-2,19	-2,00
	5	13,5	9,46	6,90	5,96	5,18	4,54	3,99	3,53	3,14
	6	8,98	6,31	4,60	3,97	3,46	3,02	2,66	2,36	2,09

Posouzení vaznic:

- MSP

$$q_{Ek} = 3,546 \text{ kN/m} < q_{Rk} = 6,90 \text{ kN/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- MSÚ

$$\text{stéle+sníh: } q_{Ed} = 5,057 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 6,08 \text{ kN/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{stéle+vítr: } |q_{Ed}| = 2,784 \text{ kN/m} < |q_{Rd}| = 5,15 \text{ kN/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

3.2 Návrh paždíků

- Tenkostěnný paždík tvaru C: C 210/1,5-S

- Podélný vítr

$$\begin{aligned} \text{– A:} \quad & \text{zatěžovací plocha: } 2 \cdot 4,4 = 8,8 \text{ m}^2 \\ & w_e = -0,824 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \\ & 8,8 \cdot -0,824 = -7,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{– B:} \quad & \text{zatěžovací plocha: } 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ m}^2 \\ & w_e = -0,549 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \\ & 1,2 \cdot -0,549 = -0,659 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Sigma w_e = (-7,25) + (-0,659) = -7,907 \text{ kN}$$

$$L_{\text{pole}} = 5 \text{ m}$$

$$q_k = w_e / L_{\text{pole}} = -7,907 / 5 = -1,581 \text{ kN/m}$$

- Podélný vítr

$$\begin{aligned} \text{– A:} \quad & \text{zatěžovací plocha: } 2 \cdot 4 = 8 \text{ m}^2 \\ & w_e = -0,824 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \\ & 8 \cdot -0,824 = -6,59 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\Sigma w_e = -6,59 \text{ kN}$$

$$L_{\text{pole}} = 5 \text{ m}$$

$$q_k = w_e / L_{\text{pole}} = -6,59/4 = \mathbf{1,647 \text{ kN/m}}$$

Sání větru

Zatížení	Zatěžovací šířka [m]	Char. z.	γ	Návrh. z.
		[kN/m]		[kN/m]
• Vítr	-	-1,647	1,5	-2,471
	Σ	-1,647		-2,471

SPOJITÝ NOSNÍK O 2 POLÍCH

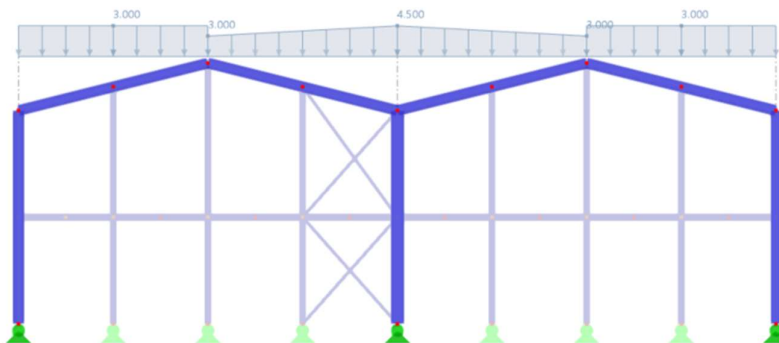
Profil G [kg/m]	Připustné rovn					
	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	
C 210/1,5	1	2.55	2.25	2.03	1.85	1.69
	2	1.94	1.70	1.54	1.40	1.28
	3	-3.00	-2.64	-2.39	-2.18	-1.99
	4	-2.14	-1.86	-1.66	-1.50	-1.36
G = 4,30 kg/m	5	11.2	9.23	7.69	6.48	5.51
	6	7.48	6.15	5.13	4.32	3.68
C 210/2,0	1	3.84	3.40	3.08	2.81	2.58
	2	3.28	2.90	2.63	2.40	2.20
	3	-4.44	-3.93	-3.58	-3.28	-3.03
	4	-3.67	-3.22	-2.92	-2.67	-2.45
G = 5,73 kg/m	5	16.0	13.2	11.0	9.27	7.88
	6	10.6	8.80	7.34	6.18	5.25
C 210/2,5	1	4.97	4.40	4.00	3.65	3.36
	2	4.45	3.93	3.57	3.26	3.00
	3	-5.69	-5.04	-4.59	-4.22	-3.89
	4	-4.97	-4.38	-3.98	-3.64	-3.35
G = 7,16 kg/m	5	20.5	16.9	14.1	11.9	10.1
	6	13.7	11.3	9.40	7.91	6.73

$$|q_{Ed}| = 2,471 \text{ kN/m} < |q_{Rd}| = 2,64 \text{ kN/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4 Zatěžovací stavy a kombinace zatížení – ČSN EN 1990 ed. 2

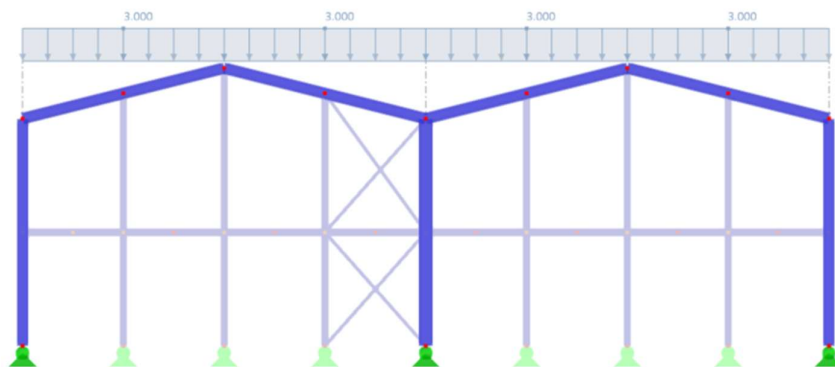
4.1 Zatěžovací stavy

- Zatížení na hlavní nosnou konstrukci je modelováno v programu DLUBAL RFEM 6.
- Jednotky: kN/m
- Zatěžovací stavy větru -> přiřazení imperfekcí
 - Sníh 1

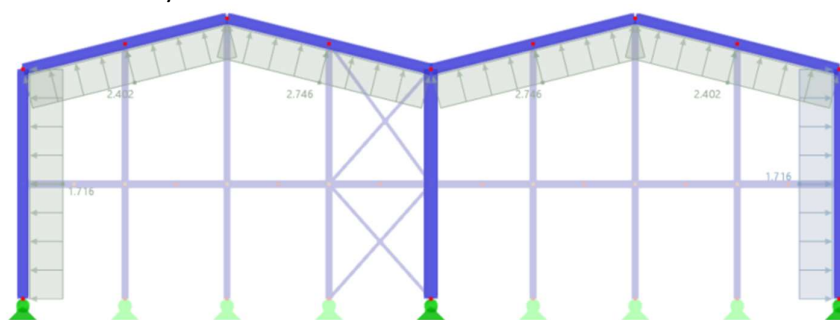




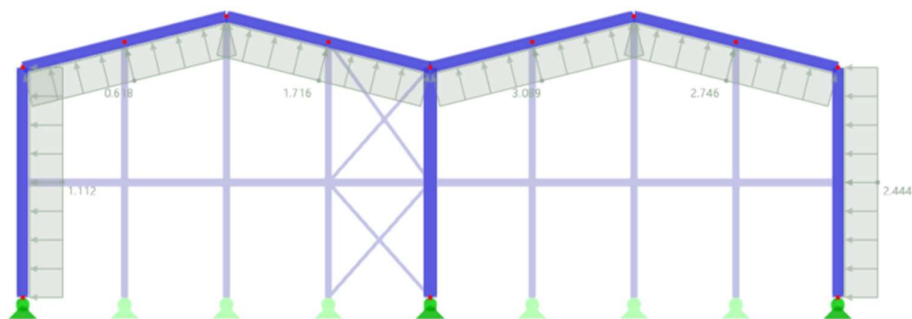
– Sníh 2



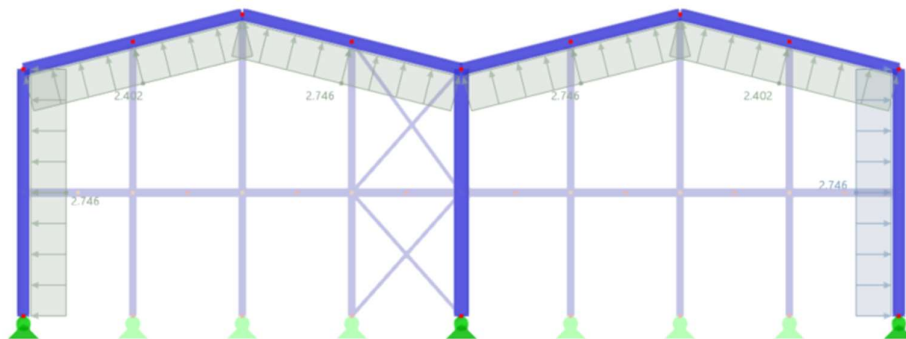
– Podélný vítr 1



– Příčný vítr 1

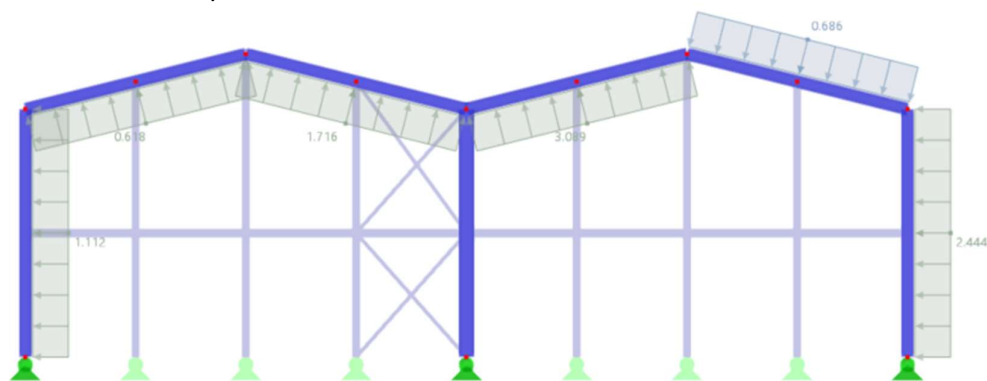


– Podélný vítr 2

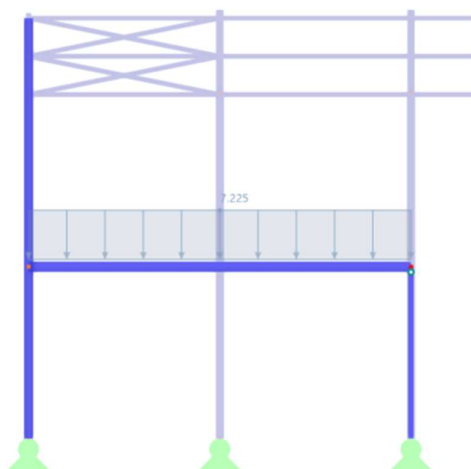
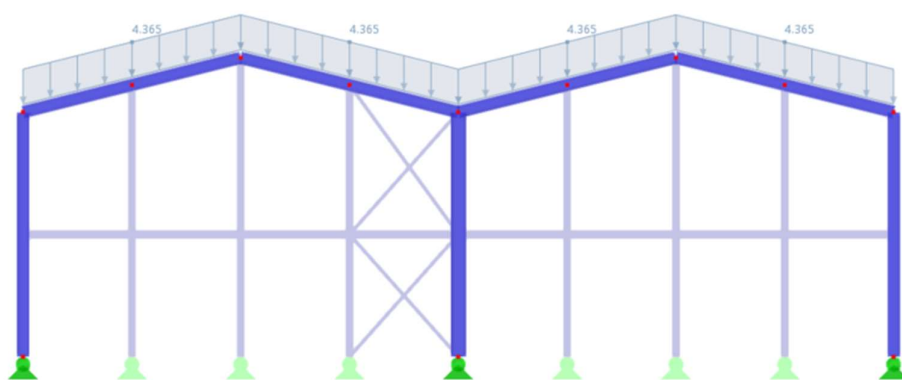




– Příčný vítr 2

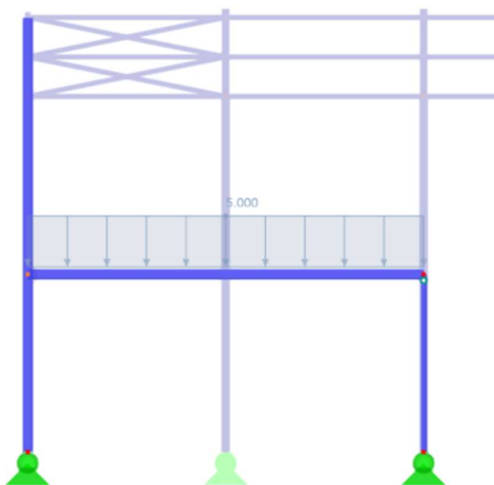


– Ostatní stálé





– Užité administrativa



4.2 Kombinace zatížení

4.2.1 Kombinace zatížení MSÚ

- Kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace **MSÚ**:

– obecný vztah:

$$\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$\gamma_{G,j}$ – dílčí součinitel j-tého stálého zatížení

$G_{k,j}$ – charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení

$\gamma_{Q,j}$ – dílčí součinitel j-tého proměnného zatížení

$Q_{k,1}$ – charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$\gamma_{Q,i}$ – dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení

$\psi_{0,i}$ – součinitel pro kombinační hodnotu i-tého proměnného zatížení

$Q_{k,i}$ – charakteristická hodnota vedlejšího i-tého proměnného zatížení

	Zatížení:	Součinitel zatížení:	Kombinační součinitel:	
(ST) 1	Vlastní tíha	1,35	-	1,00
(S1) 2	Sníh 1	1,50	0,50	0,75
(S2) 3	Sníh 2	1,50	0,50	0,75
(VP1) 4	Vítr podélný 1	1,50	0,60	0,90
(VPŘ1) 5	Vítr příčný 1	1,50	0,60	0,90
(VP2) 6	Vítr podélný 2	1,50	0,60	0,90
(VPŘ2) 7	Vítr příčný 2	1,50	0,60	0,90
(ST) 8	Ostatní stálé	1,35	-	1,00
(UŽ) 9	Užitné	1,50	0,70	1,05



	STÁLÉ	UŽITNÉ	SNÍH	VÍTR	DOMINANTNÍ KOMBINACE	
KZS1	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S1*0,75		SNÍH + užité	ZIMA
KZS2	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S2*0,75			
KZS3	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S1*1,5		UŽITNÉ + sníh	ZIMA
KZS4	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S2*1,5			
KZS5	ST+			VP1*1,5	VÍTR + užité	LÉTO
KZS6	ST+			VPŘ1*1,5		
KZS7	ST+			VP2*1,5		
KZS8	ST+			VPŘ2*1,5		
KZS9	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S1*1,5+	VP1*0,9	SNÍH + užité + vítr	ZIMA
KZS10	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S2*1,5+	VP1*0,9		
KZS11	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S1*1,5+	VPŘ1*0,9		
KZS12	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S2*1,5+	VPŘ1*0,9		
KZS13	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S1*1,5+	VP2*0,9		
KZS14	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S2*1,5+	VP2*0,9		
KZS15	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S1*1,5+	VPŘ2*0,9		
KZS16	ST*1,35+	UŽ*1,05+	S2*1,5+	VPŘ2*0,9		
KZS17	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S1*0,75+	VP1*0,9	UŽITNÉ + sníh + vítr	ZIMA
KZS18	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S2*0,75+	VP1*0,9		
KZS19	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S1*0,75+	VPŘ1*0,9		
KZS20	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S2*0,75+	VPŘ1*0,9		
KZS21	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S1*0,75+	VP2*0,9		
KZS22	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S2*0,75+	VP2*0,9		
KZS23	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S1*0,75+	VPŘ2*0,9		
KZS24	ST*1,35+	UŽ*1,5+	S2*0,75+	VPŘ2*0,9		
KZS25	ST+	UŽ*1,05+	S1*0,75+	VP1*1,5	VÍTR + sníh + užité	ZIMA
KZS26	ST+	UŽ*1,05+	S2*0,75+	VP1*1,5		
KZS27	ST+	UŽ*1,05+	S1*0,75+	VPŘ1*1,5		
KZS28	ST+	UŽ*1,05+	S2*0,75+	VPŘ1*1,5		
KZS29	ST+	UŽ*1,05+	S1*0,75+	VP2*1,5		
KZS30	ST+	UŽ*1,05+	S2*0,75+	VP2*1,5		
KZS31	ST+	UŽ*1,05+	S1*0,75+	VPŘ2*1,5		
KZS32	ST+	UŽ*1,05+	S2*0,75+	VPŘ2*1,5		

4.2.2 Kombinace zatížení MSP

- Charakteristická kombinace **MSP**:

- obecný vztah

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ – charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení

$Q_{k,1}$ – charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

$\Psi_{0,i}$ – součinitel pro kombinační hodnotu i-tého proměnného zatížení

$Q_{k,i}$ – charakteristická hodnota vedlejšího i-tého proměnného zatížení



Zatížení:	
(ST) 1	Vlastní tíha
(S1) 2	Sníh 1
(S2) 3	Sníh 2
(VP1) 4	Vítr podélný 1
(VPŘ1) 5	Vítr příčný 1
(VP2) 6	Vítr podélný 2
(VPŘ2) 7	Vítr příčný 2
(ST) 8	Ostatní stálé
(UŽ) 9	Užitné

	STÁLÉ	UŽITNÉ	SNÍH	VÍTR	
KZS1	ST+			VP1	LÉTO
KZS2	ST+			VPŘ1	
KZS3	ST+			VP2	
KZS4	ST+			VPŘ2	
KZS5	ST+	UŽ+	S1+		ZIMA
KZS6	ST+	UŽ+	S2+		
KZS7	ST+	UŽ+	S1+	VP1	ZIMA
KZS8	ST+	UŽ+	S2+	VP1	
KZS9	ST+	UŽ+	S1+	VPŘ1	
KZS10	ST+	UŽ+	S2+	VPŘ1	
KZS11	ST+	UŽ+	S1+	VP2	
KZS12	ST+	UŽ+	S2+	VP2	
KZS13	ST+	UŽ+	S1+	VPŘ2	
KZS14	ST+	UŽ+	S2+	VPŘ2	

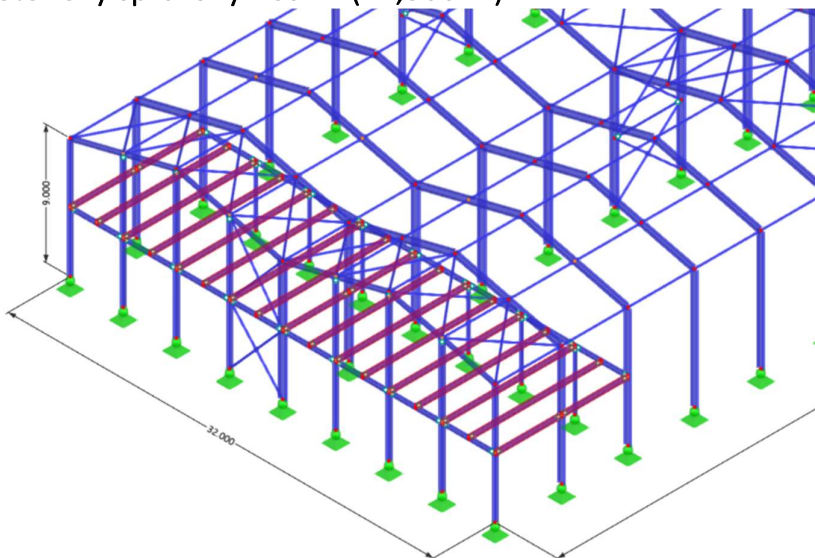
5 Návrh 3D modelu ve výpočtovém programu DLUBAL RFEM 6

- Prvky v rámové konstrukci byly navrženy výhradně na mezní stav použitelnosti – mezní průhyb. Jednotlivé mezní průhyby a skutečné průhyby na prvcích jsou uvedeny u posouzení jednotlivých prvků. V jiných případech jsou prvky navrženy na mezní stav únosnosti.
- Podle jednotlivých průhybů na prvcích byly postupně změněny průřezy.
- Tímto postupem byly dimenzovány jednotlivé prvky – sloupy, příčle, nosníky.
- Průhyby jednotlivých prvků jsou určeny z obálky kombinací MSP a vnitřní síly z obálky kombinací MSÚ.
- Výstupem z výpočetního programu Dlubal RFEM 6 jsou průhyby a vnitřní síly, podle kterých je dále posouzení průřezů na mezní stav únosnosti.



6 Posouzení nosníků (+4,500 m)

6.1 Ocelobetonový spřažený nosník (+4,500 m)

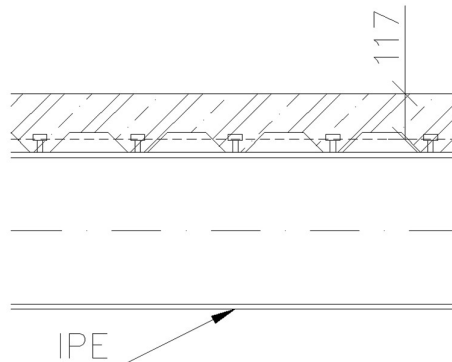
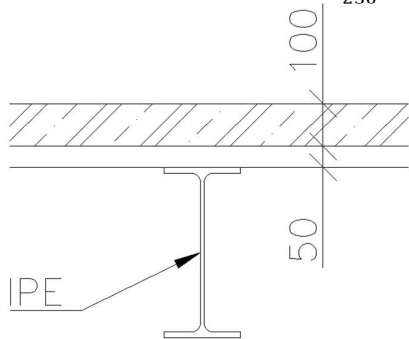


- Délka nosníku: $L_1 = 10 \text{ m}$
- Vzdálenosti nosníků: $L_2 = 2 \text{ m}$
- Železobetonová deska vybetonovaná do trapézového plechu, podepřená během motáže

Stálé zatížení

Zatížení	Char. z.	γ	Návrh. z.
	[kN/m ²]		[kN/m ²]
• Beton ($25 \cdot h_{ST}$)	2,92	1,35	3,945
• TR 50/250/1,0	0,9	1,35	1,215
Σ	3,8		5,160

- Ocel: S355
 - $f_y = 355 \text{ MPa}$
 - $E_a = 210000 \text{ MPa}$
- Beton: C25/30
 - $f_{c,k} = 25 \text{ MPa}$
 - $E_{cm} = 31000 \text{ MPa}$
 - tloušťka betonu: 100 mm
 - $h_{st} = 100 + 50 \cdot \frac{84,5}{250} = 116,9 \text{ mm}$





6.1.1 Návrh průřezu

IPE 270

h=	270 mm
b=	135 mm
t _w =	6,6 mm
t _r =	10,2 mm
r=	15 mm
d=	219,6 mm
A=	4595 mm ²
A _{v,z} =	2214 mm ²
I _y =	57900000 mm ⁴
W _y =	428900 mm ³
W _{pl,y} =	484000 mm ³
i _y =	112 mm
I _z =	4199000 mm ⁴
W _z =	62200 mm ³
W _{pl,z} =	96950 mm ³
i _z =	30,2 mm

6.1.2 MSP

- Posouzení průhybu

– Účinný modul pružnosti betonu:

$$E'_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{31000}{2} = 15500 \text{ MPa}$$

– Pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_c} = \frac{210000}{15500} = 13,55$$

– Spolupůsobící šířka desky:

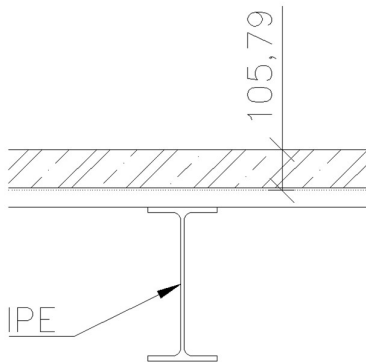
$$b_{eff} = \min\left(\frac{2 * L_1}{8}; L_2\right) = \min\left(\frac{2 * 10000}{8}; 2000\right) = \min(2500; 2000) = 2000 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{eff}}{n} = \frac{2000}{13,55} = 147,62 \text{ mm}$$

– Poloha neutrální osy

$$A_i = 4595 + 147,62 * 100 = 19356,90 \text{ mm}^2$$

$$T_i = \frac{4595 * \left(\frac{270}{2} + 100 + 50\right) + 147,62 * 100 * \frac{100}{2}}{19356,90} = 105,79 \text{ mm}$$



– Moment setrvačnosti

$$I_i = 57900000 + 4595 * \left(\left(\frac{270}{2} + 100 + 50 \right) - 105,79 \right)^2 + \frac{1}{12} * 100^3 * 147,62 + 147,62 * 100 * (50 - 105,79) = 216,960 * 10^6 \text{ mm}^2$$

– Průhyb od nahodilého zatížení

Nahodilé zatížení – $f_k = 3,8 * 2 + 5 = 12,645 \text{ kN/m}$

$$\delta = \frac{5}{384} * f_k * \frac{L_1^4}{E_a * I_{y,i}} = \frac{5}{384} * 355 * \frac{10000^4}{210000 * 216,96 * 10^6} = 36,14 \text{ mm}$$

$$\frac{L_1}{250} = \frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \frac{L_1}{250}$$

$$\delta = 36,14 \text{ mm} < \frac{L_1}{250} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Využití

$$\frac{\delta}{\frac{L_1}{250}} * 100 = \frac{36,14}{40} * 100 = 90\%$$

Napětí v krajních vláknech

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} * f_k * L_1^2 = \frac{1}{8} * 355 * 10000^2 = 158,06 \text{ kNm}$$

Napětí v krajních vláknech – ocel:

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_{y,i}} * z_d = \frac{158,06 * 10^6}{216,96 * 10^6} * (420 - 105,79) = 228,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,max} = 228,92 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Napětí v krajních vláknech – beton:

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_{Ek}}{I_{y,i} * n} * z_h = \frac{158,06 * 10^6}{216,96 * 10^6 * 13,55} * 105,79 = 5,69 \text{ MPa}$$

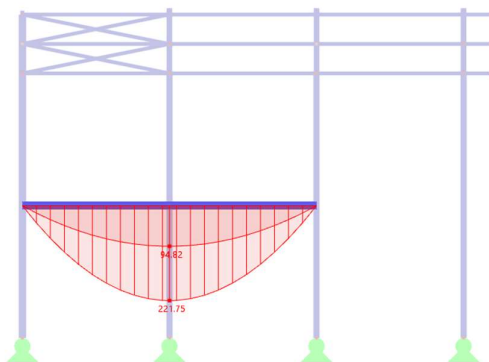
$$\sigma_{h,max} = 5,69 \text{ MPa} < 0,85 * f_{ck} = 0,85 * 25 = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



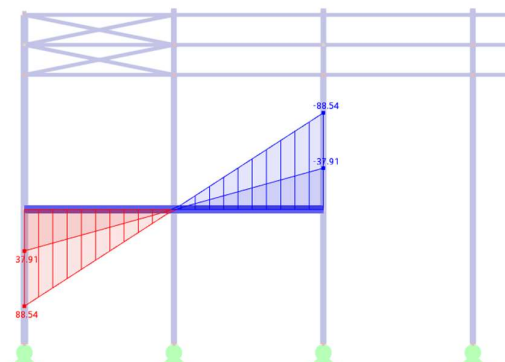
6.1.3 MSÚ

- Vnitřní síly z obálky MSÚ z výpočetního programu DLUBAL RFEM 6

Ohybový moment:



Posouvající síla:



$$M_{Ed,max} = 221,95 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = 88,6 \text{ kN}$$

- Posouzení průřezu

– Poloha neutrální osy

$$b_{eff} = 2000 \text{ mm}$$

$$x = \frac{f_y * \gamma_c * A_a}{\gamma_{M0} * 0,85 * f_{ck} * b_{eff}} = \frac{355 * 1,5 * 4595}{1,0 * 0,85 * 25 * 2000} = 57,57 \text{ mm} < tl. \text{betonu} = 100 \text{ mm}$$

Neutrální osa leží v betonové desce.

$$z = \frac{270}{2} + 50 + 100 - \frac{x}{2} = 285 - \frac{57,57}{2} = 256,21 \text{ mm}$$

– Moment únosnosti

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{f_y * A_a}{\gamma_{M0}} * z = \frac{355 * 4595}{1,0} * 256,21 = 417,94 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,y} \geq M_{Ed,max}$$

$$M_{pl,Rd,y} = 417,94 \text{ kNm} > M_{Ed,max} = 221,95 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd,y}} * 100 = \frac{221,95}{417,94} * 100 = 53\%$$



– Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y * A_{v,z}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{355 * 2214}{\sqrt{3} * 1,0} = 453,78 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed,max}$$

$$V_{pl,Rd} = 453,78 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 88,6 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{pl,Rd}} * 100 = \frac{88,6}{453,78} * 100 = 20\%$$

Nosník **IPE 270** VYHOVUJE.

• Sprážení

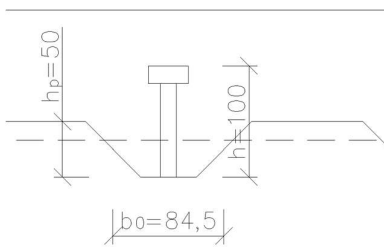
– Trny:

$$\begin{aligned} d &= 19 \text{ mm} \\ h &= 100 \text{ mm} \\ f_u &= 490 \text{ MPa} \\ \alpha &= 1,0 \\ E_{cm} &= 31000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

– Charakteristická únosnost trnu v plné desce

$$\begin{aligned} P_{Rd} &= \min \left(\begin{array}{l} 0,8 * f_u * \frac{\pi * d^2}{4} * \frac{1}{\gamma_v} \\ 0,29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\gamma_v} \end{array} \right) \\ &= \min \left(\begin{array}{l} 0,8 * 490 * \frac{\pi * 19^2}{4} * \frac{1}{1,25} \\ 0,29 * 1,0 * 19^2 * \sqrt{25 * 31000} * \frac{1}{1,25} \end{array} \right) = \min(88,914; 73,73) \\ &= 73,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

– Redukovaná únosnost v žebrované desce



$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} * \frac{b_0}{h_p} * \frac{h - h_p}{h_p} = \frac{0,7}{\sqrt{1}} * \frac{84,5}{50} * \frac{100 - 50}{50} = 1,183 > 0,85 \rightarrow k_t = 0,85$$

$$P'_{Rd} = k_t * P_{Rd} = 0,85 * 73,73 = 62,67 \text{ kN}$$

– Počet trnů

$$n = \frac{N_c}{P'_{Rd}} = \frac{0,85 * b_{eff} * x * f_y * \frac{1}{\gamma_c}}{P'_{Rd}} = \frac{0,85 * 2000 * 57,57 * 355 * \frac{1}{1,5}}{62,67 * 10^3} = 26,03 \rightarrow 27 \text{ trnů}$$



$$n_{\text{žEB}} = \frac{L_1}{2} = \frac{10000}{2} = 20 \text{ trnů} \rightarrow \text{částečné spřažení}$$

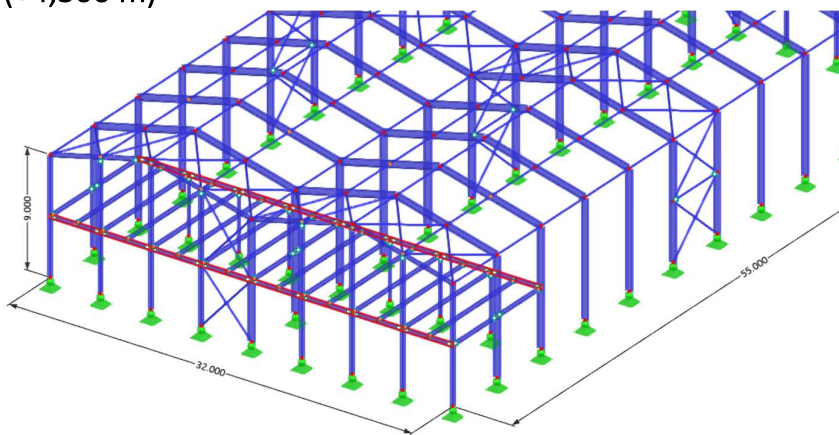
$$\eta = \frac{n_{\text{žEB}}}{N} = \frac{20}{27} = 0,74 > 0,4$$

$$M_{a,pl,Rd,y} = \frac{f_y * W_{pl,y}}{\gamma_{M0}} = \frac{355 * 484000}{1,0} * 10^{-6} = 171,820 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,y} = \eta * (M_{pl,Rd,y} - M_{a,pl,Rd,y}) + M_{a,pl,Rd,y} = 0,74 * (417,94 - 171,82) + 171,82 \\ = 354,13 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,y} = 354,13 \text{ kNm} > M_{Ed,max} = 221,95 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2 Nosník (+4,500 m)



- Délka nosníku: $L = 4 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

6.2.1 Návrh průřezu

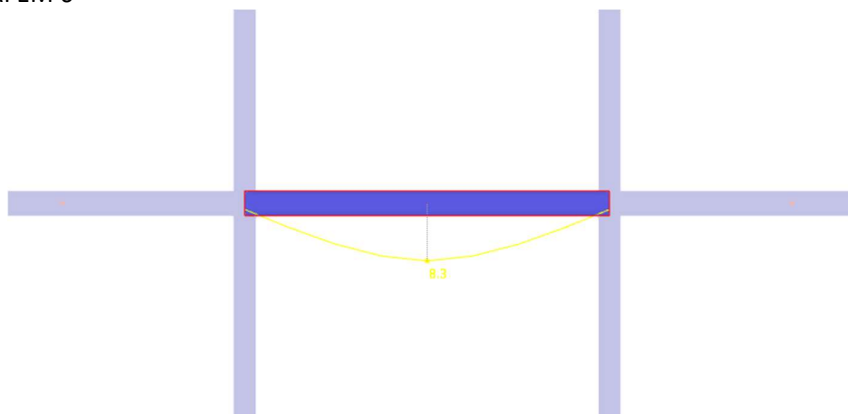
IPE 270

$h =$	270 mm
$b =$	135 mm
$t_w =$	6,6 mm
$t_r =$	10,2 mm
$r =$	15 mm
$d =$	219,6 mm
$A =$	4595 mm ²
$A_{v,z} =$	2214 mm ²
$I_y =$	57900000 mm ⁴
$W_y =$	428900 mm ³
$W_{pl,y} =$	484000 mm ³
$i_y =$	112 mm
$I_z =$	4199000 mm ⁴
$W_z =$	62200 mm ³
$W_{pl,z} =$	96950 mm ³
$i_z =$	30,2 mm



6.2.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{4000}{250} = 16 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,3 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

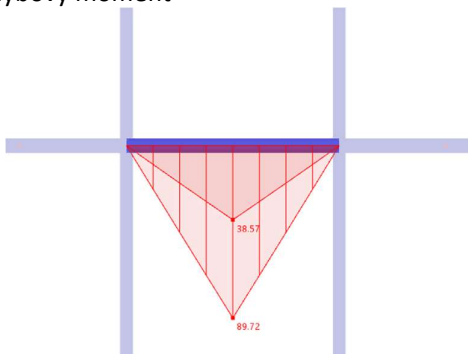
$$\delta_{lim} = 16 \text{ mm} > \delta = 8,3 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{8,3}{16} * 100 = 52\%$$

6.2.3 MSÚ

Ohybový moment



$$M_{Ed,max} = 89,72 \text{ kNm}$$

– Moment únosnosti průřezu IPE 270

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{f_y * W_{pl,y}}{\gamma_{M0}} = \frac{355 * 484000}{1,0} * 10^{-6} = 171,820 \text{ kNm}$$



$$M_{pl,Rd,y} \geq M_{Ed,max}$$

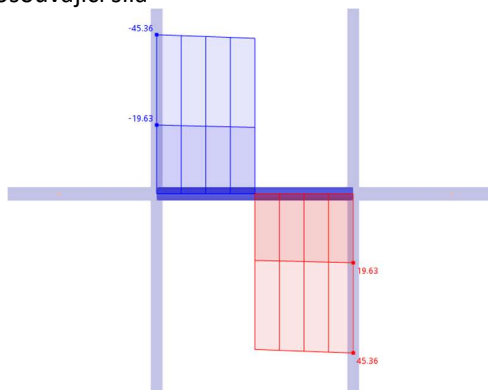
$$M_{pl,Rd,y} = 171,820 \text{ kNm} > M_{Ed,max} = 89,72 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{pl,Rd,y}} * 100 = \frac{89,72}{171,820} * 100 = 52\%$$

– Smyková únosnost průřezu IPE 270

Posouvající síla



$$V_{Ed,max} = 45,36 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y * A_{v,z}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{355 * 2214}{\sqrt{3} * 1,0} = 453,78 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed,max}$$

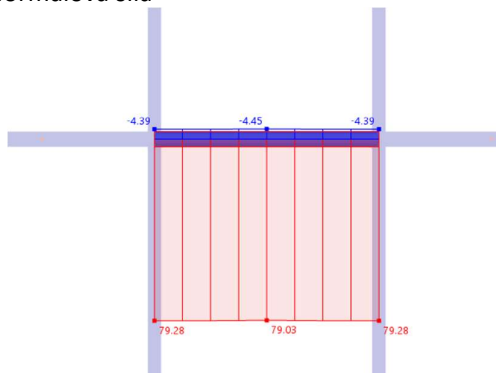
$$V_{pl,Rd} = 453,78 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 45,36 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{pl,Rd}} * 100 = \frac{45,36}{453,78} * 100 = 10\%$$

– Tahová únosnost

Normálová síla



$$N_{Ed,max} = 79,03 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{f_y * A}{\gamma_{M0}} = \frac{355 * 4595}{1,0} = 1631,23 \text{ kN}$$



$$N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$$

$$N_{Rd} = 1631,23 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 79,03 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

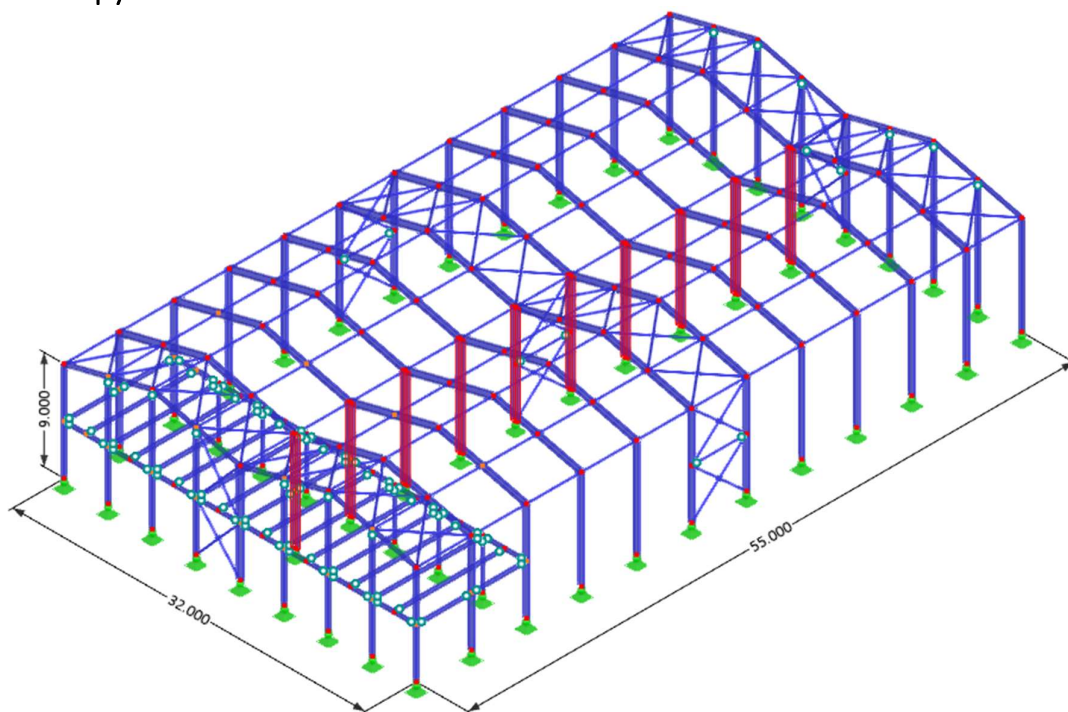
$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} * 100 = \frac{79,03}{1631,23} * 100 = 5\%$$

Nosník **IPE 270** VYHOVUJE.

7 Posouzení sloupů

Sloupy jsou především dimenzovány na mezní stav použitelnosti. Sloupy rohové S3 jsou dimenzovány stejného průřezu jako sloupy čelní S5, kvůli snadnému osazení obvodového pláště. Stejným principem jsou navržena rohové sloupy S4, které jsou průřezem shodné jako sloupy čelní S6. Sloupy S7 jsou dimenzovány jako sloupy tlačené.

7.1 Sloupy S1



- Výška sloupu: $L = 9 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.1.1 Návrh průřezu

IPE 550

h=	550 mm
b=	210 mm
t _w =	11,1 mm
t _r =	17,2 mm
r=	24 mm
d=	467,6 mm
A=	13440 mm ²



$$\begin{aligned}A_{v,z} &= 7234 \text{ mm}^2 \\I_y &= 6,71E+08 \text{ mm}^4 \\W_y &= 2441000 \text{ mm}^3 \\W_{pl,y} &= 2787000 \text{ mm}^3 \\i_y &= 223 \text{ mm} \\I_z &= 26680000 \text{ mm}^4 \\W_z &= 254100 \text{ mm}^3 \\W_{pl,z} &= 400500 \text{ mm}^3 \\i_z &= 44,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{234,33}{11,1 * 355} = 59,47 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 467,6 - 59,47}{467,6} = 0,627 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,13 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,627 - 1} = 44,84 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

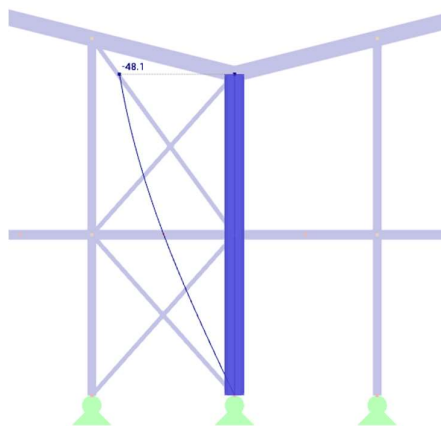
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 210 - \frac{1}{2} * 11,1 - 24}{17,2} = 4,39 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,81 = 7,29$$

→ průřez 1. třídy

7.1.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{9000}{150} = 60 \text{ mm}$$

$$\delta = 48,1 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 60 \text{ mm} > \delta = 48,1 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

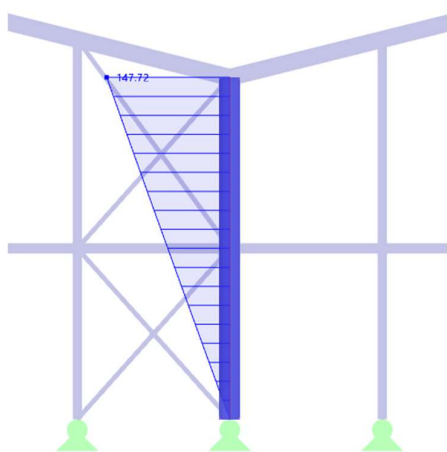


Využití

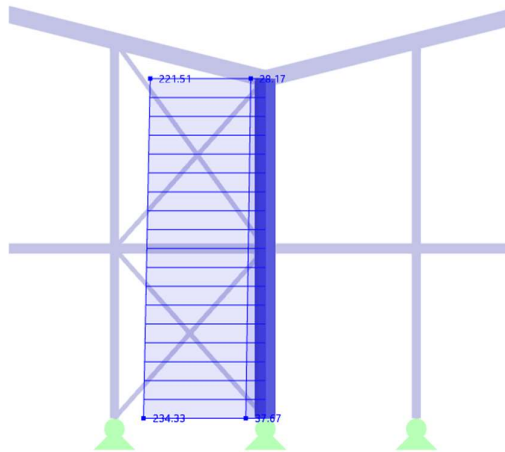
$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{48,1}{60} * 100 = 80\%$$

7.1.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat



Normálová síla



$$M_{Ed,max} = -148,33 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -234,33 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny systémové délce.

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 9000/44,5 = 202,25$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 9000/223 = 40,36$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 202,25/76,06 = 2,66$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 40,36/76,06 = 0,53$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez IPE 550:

vybočení kolmo z-z: **b** – $\alpha = 0,34$

vybočení kolmo y-y: **a** – $\alpha = 0,21$



– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (2,66 - 0,2) + 2,66^2) = 4,52$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,21 * (0,53 - 0,2) + 0,53^2) = 0,72$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,52 + \sqrt{4,52^2 - 2,66^2}} = 0,122$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,53^2}} = 0,833$$

– Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 579,72 \text{ kNm}$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787000 * 355}{579,72}} = 1,306$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

– Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,62 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,49$$

– Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2) \\ &= 0,5 * (1 + 0,49 * (1,306 - 0,4) + 0,75 * 1,306^2) = 1,362 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,362 + \sqrt{1,362^2 - 0,75 * 1,306^2}} = 0,472 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,472 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,306^2} = 0,586 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Interakce tlaku s ohybem

– Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

Poměr krajních momentu je nulový

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6$$



– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 13440 * 355 = 4771,2 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,53 - 0,2) * \frac{234,33}{0,83 * 4771,2/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{234,33}{0,83 * 4771,2/1} \right) \end{array} \right) = \min(1,020; 1,189)$$
$$= 1,020$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,66 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,66}{0,6 - 0,25} * \frac{234,33}{0,122 * 4771,2/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{234,33}{0,122 * 4771,2/1} \end{array} \right) = \max(0,695; 0,885) = 0,885$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 2787000 * 355 = 989,385 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed,max}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{234,33}{0,83 * 4771,2/1} + 1,020 * \frac{148,33}{0,472 * 989,385/1}$$
$$= 0,383 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

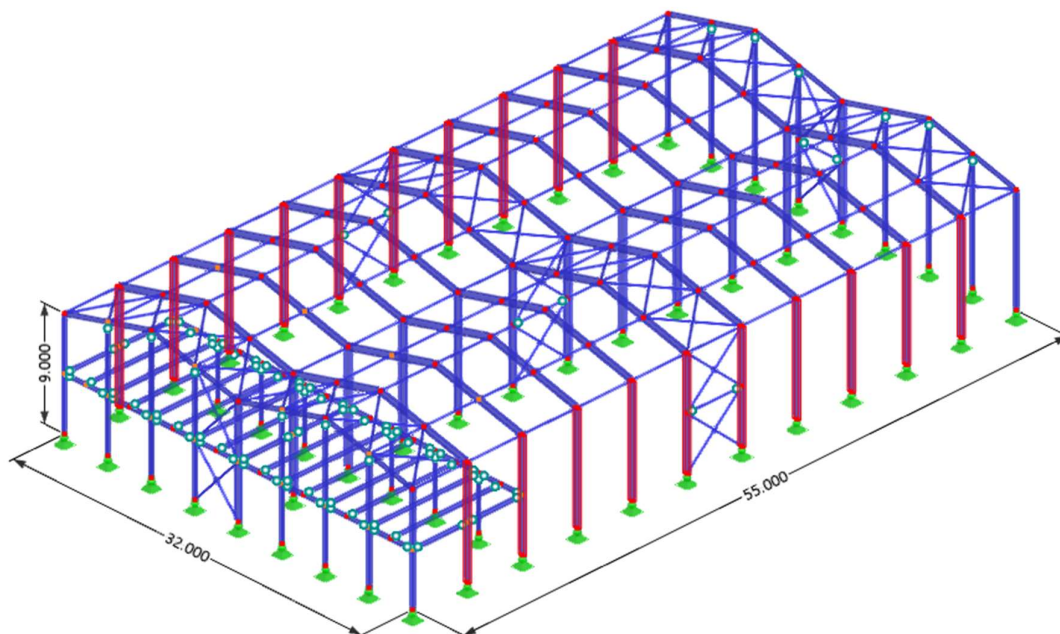
$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed,max}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{234,33}{0,122 * 4771,2/1} + 0,885 * \frac{148,33}{0,472 * 989,385/1}$$
$$= 0,683 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed,max}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{234,33}{4771,2/1} + \frac{148,33}{989,385/1} = 0,199 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **IPE 550** VYHOVUJE.



7.2 Sloupy S2



- Výška sloupu: $L = 9 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.2.1 Návrh průřezu

Návrh
průřezu: **IPE 450**

$h =$	450 mm
$b =$	190 mm
$t_w =$	9,4 mm
$t_r =$	14,6 mm
$r =$	21 mm
$d =$	378,8 mm
$A =$	9882 mm ²
$A_{v,z} =$	5085 mm ²
$I_y =$	3,37E+08 mm ⁴
$W_y =$	1500000 mm ³
$W_{pl,y} =$	1702000 mm ³
$i_y =$	185 mm
$I_z =$	16760000 mm ⁴
$W_z =$	176400 mm ³
$W_{pl,z} =$	276400 mm ³
$i_z =$	41,2 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{99,29}{9,4 * 355} = 29,75 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 378,9 - 29,75}{378,9} = 0,58 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{378,9}{9,4} = 40,3 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,58 - 1} = 49,19 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

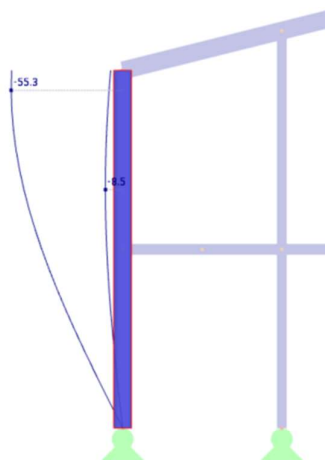
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 190 - \frac{1}{2} * 9,4 - 21}{14,6} = 4,75 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,81 = 7,29$$

→ průřez 1. třídy

7.2.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{9000}{150} = 60 \text{ mm}$$

$$\delta = 55,3 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 60 \text{ mm} > \delta = 55,3 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

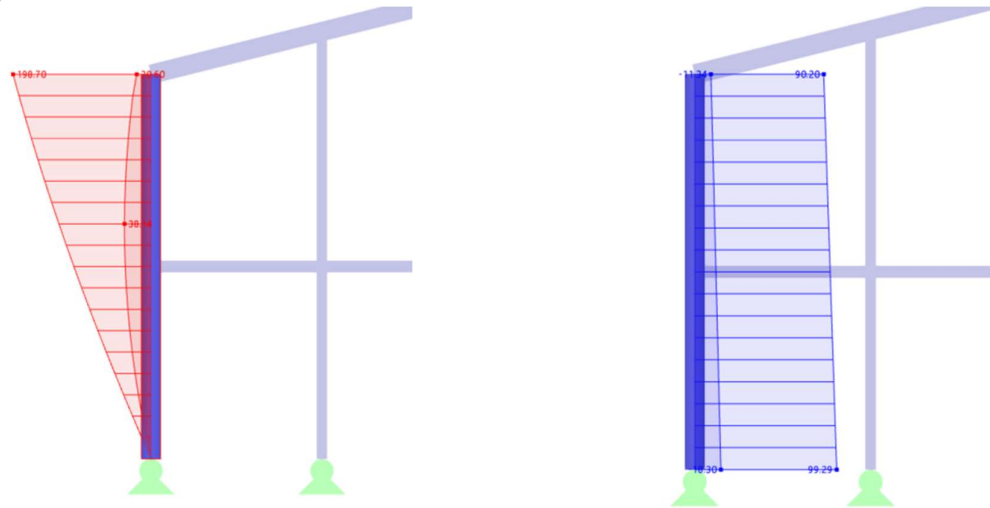
Využití

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{55,3}{60} * 100 = 92\%$$



7.2.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat



$$M_{Ed,max} = 198,70 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -99,29 \text{ kN}$$

- Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

- Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny systémové délce.

- Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 9000/41,2 = 218,45$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 9000/185 = 48,65$$

- Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 218,45/76,06 = 2,87$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 48,65/76,06 = 0,64$$

- Křivky vzpěrnosti

Pro průřez IPE 450:

vybočení kolmo z-z: $\mathbf{b} - \alpha = 0,34$

vybočení kolmo y-y: $\mathbf{a} - \alpha = 0,21$

- Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2)) + \bar{\lambda}_z^2 = (0,5 * (1 + 0,34 * (2,87 - 0,2)) + 2,87^2) = 5,15$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2)) + \bar{\lambda}_y^2 = (0,5 * (1 + 0,21 * (0,64 - 0,2)) + 0,64^2) = 0,79$$



$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{5,15 + \sqrt{5,15^2 - 2,87^2}} = 0,106$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,79 + \sqrt{0,79^2 - 0,64^2}} = 0,793$$

- Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 324,52 \text{ kNm}$

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1702000 * 355}{324,52}} = 1,364$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

- Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2,37 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,49$$

- Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2 \\ &= 0,5 * (1 + 0,49 * (1,364 - 0,4)) + 0,75 * 1,364^2 = 1,434 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,434 + \sqrt{1,434^2 - 0,75 * 1,364^2}} = 0,445 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,445 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,364^2} = 0,537 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Interakce tlaku s ohybem

- Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

Poměr krajních momentu je nulový

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6$$



– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 9882 * 355 = 3508,11 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,64 - 0,2) * \frac{99,29}{0,793 * 3508,11/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{99,29}{0,793 * 3508,11/1} \right) \end{array} \right) = \min(1,005; 1,092)$$
$$= 1,005$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,87 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,87}{0,6 - 0,25} * \frac{99,29}{0,106 * 3508,11/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{99,29}{0,106 * 3508,11/1} \end{array} \right) = \max(0,781; 0,924) = 0,924$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 1702000 * 355 = 604,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed,max}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{99,29}{0,793 * 3508,11/1} + 1,005 * \frac{198,7}{0,445 * 604,21/1}$$
$$= 0,779 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * \frac{N_{Rd}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed,max}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{99,29}{0,106 * 3508,11/1} + 0,924 * \frac{198,7}{0,445 * 604,21/1}$$

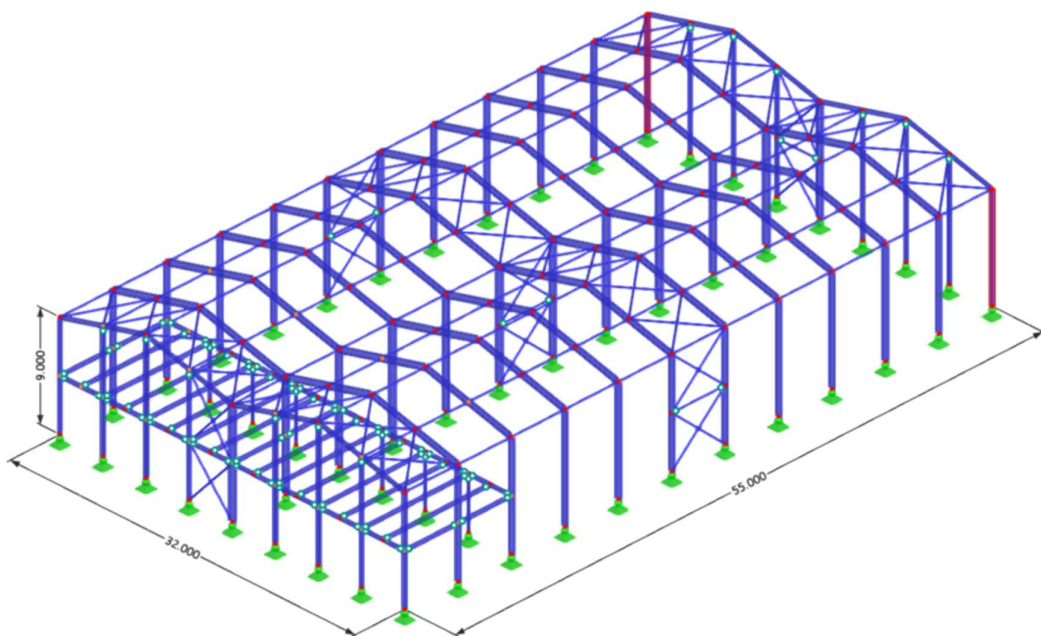
$$= 0,949 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed,max}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{99,29}{3508,11/1} + \frac{198,7}{604,21/1} = 0,357 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **IPE 450** VYHOVUJE.



7.3 Sloupy S3



- Výška sloupu: $L = 9 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.3.1 Návrh průřezu

HE 220 A

$h =$	210 mm
$b =$	220 mm
$t_w =$	7 mm
$t_r =$	11 mm
$r =$	18 mm
$d =$	152 mm
$A =$	6434 mm ²
$A_{v,z} =$	2067 mm ²
$I_y =$	54100000 mm ⁴
$W_y =$	515200 mm ³
$W_{pl,y} =$	568500 mm ³
$i_y =$	91,7 mm
$I_z =$	19550000 mm ⁴
$W_z =$	177700 mm ³
$W_{pl,z} =$	270600 mm ³
$i_z =$	55,1 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{21,52}{7 * 355} = 8,66 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 152 - 8,66}{152} = 0,56 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{152}{7} = 21,71 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,56 - 1} = 51,4 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

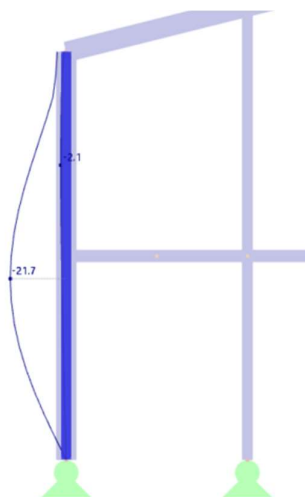
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 220 - \frac{1}{2} * 7 - 18}{11} = 8,05 < 10 * \varepsilon = 10 * 0,81 = 8,1$$

→ průřez 2. třídy

7.3.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{9000}{250} = 36 \text{ mm}$$

$$\delta = 21,7 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 36 \text{ mm} > \delta = 21,7 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

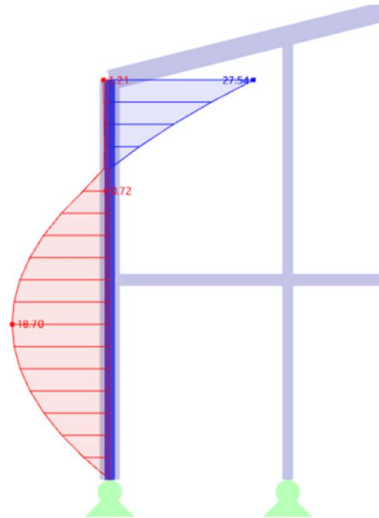
$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{21,7}{36} * 100 = 60\%$$



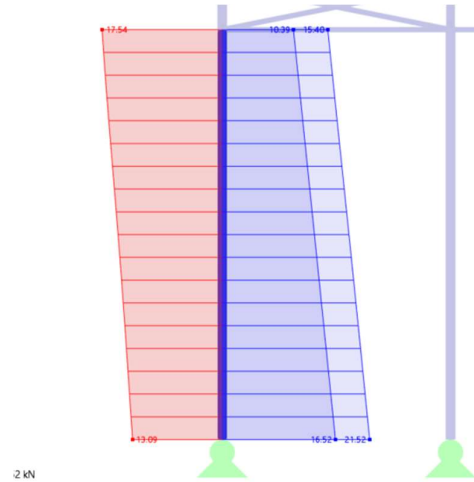
7.3.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat

Ohybový moment



Normálová síla



$$M_{Ed,max} = -27,54 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -21,52 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1,0 * 9000 = 9000 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny systémové délce.

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 9000/55,1 = 163,34$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 9000/917 = 98,15$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 163,34/76,06 = 2,15$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 98,15/76,06 = 1,29$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez HEA 220:

vybočení kolmo z-z: $c - \alpha = 0,49$

vybočení kolmo y-y: $b - \alpha = 0,34$

– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (2,15 - 0,2) + 2,15^2) = 3,38$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (1,29 - 0,2) + 1,29^2) = 1,59$$



$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,38 + \sqrt{3,38^2 - 2,15^2}} = 0,167$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,59 + \sqrt{1,59^2 - 1,29^2}} = 0,399$$

- Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 276,85 \text{ kNm}$

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{568500 * 355}{276,85}} = 0,854$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

- Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{210}{220} = 0,95 < 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

- Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2 \\ &= 0,5 * (1 + 0,34 * (0,854 - 0,4)) + 0,75 * 0,854^2 = 0,851 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,851 + \sqrt{0,851^2 - 0,75 * 0,854^2}} = 0,787 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,787 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,845^2} = 1,372 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

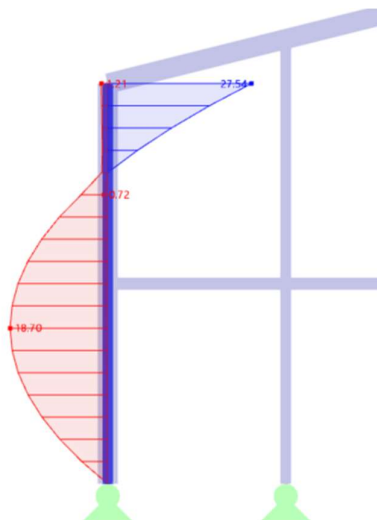
- Interakce tlaku s ohybem

- Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$M_s = 18,70 \text{ kNm}$$

$$M_h = -27,54 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 0$$



Tabulka B.3 – Součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu v tabulkách B.1 a B.2

Průběh momentu	Rozsah	C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
		rovnorné zatižení	soustředěné zatižení
ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
M_h $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
M_h $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.			
C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:			
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:	
C_{my}	y-y	z-z	
C_{mz}	z-z	y-y	
C_{mLT}	y-y	y-y	

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{18,70}{-27,54} = -0,68$$

$$\psi = 0$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 + 0,8 * (-0,68) = 0,643 > 0,4$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 6434 * 355 = 2284,07 \text{ kN}$$



$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (1,29 - 0,2) * \frac{21,52}{0,399 * 2284,07/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{21,52}{0,399 * 2284,07/1} \right) \end{array} \right) = \min(0,955; 0,941)$$
$$= 0,941$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,15 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,15}{0,643 - 0,25} * \frac{21,52}{0,167 * 2284,07/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,643 - 0,25} * \frac{21,52}{0,167 * 2284,07/1} \end{array} \right) = \max(0,969; 0,986) = 0,986$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} C_{mz} * \left(1 + (2 * \bar{\lambda}_z - 0,6) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{mz} * \left(1 + 1,4 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (2 * 2,15 - 0,6) * \frac{21,52}{0,167 * 2284,07/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 1,4 * \frac{21,52}{0,167 * 2284,07/1} \right) \end{array} \right) = \min(0,941; 0,917)$$
$$= 0,917$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 0,917 = 0,550$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 568500 * 355 = 201,818 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} * f_y = 270600 * 355 = 96,063 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 25,34 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -27,54 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{21,52}{0,399 * 2284,07/1} + 0,941 * \frac{27,54}{0,787 * 201,818/1} + 0,550 * \frac{25,34}{96,063/1} = 0,332$$
$$< 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_Z * \frac{N_{Rd}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{21,52}{0,167 * 2284,07/1} + 0,986 * \frac{27,54}{0,787 * 201,818/1} + 0,917 * \frac{25,34}{96,063/1} = 0,469$$

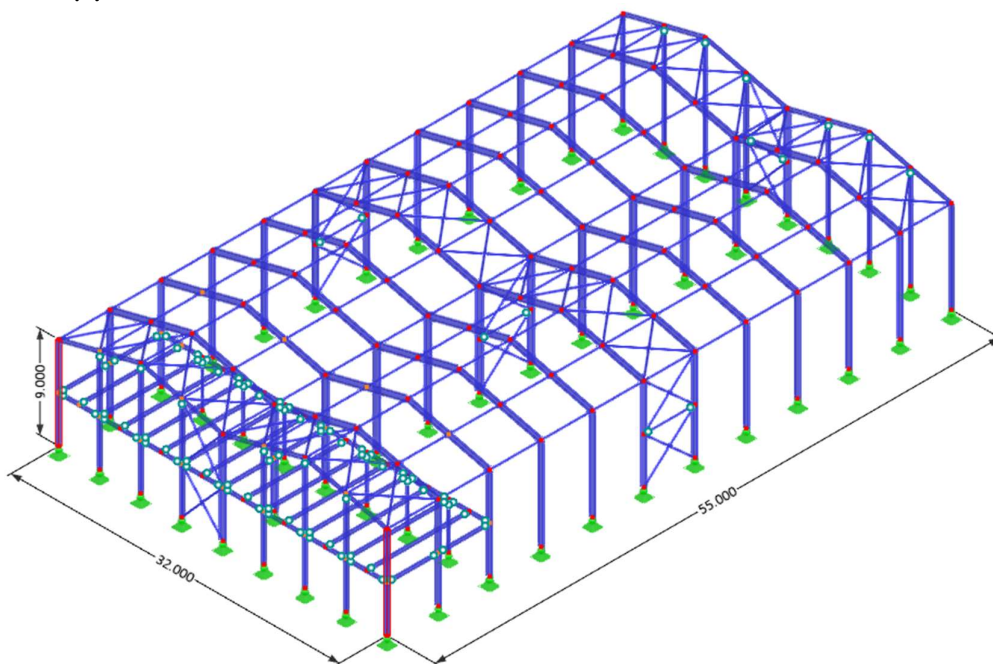
< 1,0 → VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{21,52}{2284,07/1} + \frac{27,54}{201,818/1} + \frac{25,34}{96,063/1} = 0,410$$

< 1,0 → VYHOVUJE

Navržený průřez **HEA 220** VYHOVUJE.

7.4 Sloupy S4



- Výška sloupu: L = 9 m
- $f_y = 355$ MPa

7.4.1 Návrh průřezu

HE 240 A

h=	230 mm
b=	240 mm
t _w =	7,5 mm
t _r =	12 mm
r=	21 mm
d=	164 mm
A=	7684 mm ²
A _{v,z} =	2518 mm ²
I _y =	77630000 mm ⁴
W _y =	675100 mm ³



$$W_{pl,y} = 744600 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 101 \text{ mm}$$

$$I_z = 27690000 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 230700 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 351700 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 60 \text{ mm}$$

- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{86,36}{7,5 * 355} = 32,44 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 164 - 32,44}{164} = 0,7 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{164}{7,5} = 21,87 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,7 - 1} = 39,74 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

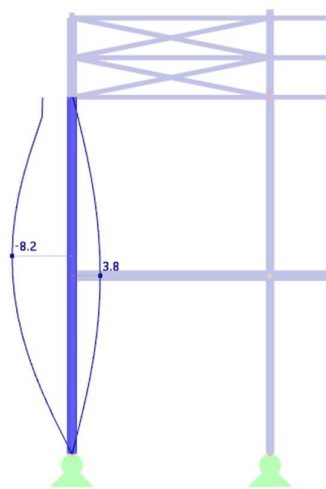
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 240 - \frac{1}{2} * 7,5 - 21}{12} = 7,94 < 10 * \varepsilon = 10 * 0,81 = 8,1$$

→ průřez 2. třídy

7.4.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{9000}{250} = 36 \text{ mm}$$

$$\delta = 8,2 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 36 \text{ mm} > \delta = 8,2 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Využití

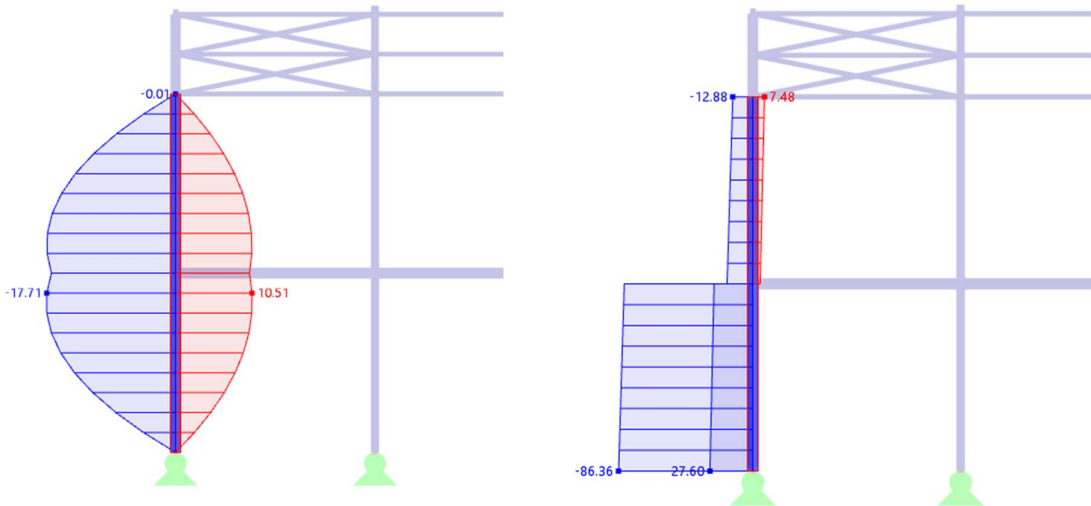
$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{8,2}{36} * 100 = 23\%$$

7.4.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat

Ohybový moment

Normálová síla



$$M_{Ed,max} = -17,71 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -86,36 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 0,5$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 0,5 * 9000 = 4500 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 0,5$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 0,5 * 9000 = 4500 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny polovině systémové délce. V polovině sloupu jsou uvažovány nosníky a spřažené ocelobetonové nosníky.

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 4500/60 = 75,00$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 4500/101 = 44,55$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 75,00/76,06 = 0,99$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 44,55/76,06 = 0,59$$



– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 7684 * 355 = 2727,82 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,59 - 0,2) * \frac{86,36}{0,814 * 272782/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{86,36}{0,814 * 272782/1} \right) \end{array} \right) = \min(0,920; 0,942)$$
$$= 0,920$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,99 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 0,99}{0,6 - 0,25} * \frac{86,36}{0,541 * 272782/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{86,36}{0,541 * 272782/1} \end{array} \right) = \max(0,9833; 0,9835) = 0,9835$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 744600 * 355 = 264,333 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{86,36}{0,814 * 2727,82/1} + 0,920 * \frac{17,71}{0,928 * 264,333/1} = 0,105 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

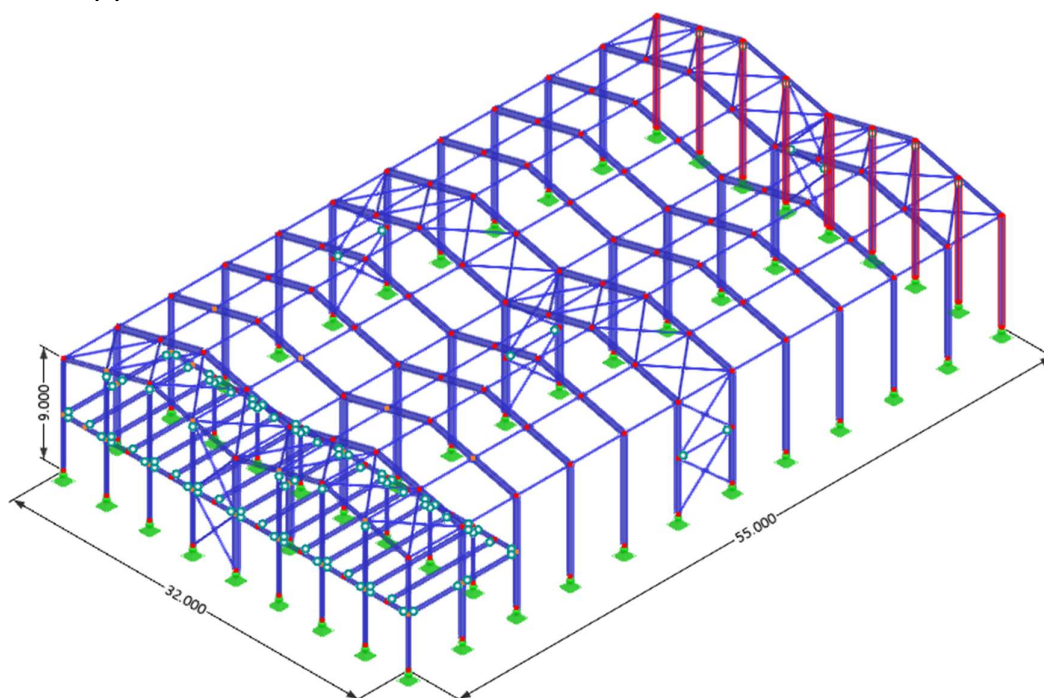
$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{86,36}{0,541 * 2727,82/1} + 0,983 * \frac{17,71}{0,928 * 264,333/1} = 0,130 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{86,36}{2727,82/1} + \frac{17,71}{264,333/1} = 0,099 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **HEA 240** VYHOVUJE.



7.5 Sloupy S5



- Výška sloupu: $L = 11 \text{ m}$ (nejvyšší sloup)
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.5.1 Návrh průřezu

HE 220 A

$h =$	210 mm
$b =$	220 mm
$t_w =$	7 mm
$t_f =$	11 mm
$r =$	18 mm
$d =$	152 mm
$A =$	6434 mm ²
$A_{v,z} =$	2067 mm ²
$I_y =$	54100000 mm ⁴
$W_y =$	515200 mm ³
$W_{pl,y} =$	568500 mm ³
$i_y =$	91,7 mm
$I_z =$	19550000 mm ⁴
$W_z =$	177700 mm ³
$W_{pl,z} =$	270600 mm ³
$i_z =$	55,1 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{91,14}{7 * 355} = 36,68 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 152 - 36,68}{152} = 0,74 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{152}{7} = 21,71 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,74 - 1} = 37,14 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

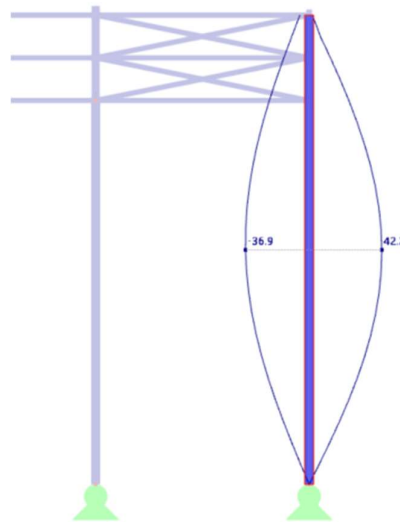
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 220 - \frac{1}{2} * 7 - 18}{11} = 8,05 < 10 * \varepsilon = 10 * 0,81 = 8,1$$

→ průřez 2. třídy

7.5.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{11000}{250} = 44 \text{ mm}$$

$$\delta = 42,2 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 44 \text{ mm} > \delta = 42,2 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

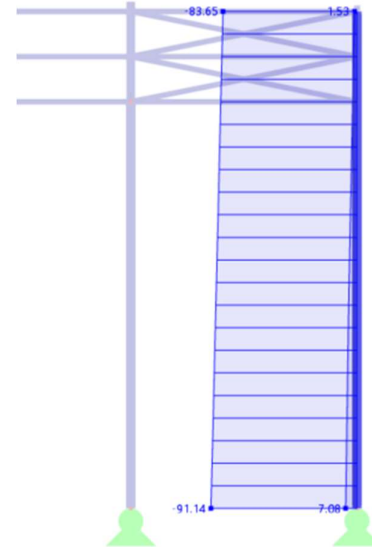
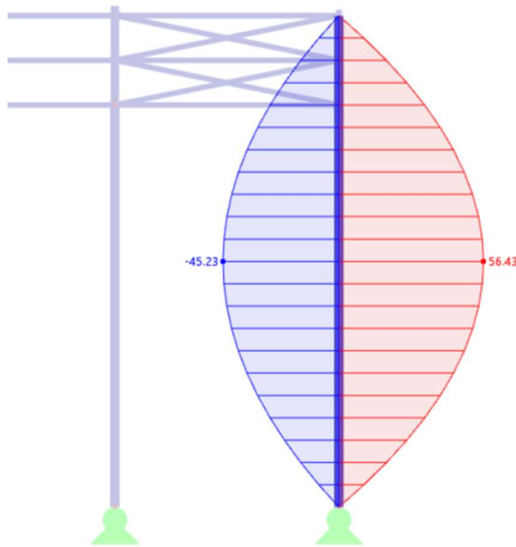
Využití

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{42,2}{44} * 100 = 96\%$$



7.5.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat



$$M_{Ed,max} = 56,43 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -91,14 \text{ kN}$$

- Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1,0 * 11000 = 11000 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1,0 * 11000 = 11000 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny systémové délce.

- Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 11000/55,1 = 199,64$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 11000/91,7 = 119,96$$

- Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

- Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 199,64/76,06 = 2,62$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 119,96/76,06 = 1,58$$

- Křivky vzpěrnosti

Pro průřez HEA 220:

vybočení kolmo z-z: **c** – $\alpha = 0,49$

vybočení kolmo y-y: **b** – $\alpha = 0,34$



Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (2,62 - 0,2) + 2,62^2)) = 4,42$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (1,58 - 0,2) + 1,58^2)) = 1,93$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,42 + \sqrt{4,42^2 - 2,62^2}} = 0,125$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,93 + \sqrt{1,93^2 - 1,58^2}} = 0,329$$

– Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 126,38 \text{ kNm}$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{568500 * 355}{126,38}} = 1,264$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

– Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{210}{220} = 0,95 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

– Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2) \\ &= 0,5 * (1 + 0,34 * (1,264 - 0,4) + 0,75 * 1,264^2) = 1,264 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,264 + \sqrt{1,264^2 - 0,75 * 1,264^2}} = 0,543 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,543 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,264^2} = 0,626 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Interakce tlaku s ohybem

– Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

Poměr krajních momentu je nulový

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6$$



– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 6434 * 355 = 2284,07 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,59 - 0,2) * \frac{91,14}{0,329 * 2284,07/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{91,14}{0,329 * 2284,07/1} \right) \end{array} \right) = \min(1,1295; 1,1294)$$
$$= 1,129$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,62 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 0,62}{0,6 - 0,25} * \frac{91,14}{0,125 * 2284,07/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{91,14}{0,125 * 2284,07/1} \end{array} \right) = \max(0,761; 0,909) = 0,909$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 568500 * 355 = 201,818 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{91,14}{0,329 * 2284,07/1} + 1,129 * \frac{56,43}{0,543 * 201,818/1} = 0,703 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

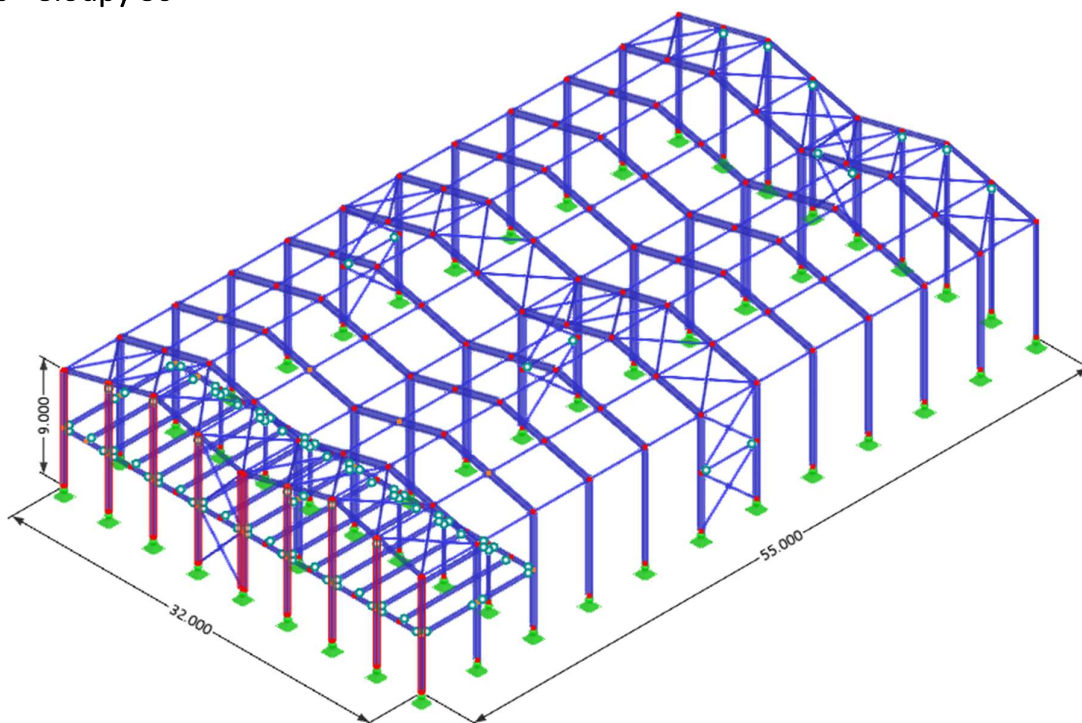
$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{91,14}{0,125 * \frac{2284,07}{1}} + 0,909 * \frac{56,43}{0,543 * 201,818/1}$$
$$= 0,787 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{91,14}{2284,07/1} + \frac{56,43}{201,818/1} = 0,320 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **HEA 220** VYHOVUJE.



7.6 Sloupy S6



- Výška sloupu: $L = 11 \text{ m}$ (nejvyšší sloup)
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.6.1 Návrh průřezu

HE 240 A

$h =$	230 mm
$b =$	240 mm
$t_w =$	7,5 mm
$t_r =$	12 mm
$r =$	21 mm
$d =$	164 mm
$A =$	7684 mm ²
$A_{v,z} =$	2518 mm ²
$I_y =$	77630000 mm ⁴
$W_y =$	675100 mm ³
$W_{pl,y} =$	744600 mm ³
$i_y =$	101 mm
$I_z =$	27690000 mm ⁴
$W_z =$	230700 mm ³
$W_{pl,z} =$	351700 mm ³
$i_z =$	60 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{256,04}{7,5 * 355} = 96,17 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 164 - 96,17}{164} = 1,09 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{164}{7,5} = 21,87 < \frac{396 * \epsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 1,09 - 1} = 24,44 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

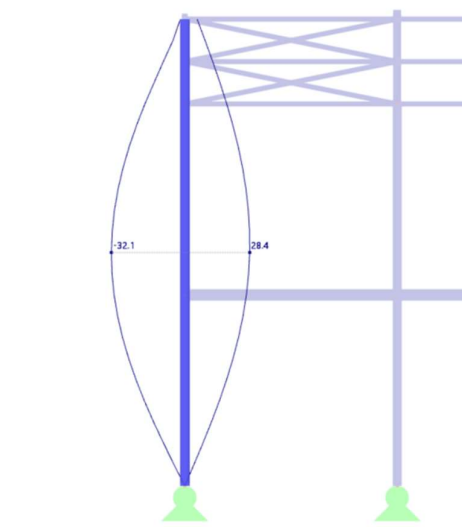
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 240 - \frac{1}{2} * 7,5 - 21}{12} = 7,9 < 10 * \epsilon = 10 * 0,81 = 8,1$$

→ průřez 2. třídy

7.6.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{11000}{250} = 44 \text{ mm}$$

$$\delta = 32,1 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

$$\delta_{lim} = 44 \text{ mm} > \delta = 32,1 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

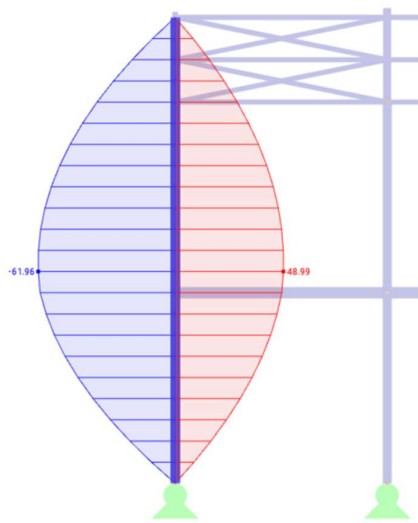
Využití

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{32,1}{44} * 100 = 71\%$$

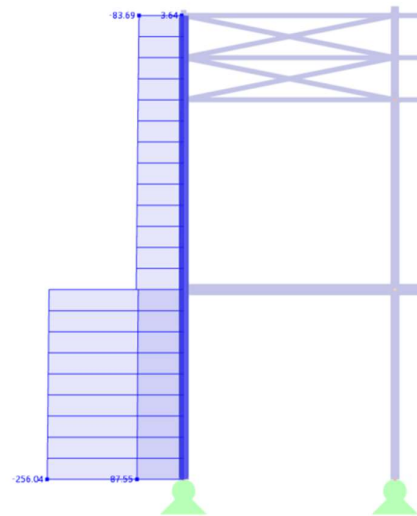


7.6.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat
- Ohybový moment



Normálová síla



$$M_{Ed,max} = -61,96 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -256,04 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1 * 4500 = 4500 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1 * 4500 = 4500 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny 4500 mm. V této výšce sloupu jsou uvažovány nosníky a spřažené ocelobetonové nosníky.

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 4500/60 = 75,00$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 4500/101 = 44,55$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 75,00/76,06 = 0,99$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 44,55/76,06 = 0,59$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez HEA 240:

vybočení kolmo z-z: **c** – $\alpha = 0,49$

vybočení kolmo y-y: **b** – $\alpha = 0,34$



– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (0,99 - 0,2) + 0,99^2)) = 1,19$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (0,59 - 0,2) + 0,59^2)) = 0,75$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 0,99^2}} = 0,541$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,59^2}} = 0,814$$

– Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 594,71 \text{ kNm}$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{744600 * 355}{594,71}} = 0,667$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

– Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{240} = 0,96 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

– Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2) \\ &= 0,5 * (1 + 0,34 * (0,667 - 0,4) + 0,75 * 0,667^2) = 0,712 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,712 + \sqrt{0,712^2 - 0,75 * 0,667^2}} = 0,886 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,886 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,667^2} = 2,250 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Interakce tlaku s ohybem

– Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

Poměr krajních momentu je nulový

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

$$C_{mLT} = 0,6$$



– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 7684 * 355 = 2727,82 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,59 - 0,2) * \frac{256,04}{0,814 * 2727,82/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{256,04}{0,814 * 2727,82/1} \right) \end{array} \right) = \min(0,960; 1,025)$$
$$= 0,960$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,99 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 0,99}{0,6 - 0,25} * \frac{256,04}{0,541 * 2727,82/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{256,04}{0,541 * 2727,82/1} \end{array} \right) = \max(0,951; 0,950) = 0,951$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 744600 * 355 = 264,333 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{256,04}{0,814 * 2727,82/1} + 0,960 * \frac{61,96}{0,886 * 264,333/1} = 0,369 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

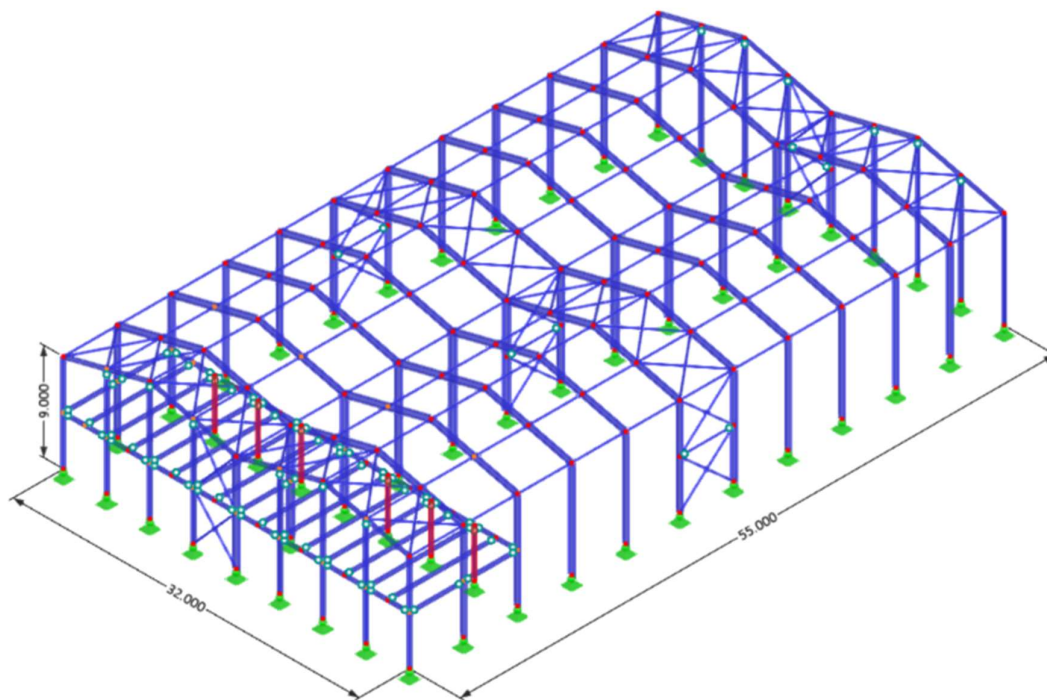
$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}}$$
$$= \frac{256,04}{0,541 * 2727,82/1} + 0,951 * \frac{61,96}{0,9886 * 264,333/1} = 0,425 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{256,04}{2727,82/1} + \frac{61,96}{264,333/1} = 0,328 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **HEA 240** VYHOVUJE.



7.7 Sloupy S7



- Výška sloupu: $L = 4,5 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

7.7.1 Návrh průřezu

HE 140 A

$h =$	133 mm
$b =$	140 mm
$t_w =$	5,5 mm
$t_r =$	8,5 mm
$r =$	12 mm
$d =$	92 mm
$A =$	3142 mm ²
$A_{v,z} =$	1012 mm ²
$I_y =$	10330000 mm ⁴
$W_y =$	155400 mm ³
$W_{pl,y} =$	173500 mm ³
$i_y =$	57,3 mm
$I_z =$	3893000 mm ⁴
$W_z =$	55620 mm ³
$W_{pl,z} =$	84850 mm ³
$i_z =$	35,2 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného tlakem

– Stojina

$$\frac{d}{t_w} = \frac{92}{5,5} = 16,73 < 33 * \varepsilon = 33 * 0,81 = 26,73 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

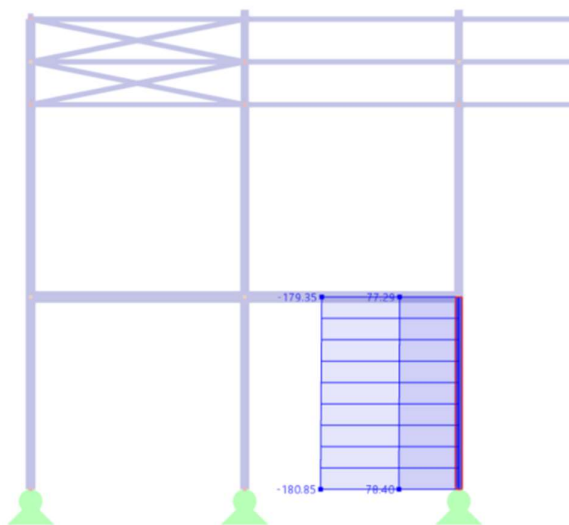
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 140 - \frac{1}{2} * 5,5 - 12}{8,5} = 6,5 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,81 = 7,29$$

→ průřez 1. třídy

7.7.2 Tlačný sloup

Normálová síla



$$N_{Ed,max} = -180,85 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1 * 4500 = 4500 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1 * 4500 = 4500 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky v obou směrech budou rovny systémové délce

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 4500/35,2 = 127,84$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 4500/57,3 = 78,53$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 127,84/76,06 = 1,68$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 78,53/76,06 = 1,03$$



– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez HEA 140:

vybočení kolmo z-z: $c - \alpha = 0,49$

vybočení kolmo y-y: $b - \alpha = 0,34$

Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (1,68 - 0,2) + 1,68^2)) = 2,23$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (1,03 - 0,2) + 1,03^2)) = 1,16$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,23 + \sqrt{2,23^2 - 1,68^2}} = 0,270$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,03^2}} = 0,589$$

$$\chi_{min} = \min(\chi_z; \chi_y) = \min(0,270; 0,589) = 0,270$$

– Vzpěrná únosnost sloupu

$$N_{Rd} = \frac{\chi_{min} * f_y * A}{\gamma_{M0}} = \frac{0,270 * 355 * 3142}{1,0} = 301,354 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$$

$$N_{Rd} = 301,354 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 180,85 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} * 100 = \frac{180,85}{301,354} * 100 = 60\%$$

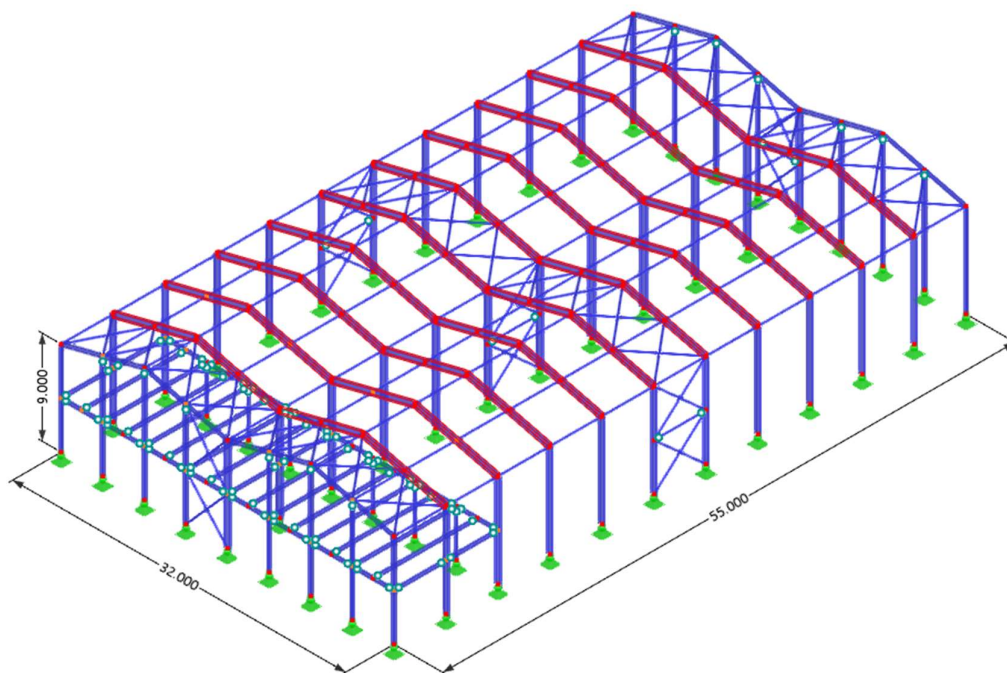
Navržený průřez **HEA 140** VYHOVUJE.



8 Příčle

Příčel P1 je dimenzovaná na mezní stav únosnosti interakce tlaku s ohybem.

8.1 Příčle P1



- Délka příčle: $L = 16,5 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

8.1.1 Návrh průřezu

IPE 450

$h =$	450 mm
$b =$	190 mm
$t_w =$	9,4 mm
$t_f =$	14,6 mm
$r =$	21 mm
$d =$	378,8 mm
$A =$	9882 mm ²
$A_{v,z} =$	5085 mm ²
$I_y =$	3,37E+08 mm ⁴
$W_y =$	1500000 mm ³
$W_{pl,y} =$	1702000 mm ³
$i_y =$	185 mm
$I_z =$	16760000 mm ⁴
$W_z =$	176400 mm ³
$W_{pl,z} =$	276400 mm ³
$i_z =$	41,2 mm



- Zatřídění průřezu namáhaného interakcí tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed,max}}{t_w * f_y} = \frac{179,77}{9,4 * 355} = 53,87 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2} * d - x}{d} = \frac{\frac{1}{2} * 378,9 - 53,87}{378,9} = 0,64 > 0,5$$

– Stojina – Tlačená a ohýbaná část

$$\frac{d}{t_w} = \frac{378,9}{9,4} = 40,3 < \frac{396 * \epsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,81}{13 * 0,64 - 1} = 43,65 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

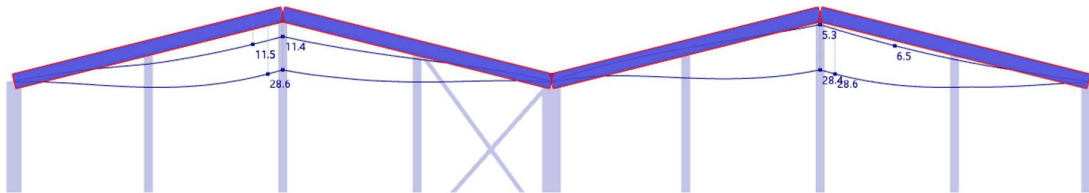
– Pásnice

$$\frac{\frac{1}{2} * b - \frac{1}{2} * t_w - r}{t_f} = \frac{\frac{1}{2} * 190 - \frac{1}{2} * 9,4 - 21}{14,6} = 4,75 < 9 * \epsilon = 9 * 0,81 = 7,29$$

→ průřez 1. třídy

8.1.2 MSP

- Ověření podmínky příslušného mezního průhybu pomocí výpočetního programu DLUBAL RFEM 6



$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{165000}{250} = 66 \text{ mm}$$

$$\delta = 28,6 \text{ mm} - \text{DLUBAL RFEM 6}$$

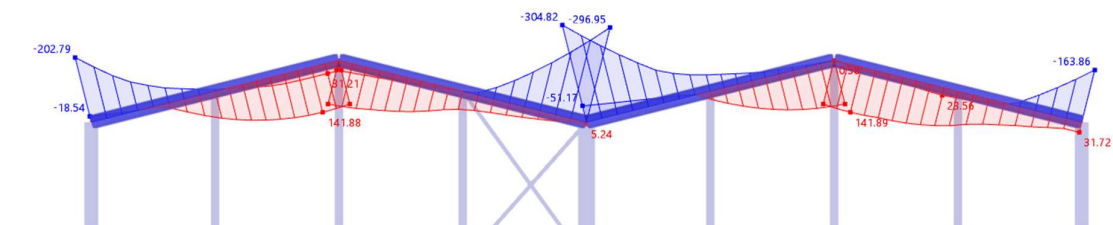
$$\delta_{lim} = 66 \text{ mm} > \delta = 28,6 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

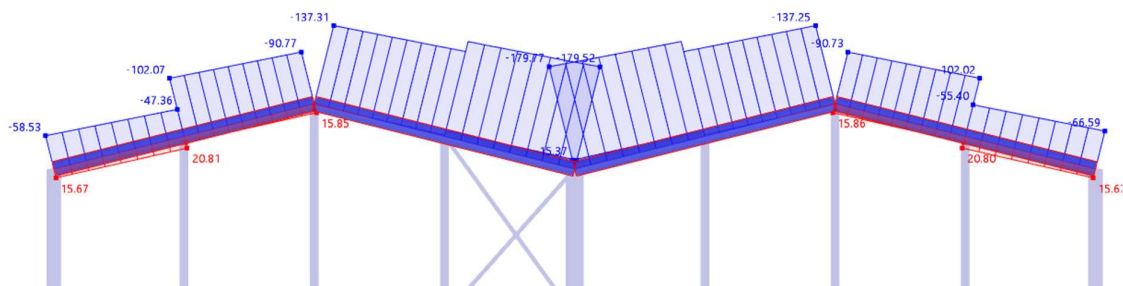
$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} * 100 = \frac{28,6}{66} * 100 = 43\%$$

8.1.3 MSÚ

- O únosnosti sloupu rozhodne kombinace tlaku s ohybem, vliv smyku lze zanedbat
Ohybový moment



Normálová síla



$$M_{Ed,max} = -61,96 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,max} = -256,04 \text{ kN}$$

– Vzpěrné délky

$$\beta_z = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta_z * L = 1 * 4125 = 4125 \text{ mm}$$

$$\beta_y = 1$$

$$L_{cr,y} = \beta_y * L = 1 * 16500 = 16500 \text{ mm}$$

Vzpěrná délka v jednom směru je 1/4 rozpětí kvůli ztužení vodorovnými ztužidly. Ve druhém směru se délka příčle rovná rozpětí jedné loď.

– Štíhlost prutu

$$\lambda_z = L_{cr,z}/i_z = 4125/41,2 = 100,12$$

$$\lambda_y = L_{cr,y}/i_y = 16500/185 = 89,19$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z/\lambda_1 = 100,12/76,06 = 1,32$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y/\lambda_1 = 89,19/76,06 = 1,17$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez HEA 450: vybočení kolmo z-z: $b - \alpha = 0,34$

vybočení kolmo y-y: $a - \alpha = 0,21$

– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi_z = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = (0,5 * (1 + 0,34 * (1,32 - 0,2) + 1,32^2)) = 1,62$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = (0,5 * (1 + 0,21 * (1,17 - 0,2) + 1,17^2)) = 1,33$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,62 + \sqrt{1,62^2 - 1,32^2}} = 0,388$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,33 + \sqrt{1,33^2 - 1,17^2}} = 0,509$$

– Kritický moment

Pomocí výpočetního programu LTBeam: $M_{cr} = 685,73 \text{ kNm}$



– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1702000 * 355}{685,73}} = 0,939$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

– Křivka klopení

$$\frac{h}{b} = \frac{450}{190} = 2,37 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0,49$$

– Součinitel klopení

$$\beta = 0,75$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2 \\ &= 0,5 * (1 + 0,34 * (0,939 - 0,4)) + 0,75 * 0,939^2 = 0,962 \end{aligned}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,962 + \sqrt{0,962^2 - 0,75 * 0,939^2}} = 0,677 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\chi_{LT} = 0,677 < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,939^2} = 1,135 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Interakce tlaku s ohybem

– Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$M_s = 141,9 \text{ kNm}$$

$$M_h = -304,82 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = -202,79$$

Tabulka B.3 – Součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu v tabulkách B.1 a B.2

Průběh momentu	Rozsah	C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
		rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
M_h $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
M_h $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.			
C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:			
Součinitel:		osa ohybu:	body podepřené ve směru:
C_{my}		y-y	z-z
C_{mz}		z-z	y-y
C_{mLT}		y-y	y-y

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{141,9}{-304,82} = -0,47$$



$$\psi = \frac{\psi M_h}{M_h} = -\frac{202,79}{304,82} = 0,67$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 + 0,8 * (-0,47) = 0,472 > 0,4$$

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

– Interakční součinitele

$$N_{Rk} = A * f_y = 9882 * 355 = 3508,11 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right)$$
$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (1,17 - 0,2) * \frac{179,77}{0,509 * 3508,11/1} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{179,77}{0,509 * 3508,11/1} \right) \end{array} \right) = \min(1,016; 0,995)$$
$$= 0,995$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,32 > 0,4 \rightarrow$$

$$k_{zy} = \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$
$$= \max \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 1,32}{0,472 - 0,25} * \frac{179,77}{0,388 * 3508,11/1} \\ 1 - \frac{0,1}{0,472 - 0,25} * \frac{179,77}{0,388 * 3508,11/1} \end{array} \right) = \max(0,922; 0,941) = 0,941$$

– Podmínky spolehlivosti

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 1702000 * 355 = 604,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_y * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{179,77}{0,509 * 3508,11/1} + 0,995 * \frac{304,82}{0,677 * 604,21/1}$$

$$= 0,842 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{\chi_z * N_{Rd}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{179,77}{0,388 * 3508,11/1} + 0,941 * \frac{304,82}{0,677 * 604,21/1}$$

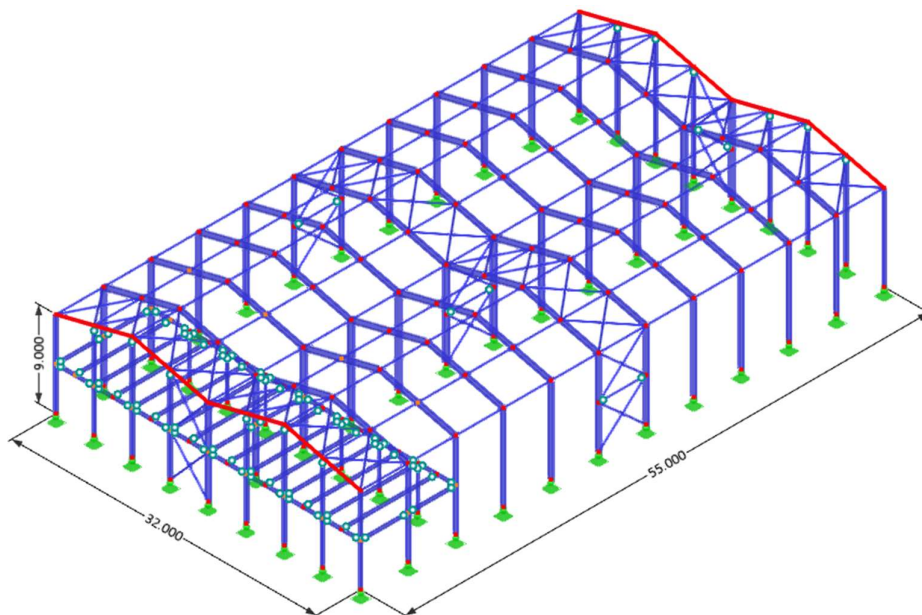
$$= 0,833 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}/\gamma_{M1}} = \frac{179,77}{3508,11/1} + \frac{304,82}{604,21/1} = 0,556 < 1,0 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený průřez **IPE 450** VYHOVUJE.



8.2 Příčel P2



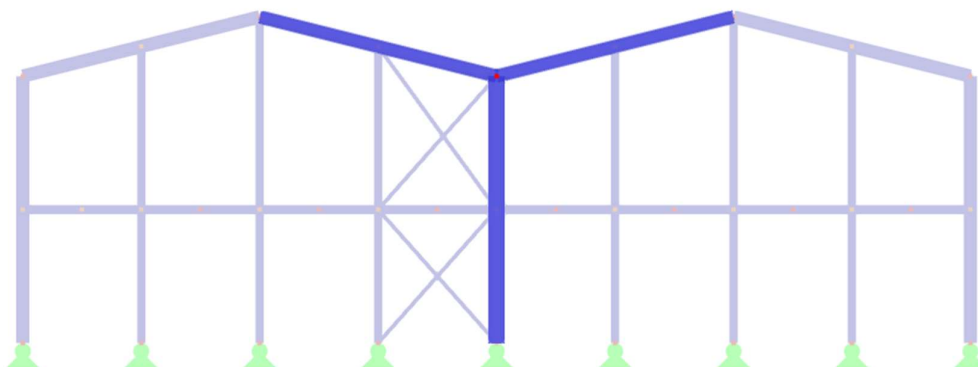
Příčle P2 jsou dimenzovány jako průřez IPE 450. Tyto prvky jsou předdimenzovány, kvůli uchycení střešního pláště a jsou spojeny s krajními sloupy pomocí kloubového přípoje.



9 Návrh rámového rohu

9.1 Rámový roh R1

Spoj sloupu S1 a příčle P1 podle normy ČSN EN 1993-1-8 ed. 2



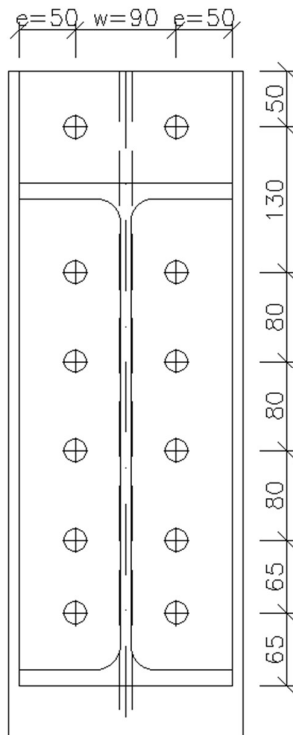
Sloup S1: IPE 550

h=	550 mm
b=	210 mm
t _w =	11,1 mm
t _f =	17,2 mm
r=	24 mm
d=	467,6 mm
A=	13440 mm ²
A _{v,z} =	7234 mm ²
I _y =	671200000 mm ⁴
W _y =	2441000 mm ³
W _{pl,y} =	2787000 mm ³
i _y =	223 mm
I _z =	26680000 mm ⁴
W _z =	254100 mm ³
W _{pl,z} =	400500 mm ³
i _z =	44,5 mm

Příčel P1: IPE 450

h=	450 mm
b=	190 mm
t _w =	9,4 mm
t _f =	14,6 mm
r=	21 mm
d=	378,8 mm
A=	9882 mm ²
A _{v,z} =	5085 mm ²
I _y =	337400000 mm ⁴
W _y =	1500000 mm ³
W _{pl,y} =	1702000 mm ³
i _y =	185 mm
I _z =	16760000 mm ⁴
W _z =	176400 mm ³
W _{pl,z} =	276400 mm ³
i _z =	41,2 mm

- f_y= 355 MPa



9.1.1 Návrh koutových svarů

- tloušťka čelní desky: $t = 15 \text{ mm}$
- mez pevnosti oceli: $f_u = 490 \text{ MPa}$

- Svar čelní desky a tažené pásnice příčle:

$$a_{w,1} \geq t_{fb} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = 14,6 * \frac{355}{1,0} * \frac{0,9 * 1,25}{490 * \sqrt{2}} = 8,41 \text{ mm} \rightarrow 9 \text{ mm}$$

- Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle:

$$a_{w,2} = 7 \text{ mm}$$

- Svar čelní desky a stojiny příčle:

$$a_{w,3} \geq t_{wb} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = 9,4 * \frac{355}{1,0} * \frac{0,9 * 1,25}{490 * \sqrt{2}} = 5,42 \text{ mm} \rightarrow 6 \text{ mm}$$

- Svar výztuhy stojiny sloupu

$$a_{w,4} = 7 \text{ mm}$$

9.1.2 Návrh šroubů

- mez pevnosti šroubů: $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

M20 8.8:

$$\begin{aligned} A_s &= 245 \text{ mm}^2 \\ d &= 20 \text{ mm} \\ d_0 &= 22 \text{ mm} \end{aligned}$$

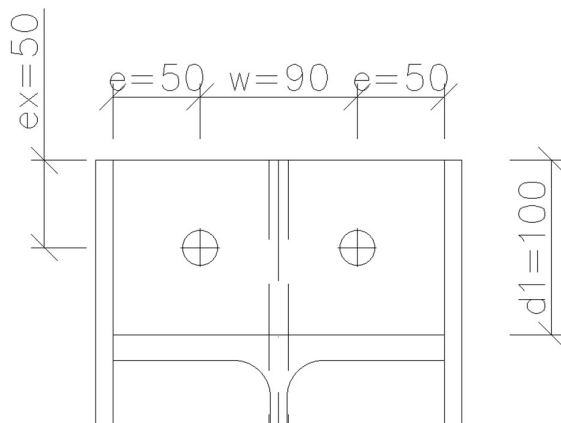


9.1.3 Únosnost řad šroubů v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 245 * 800}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

→ únosnost jednoho šroubu v tahu

- 1. řada šroubů:



$$m_{b,x} = d_1 - e_x - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = 100 - 50 - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 39,82 \text{ mm}$$

$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

- Únosnost 1. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $\ell_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $\ell_{eff,nc}$	Kruhové porušení $\ell_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $\ell_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ ale $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\Sigma \ell_{eff,1} = \Sigma \ell_{eff,nc}$ ale $\Sigma \ell_{eff,1} \leq \Sigma \ell_{eff,cp}$	
2. způsob	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\Sigma \ell_{eff,2} = \Sigma \ell_{eff,nc}$	

α se má získat z obrázku 6.11.

– Řada šroubů uvažovaná samostatně

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min(2 * \pi * m_x; \pi * m_x + w; \pi * m_x + 2 * e)$$

$$= \min(2 * \pi * 39,82; \pi * 39,82 + 90; \pi * 39,82 + 2 * 50) = 215,1 \text{ mm}$$



Nekruhové porušení:

$$l_{ef,nc} = \min(4 * m_x + 1,25 * e_x; e + 2 * m_x + 0,625 * e_x; 0,5 * b_p; 0,5 * w + 2 * m_x + 0,625 * e_x)$$

$$= \min(4 * 39,82 + 1,25 * 50; 50 + 2 * 39,82 + 0,625 * 50; 0,5 * 190; 0,5 * 90 + 2 * 39,82 + 0,625 * 50) = 95,0 \text{ mm}$$

1. způsob

$$l_{ef,1} = \min(l_{ef,cp}; l_{ef,nc}) = \min(215,1; 95,0) = 95,0 \text{ mm}$$

2. způsob

$$l_{ef,2} = l_{ef,nc} = 95,0 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$

Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

– Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{ef,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 95,0 * 17,2 * 335}{1,0} = 2,49 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 2,49}{33,5} = 297,72 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 2,49 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 222,96 \text{ kN}$$

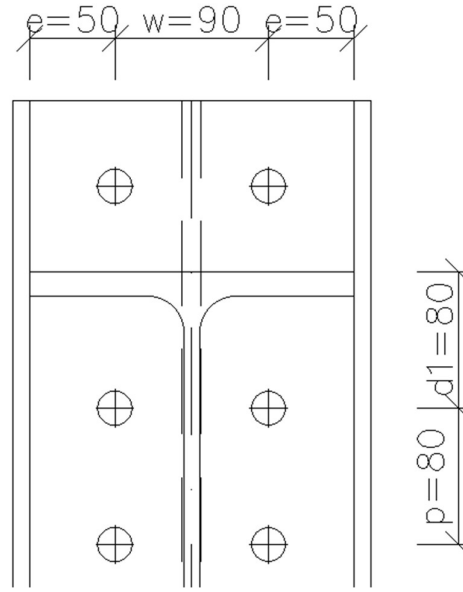
Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 1. řady:

$$F_{T,Rd,1} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(297,72; 222,96; 282,24) = 222,96 \text{ kN}$$

- 2. řada šroubů:



$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

$$m_{b,2} = d_1 - t_{f,b} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = 80 - 14,6 - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 55,2 \text{ mm}$$

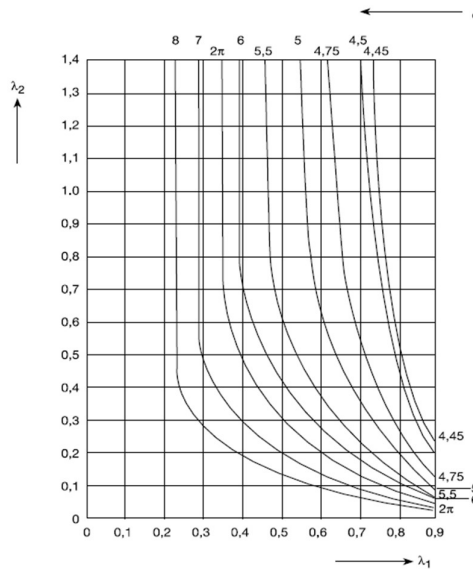
$$m_{c,1} = \frac{w - 0,8 * 2 * r_c - t_{w,c}}{2} = \frac{90 - 0,8 * 2 * 24 - 11,1}{2} = 20,25 \text{ mm}$$

- Hodnota α

$$\lambda_1 = \frac{m_{b,1}}{m_{b,1} + e} = \frac{33,5}{33,5 + 50} = 0,4$$

$$\lambda_1 = \frac{m_{b,2}}{m_{b,1} + e} = \frac{55,2}{33,5 + 50} = 0,66$$

$$\alpha = 6$$





Únosnost 2. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,50p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásní nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ale $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ ale $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
2. způsob	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α se má získat z obrázku 6.11.

– Řada šroubů uvažovaná samostatně

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m_{1,b} = 2 * \pi * 33,5 = 210,6 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \alpha * m_{1,b} = 6 * 33,5 = 201,1 \text{ mm}$$

– Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \pi * m_{1,b} + p = \pi * 33,5 + 80 = 185,3 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 0,5 * p + \alpha * m_{1,b} - (2 * m_{1,b} + 0,625 * e)$$

$$= 0,5 * 80 + 6 * 33,5 - (2 * 33,5 + 0,625 * 50) = 142,8 \text{ mm}$$

1. způsob

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = \min(210,6; 201,1; 185,3; 142,8) = 142,8 \text{ mm}$$

2. způsob

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(201,1; 142,8) = 142,8 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$

Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 M_{p,c,1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p,c,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p,c,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{p,c,1,Rd} + 2 M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{p,c,1,Rd} + 4n M_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{p,c,2,Rd} + n \Sigma F_{1,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{1,Rd}$		



– Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{eff,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 142,8 * 17,2 * 335}{1,0} = 3,75 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 3,75}{33,5} = 447,51 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 3,75 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 256,25 \text{ kN}$$

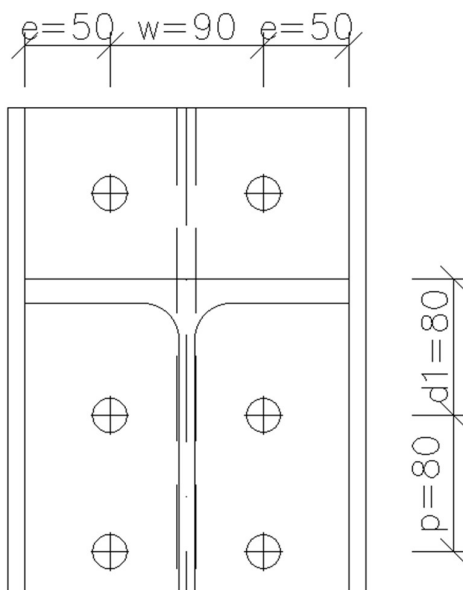
Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 2. řady:

$$F_{T,Rd,2} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(447,51; 256,25; 282,24) = 256,25 \text{ kN}$$

- 3. řada šroubů:



$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

$$m_{b,2} = 80 \text{ mm}$$



Únosnost 3. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ale $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ ale $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
2. způsob	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α se má získat z obrázku 6.11.

- Řada šroubů uvažovaná samostatně
Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m_{1,b} = 2 * \pi * 33,5 = 210,6 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 4 * m_{1,b} + 1,25 * e = 4 * 33,5 + 1,25 * 50 = 196,5 \text{ mm}$$

- Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů
Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * p = 2 * 80 = 160 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = p = 80 \text{ mm}$$

1. způsob

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = \min(210,6; 196,5; 160; 80) = 80 \text{ mm}$$

2. způsob

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(196,5; 80) = 80 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$

Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{p1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{p1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{p1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{p1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{p1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{p1,2Rd} + n\Sigma F_{1,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{1,Rd}$		

- Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení



$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{eff,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 80 * 17,2 * 335}{1,0} = 2,10 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 2,10}{33,5} = 250,71 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 2,10 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 212,51 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 3. řady:

$$F_{T,Rd,3} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(250,71; 212,51; 282,24) = 212,51 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady:

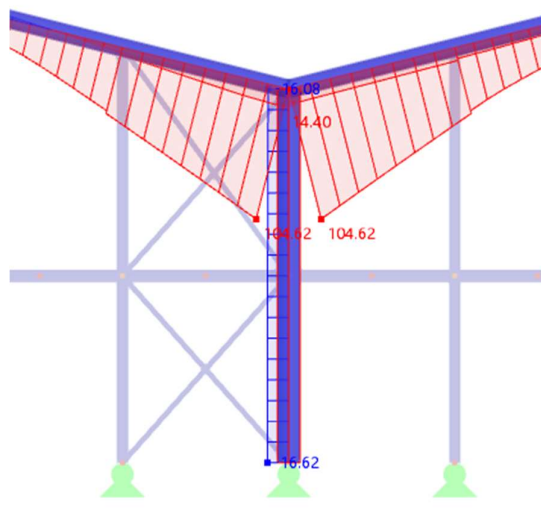
$$F_{T,Rd,4} = 212,51 \text{ kN}$$

Únosnost 5. řady:

$$F_{T,Rd,5} = 212,51 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd,i} = 1116,75 \text{ kN}$$

9.1.4 Únosnost řad šroubů ve smyku



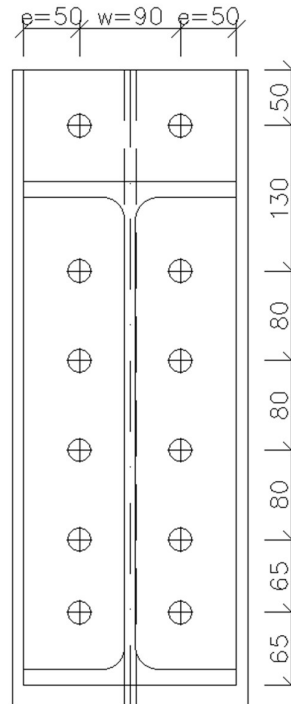
$$V_{Ed,max} = 104,62 \text{ kN}$$

- Únosnost jednoho šroubu ve stříhu – smyková rovina prochází závitem.
- Pro přenos posouvající síly se použije 6. řada šroubů, která není využita pro momentovou únosnost šroubů.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 800}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$



Únosnost jednoho šroubu v otláčení:



$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1/3 * d_0}{f_{ub}/f_u}, \frac{p_1/3 * d_0 - 1/4}{800/490} \right) = \min \left(\frac{50/3 * 22}{65/3 * 22 - 1/4} \right) = \min \left(\frac{0,76}{1,63} \right) = 0,73$$

$$k_1 = \min \left(\frac{2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5}, \frac{2,8 * \frac{50}{22} - 1,7}{2,5} \right) = \min \left(\frac{4,66}{2,5} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,73 * 20 * 15 * 490}{1,25} = 216,05 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 2 * \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 * \min(94,08; 216,05) = 188,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed,max}$$

$$V_{Rd} = 188,16 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 104,62 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd}} * 100 = \frac{104,62}{188,16} * 100 = 56\%$$

9.1.5 Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$M_{c,Rd} = f_y * W_{pl,y} = 355 * 1702000 = 604,2 \text{ kNm}$$

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}} = \frac{604,2}{450 - 14,6} = 1387,7 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \Sigma F_{t,Rd,i}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1387,7 \text{ kN} > \Sigma F_{t,Rd,i} = 1116,75 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



9.1.6 Únosnost stěny sloupu ve smyku

– Štíhlost stěny sloupu

$$\frac{d_c}{t_{w,c}} = \frac{467,6}{11,1} = 42,13 < 69,0 * \varepsilon = 69,0 * 0,81 = 55,89 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Únosnost stěny

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * A_{vc} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 7234 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 1334,41 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} \geq \Sigma F_{t,Rd,i}$$

$$V_{wp,Rd} = 1334,41 \text{ kN} > \Sigma F_{t,Rd,i} = 1116,75 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

9.1.7 Rozdělení sil a momentová podmínka

$$F_{t,Rd,i} \leq 1,9 * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd,1} = 222,96 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$F_{t,Rd,2} = 256,25 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$F_{t,Rd,3-5} = 212,51 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Podmínky pro plastické rozdělení sil jsou splněny

Řada	Únosnost řady	Rameno
	[kN]	[mm]
1	222,96	0,4927
2	256,25	0,3627
3	212,51	0,2827
4	212,51	0,2027
5	212,51	0,1227

Celkem: 904,24

- Momentová podmínka

$$M_{Ed,max} = 304,81 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \sum F_{t,Rd,i} * h_i$$

$$= 222,96 * 0,4927 + 256,25 * 0,3627 + 3 * 212,51 * (0,2827 + 0,2027 + 0,1227)$$

$$= 332,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed,max}$$

$$M_{Rd} = 332,02 \text{ kN} > M_{Ed,max} = 304,81 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

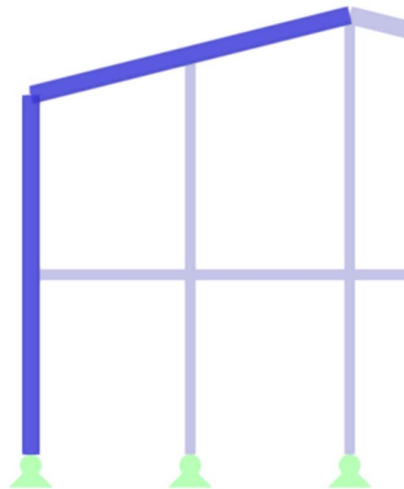
Využití

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} * 100 = \frac{304,81}{332,02} * 100 = 91\%$$



9.2 Rámový roh R2

Spoj sloupu S2 a příčle P1 podle normy ČSN EN 1993-1-8 ed. 2



Sloup S2: IPE 450

h=	450 mm
b=	190 mm
t _w =	9,4 mm
t _f =	14,6 mm
r=	21 mm
d=	378,8 mm
A=	9882 mm ²
A _{v,z} =	5085 mm ²
I _y =	337400000 mm ⁴
W _y =	1500000 mm ³
W _{pl,y} =	1702000 mm ³
i _y =	185 mm
I _z =	16760000 mm ⁴
W _z =	176400 mm ³
W _{pl,z} =	276400 mm ³
i _z =	41,2 mm

Příčel P1: IPE 450

h=	450 mm
b=	190 mm
t _w =	9,4 mm
t _f =	14,6 mm
r=	21 mm
d=	378,8 mm
A=	9882 mm ²
A _{v,z} =	5085 mm ²
I _y =	3,37E+08 mm ⁴
W _y =	1500000 mm ³
W _{pl,y} =	1702000 mm ³
i _y =	185 mm
I _z =	16760000 mm ⁴
W _z =	176400 mm ³
W _{pl,z} =	276400 mm ³
i _z =	41,2 mm

- f_y= 355 MPa



9.2.1 Návrh koutových svarů

- tloušťka čelní desky: $t = 15 \text{ mm}$
- mez pevnosti oceli: $f_u = 490 \text{ MPa}$

- Svar čelní desky a tažené pásnice příčle:

$$a_{w,1} \geq t_{fb} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = 14,6 * \frac{355}{1,0} * \frac{0,9 * 1,25}{490 * \sqrt{2}} = 8,41 \text{ mm} \rightarrow 9 \text{ mm}$$

- Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle:

$$a_{w,2} = 7 \text{ mm}$$

- Svar čelní desky a stojiny příčle:

$$a_{w,3} \geq t_{wb} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = 9,4 * \frac{355}{1,0} * \frac{0,9 * 1,25}{490 * \sqrt{2}} = 5,42 \text{ mm} \rightarrow 6 \text{ mm}$$

- Svar výztuhy stojiny sloupu

$$a_{w,4} = 7 \text{ mm}$$

9.2.2 Návrh šroubů

- mez pevnosti šroubů: $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

M20 8.8:

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

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

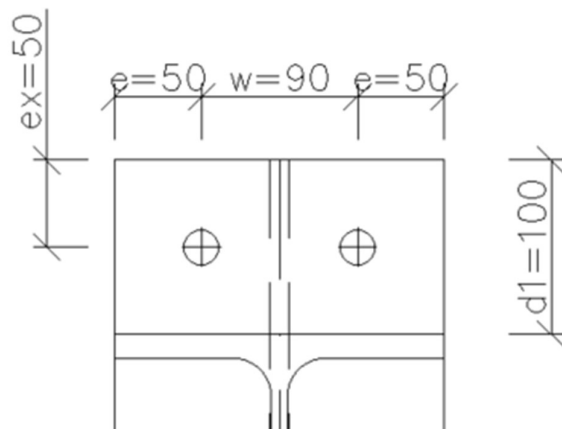
$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

9.2.3 Únosnost řad šroubů v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 245 * 800}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

→ únosnost jednoho šroubu v tahu

- 1. řada šroubů:





$$m_{b,x} = d_1 - e_x - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = 100 - 50 - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 39,82 \text{ mm}$$

$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

- Únosnost 1. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ale $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ ale $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
2. způsob	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α se má získat z obrázku 6.11.

– Řada šroubů uvažovaná samostatně

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min(2 * \pi * m_x; \pi * m_x + w; \pi * m_x + 2 * e)$$

$$= \min(2 * \pi * 39,82; \pi * 39,82 + 90; \pi * 39,82 + 2 * 50) = 215,1 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \min(4 * m_x + 1,25 * e_x; e + 2 * m_x + 0,625 * e_x; 0,5 * b_p; 0,5 * w + 2 * m_x + 0,625 * e_x)$$

$$= \min(4 * 39,82 + 1,25 * 50; 50 + 2 * 39,82 + 0,625 * 50; 0,5 * 190; 0,5 * 90 + 2 * 39,82 + 0,625 * 50) = 95,0 \text{ mm}$$

3. způsob

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = \min(215,1; 95,0) = 95,0 \text{ mm}$$

4. způsob

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 95,0 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$



Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

– Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{ef,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 95,0 * 14,6 * 335}{1,0} = 1,80 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 1,80}{33,5} = 214,52 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 1,80 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 204,47 \text{ kN}$$

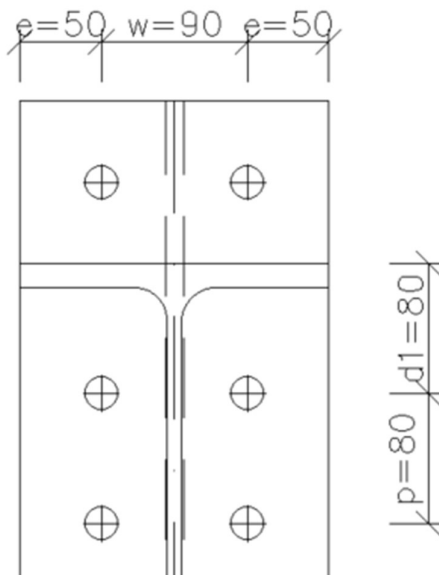
Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 1. řady:

$$F_{T,Rd,1} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(214,52; 204,47; 282,24) = 204,47 \text{ kN}$$

- 2. řada šroubů:





$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

$$m_{b,2} = d_1 - t_{f,b} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = 80 - 14,6 - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 55,2 \text{ mm}$$

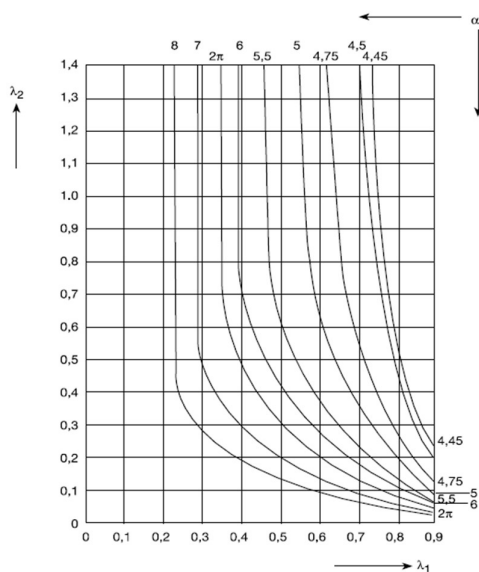
$$m_{c,1} = \frac{w - 0,8 * 2 * r_c - t_{w,c}}{2} = \frac{90 - 0,8 * 2 * 21 - 9,4}{2} = 23,5 \text{ mm}$$

– Hodnota α

$$\lambda_1 = \frac{m_{b,1}}{m_{b,1} + e} = \frac{33,5}{33,5 + 50} = 0,4$$

$$\lambda_1 = \frac{m_{b,2}}{m_{b,1} + e} = \frac{55,2}{33,5 + 50} = 0,66$$

$$\alpha = 6$$



Únosnost 2. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,50p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}}$ ale $l_{\text{eff,1}} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff,1}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ ale $\Sigma l_{\text{eff,1}} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
2. způsob	$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff,2}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	
α se má získat z obrázku 6.11.				



- Řada šroubů uvažovaná samostatně

Kruhové porušení:

$$l_{ef,cp} = 2 * \pi * m_{1,b} = 2 * \pi * 33,5 = 210,6 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{ef,nc} = \alpha * m_{1,b} = 6 * 33,5 = 201,1 \text{ mm}$$

- Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů

Kruhové porušení:

$$l_{ef,cp} = \pi * m_{1,b} + p = \pi * 33,5 + 80 = 185,3 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{ef,nc} = 0,5 * p + \alpha * m_{1,b} - (2 * m_{1,b} + 0,625 * e) \\ = 0,5 * 80 + 6 * 33,5 - (2 * 33,5 + 0,625 * 50) = 142,8 \text{ mm}$$

1. způsob

$$l_{ef,1} = \min(l_{ef,cp}; l_{ef,nc}) = \min(210,6; 201,1; 185,3; 142,8) = 142,8 \text{ mm}$$

2. způsob

$$l_{ef,2} = \min(l_{ef,nc}) = \min(201,1; 142,8) = 142,8 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$

Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

- Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{ef,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 142,8 * 14,6 * 335}{1,0} = 2,70 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 2,70}{33,5} = 322,45 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 2,70 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 228,45 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3:

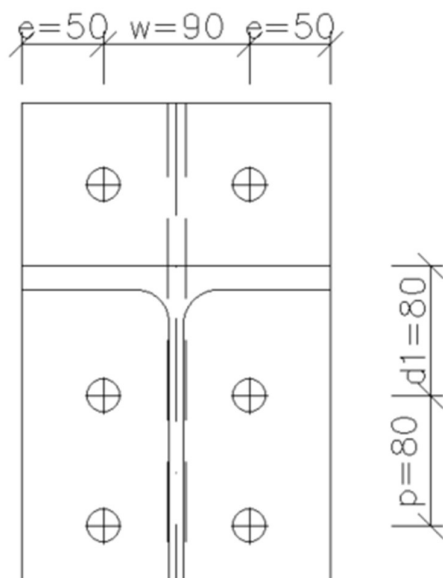
$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 2. řady:

$$F_{T,Rd,2} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(322,45; 228,45; 282,24) = 228,45 \text{ kN}$$



- 3. řada šroubů:



$$m_{b,1} = \frac{w - t_{w,b}}{2} - 0,8 * a_{w,1} * \sqrt{2} = \frac{90 - 9,4}{2} - 0,8 * 9 * \sqrt{2} = 33,5 \text{ mm}$$

$$m_{b,2} = 80 \text{ mm}$$

Únosnost 3. řady šroubů:

Tabulka 6.6 – Účinné délky pro čelní desku

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$	Kruhové porušení $l_{eff,cp}$	Nekruhové porušení $l_{eff,nc}$
Řada šroubů vně tažené pásnice nosníku	nejmenší z: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	nejmenší z: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	–	–
Řada šroubů pod taženou pásnicí nosníku	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. způsob	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ ale $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ ale $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
2. způsob	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

α se má získat z obrázku 6.11.

– Řada šroubů uvažovaná samostatně

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m_{1,b} = 2 * \pi * 33,5 = 210,6 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 4 * m_{1,b} + 1,25 * e = 4 * 33,5 + 1,25 * 50 = 196,5 \text{ mm}$$



– Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů

Kruhové porušení:

$$l_{ef,cp} = 2 * p = 2 * 80 = 160 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení:

$$l_{ef,nc} = p = 80 \text{ mm}$$

3. způsob

$$l_{ef,1} = \min(l_{ef,cp}; l_{ef,nc}) = \min(160; 80) = 80 \text{ mm}$$

4. způsob

$$l_{ef,2} = \min(l_{ef,nc}) = \min(80) = 80 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 * m_{1,b}) = \min(50; 1,25 * 33,5) = \min(50; 41,875) = 41,875 \text{ mm}$$

Tabulka 6.2 – Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu

	Páčící síly mohou vzniknout, např. $L_b \leq L_b^*$		Bez páčících sil
1. způsob	1. metoda	2. metoda (variantní)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Bez příložek	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
S příložkami	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
2. způsob	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
3. způsob	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

– Únosnost pásnice pro jednotlivé způsoby porušení

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 * l_{ef,1/2} * t_{fc}^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 80 * 14,6 * 335}{1,0} = 1,51 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 1:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{b,1}} = \frac{4 * 1,51}{33,5} = 180,65 \text{ kN}$$

Způsob porušení 2:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,1,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{b,1} + n} = \frac{2 * 1,51 + 41,875 * 2 * 141,12}{33,5 + 41,875} = 196,94 \text{ kN}$$

Způsob porušení 3:

$$F_{T,3,Rd} = 2 * F_{t,Rd} = 2 * 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 3. řady:

$$F_{T,Rd,3} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(180,65; 196,94; 282,24) = 180,65 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady:

$$F_{T,Rd,4} = 180,65 \text{ kN}$$

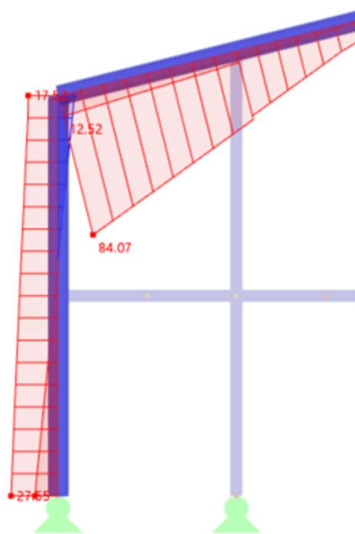
Únosnost 5. řady:

$$F_{T,Rd,5} = 180,65 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd,i} = 974,86 \text{ kN}$$



9.2.4 Únosnost řad šroubů ve smyku

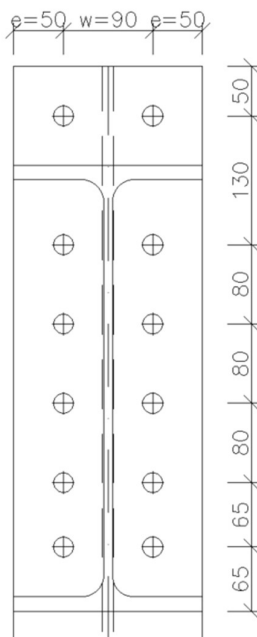


$$V_{Ed,max} = 84,07 \text{ kN}$$

- Únosnost jednoho šroubu ve stříhu – smyková rovina prochází závitem.
- Pro přenos posouvající síly se použije 6. řada šroubů, která není využita pro momentovou únosnost šroubů.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 800}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v otláčení:





$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1/3 * d_0}{f_{ub}/f_u}, \frac{50/3 * 22}{800/490} \right) = \min \left(\frac{0,76}{1,63} \right) = 0,73$$

$$k_1 = \min \left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 2,8 * \frac{50}{22} - 1,7 \right) = \min \left(\frac{4,66}{2,5} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,73 * 20 * 15 * 490}{1,25} = 216,05 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 2 * \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 * \min(94,08; 216,05) = 188,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed,max}$$

$$V_{Rd} = 188,16 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 84,07 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{Rd}} * 100 = \frac{84,07}{188,16} * 100 = 45\%$$

9.2.5 Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$M_{c,Rd} = f_y * W_{pl,y} = 355 * 1702000 = 604,2 \text{ kNm}$$

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_{fb}} = \frac{604,2}{450 - 14,6} = 1387,7 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \Sigma F_{t,Rd,i}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1387,7 \text{ kN} > \Sigma F_{t,Rd,i} = 974,86 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

9.2.6 Únosnost stěny sloupu ve smyku

– Štíhlost stěny sloupu

$$\frac{d_c}{t_{w,c}} = \frac{378,8}{9,4} = 42,13 < 69,0 * \varepsilon = 69,0 * 0,81 = 55,89 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Příspěvek příčných výztuh a pásnic

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{0,25 * b_c * t_{fc} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 190 * 14,6 * 355}{1,0} = 246193 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{0,25 * b_{st} * t_{st} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 * 190 * 15 * 355}{1,0} = 252938 \text{ Nmm}$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min \left(\frac{2 * M_{pl,fc,Rd} + 2 * M_{pl,st,Rd}}{d_s}; \frac{4 * M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \right) \\ = \min \left(\frac{2 * 246193 + 2 * 252938}{550}; \frac{4 * 246193}{550} \right) = 1790,491$$

– Únosnost stěny

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * A_{vc} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 * 5085 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} + 1,790 = 939,79 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} \geq \Sigma F_{t,Rd,i}$$

$$V_{wp,Rd} = 939,79 \text{ kN} < \Sigma F_{t,Rd,i} = 974,86 \text{ kN} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$



Únosnost stěny sloupu ve smyku je menší než součet tahových sil -> pro zvýšení únosnosti stěny se použije příložka. $t_s = 6 \text{ mm}$

$$b_s = \min(40 * \varepsilon * t_s; h_c - 2 * r_c - 2 * t_s - 2 * t_{fc})$$
$$= \min(40 * 0,81 * 6; 450 - 2 * 21 - 2 * 6 - 2 * 14,6) = 194,4$$

$$A_{vc,mod} = A_{vc} + b_s * t_{wc} = 5085 + 194,4 * 9,4 = 6912,36 \text{ mm}^2$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * A_{vc,mod} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 * 6912,36 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} + 1,790 = 1276,87 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} \geq \Sigma F_{t,Rd,i}$$

$$V_{wp,Rd} = 1276,87 \text{ kN} < \Sigma F_{t,Rd,i} = 974,86 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

9.2.7 Rozdělení sil a momentová podmínka

$$F_{t,Rd,i} \leq 1,9 * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd,1} = 204,47 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$F_{t,Rd,2} = 228,45 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$F_{t,Rd,3-5} = 180,65 \text{ kN} > 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 141,12 = 268,13 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Podmínky pro plastické rozdělení sil jsou splněny

Řada	Únosnost řady	Rameno
	[kN]	[mm]
1	204,47	0,4927
2	228,45	0,3627
3	180,65	0,2827
4	180,65	0,2027
5	180,65	0,1227

Celkem: 794,22

- Momentová podmínka

$$M_{Ed,max} = 202,79 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \sum F_{t,Rd,i} * h_i$$

$$= 204,47 * 0,4927 + 228,45 * 0,3627 + 3 * 180,65 * (0,2827 + 0,2027 + 0,1227)$$

$$= 293,45 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed,max}$$

$$M_{Rd} = 293,45 \text{ kN} > M_{Ed,max} = 202,79 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} * 100 = \frac{202,79}{293,45} * 100 = 69\%$$



10 Kloubové patky

10.1 Kloubová patka pod sloupem S1

- Rozměr patního plechu

$$a_0 = 400 \text{ mm}$$

$$b_0 = 700 \text{ mm}$$

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

- Kotvy

4x24M

- Průřez sloupu

IPE 550

- Beton

C25/30

10.1.1 Návrh betonového základu

- Návrhová únosnost základové půdy

$$R_d = 300 \text{ kPa}$$

- Rozměry základové patky

$$N_{Ed,max} = 234,33 \text{ kN}$$

$$R_d \geq \frac{N_{Ed,max}}{S_c}$$

$$S_c \geq \frac{N_{Ed,max}}{R_d} = \frac{234,33}{300} = 0,781 \text{ m}^2$$

- $a_c = 900 \text{ mm}$

$$b_c = 1500 \text{ mm}$$

$$h_c = 800 \text{ mm}$$

$$S_c = 1,35 \text{ m}^2$$

- Únosnost základové patky v tlaku

$$a_1 = \min(3 * a_0; a_0 + h_c; a_c) = \min(3 * 400; 400 + 800; 900) = 900 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 * b_0; b_0 + h_c; b_c) = \min(3 * 700; 700 + 800; 1500) = 1500 \text{ mm}$$

- Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{900 * 1500}{400 * 700}} = 2,20$$

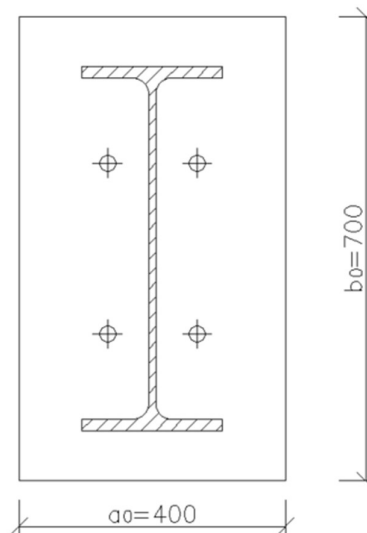
- Návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku

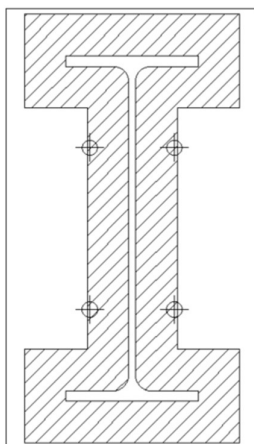
$$f_{jd} = \frac{\frac{2}{3} * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} * 2,20 * 25}{1,5} = 24,4 \text{ MPa}$$

Tloušťka podlití: $50 \text{ mm} < 0,2 * 400 = 80 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

- Účinná šířka patní desky

$$c = t * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd}}} = \sqrt{\frac{335}{3 * 24,4}} = 66,07 \text{ mm}$$





$$A_{eff} = 143675,6 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = (143675,6 * 24,4) * 10^{-3} = 3505,325 \text{ kN} > N_{Ed} = 234,33 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

10.2 Kloubová patka pod sloupem S6

- Rozměr patního plechu

$$a_0 = 300 \text{ mm}$$

$$b_0 = 300 \text{ mm}$$

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

- Kotvy

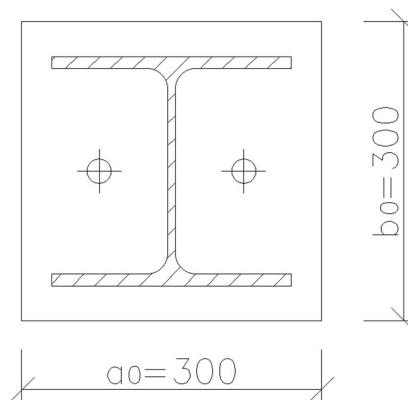
2x24M

- Průřez sloupu

HEA 240

- Beton

C25/30



10.2.1 Návrh betonového základu

- Návrhová únosnost základové půdy

$$R_d = 300 \text{ kPa}$$

- Rozměry základové patky

$$N_{Ed,max} = 256,04 \text{ kN}$$

$$R_d \geq \frac{N_{Ed,max}}{S_c}$$

$$S_c \geq \frac{N_{Ed,max}}{R_d} = \frac{256,04}{300} = 0,853 \text{ m}^2$$

- $a_c = 1200 \text{ mm}$
 $b_c = 1200 \text{ mm}$
 $h_c = 800 \text{ mm}$
 $S_c = 1,44 \text{ m}^2$

- Únosnost základové patky v tlaku

$$a_1 = \min(3 * a_0; a_0 + h_c; a_c) = \min(3 * 300; 300 + 800; 1200) = 900 \text{ mm}$$



$$b_1 = \min(3 * b_0; b_0 + h_c; b_c) = \min(3 * 300; 300 + 800; 1200) = 900 \text{ mm}$$

– Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{900 * 900}{300 * 300}} = 3,0$$

– Návrhová pevnost betonu v koncentrovaném tlaku

$$f_{jd} = \frac{\frac{2}{3} * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} * 3,0 * 25}{1,5} = 33,3 \text{ MPa}$$

Tloušťka podlití: $50 \text{ mm} < 0,2 * 300 = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

– Účinná šířka patní desky

$$c = t * \sqrt{\frac{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}{3 * f_{jd}}} = \sqrt{\frac{\frac{335}{1,0}}{3 * 33,3}} = 56,52 \text{ mm}$$

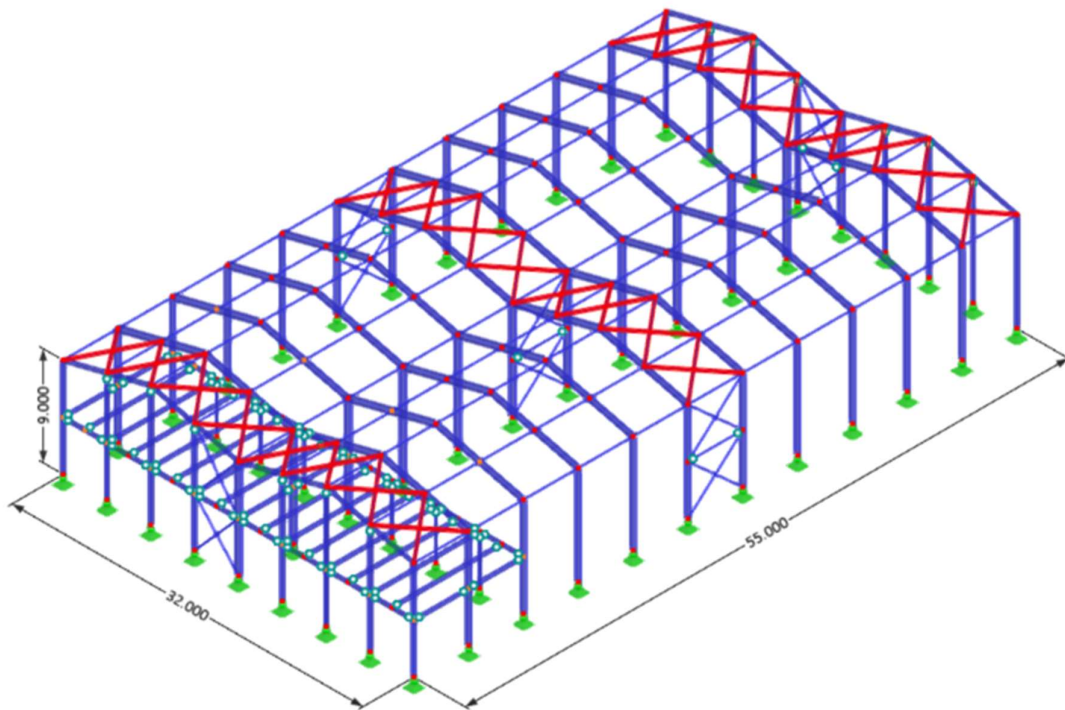
$$A_{eff} = 99493,64 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = (99493,64 * 33,3) * 10^{-3} = 3316,455 \text{ kN} > N_{Ed} = 256,04 \text{ kN}$$

$\rightarrow \text{VYHOVUJE}$

11 Návrh ztužidel

11.1 Střešní ztužidla



- Délka ztužidla: $L = 6,5 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$



11.1.1 Návrh průřezu

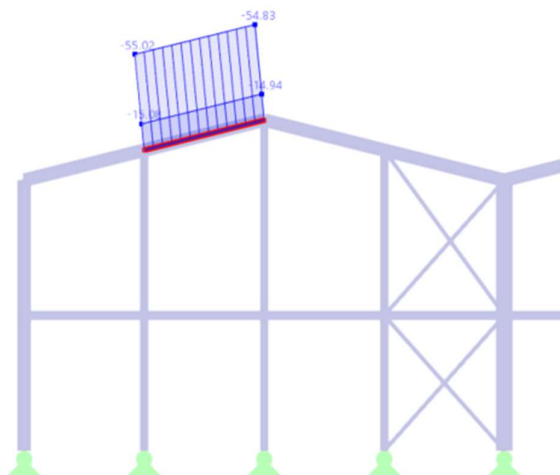
CHS 60x5

$$A = 1021 \text{ mm}^2$$

$$i = 23 \text{ mm}$$

11.1.2 Tlačená diagonála

Normálová síla



$$N_{Ed,max} = -55,02 \text{ kN}$$

– Vzpěrná délka prutu

$$L_{cr} = 6500/2 = 3250 \text{ mm}$$

– Štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3250}{23} = 141,30 < 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \lambda/\lambda_1 = 141,30/76,06 = 1,86$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez CHS: $c - \alpha = 0,49$

– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (1,86 - 0,2) + 1,86^2)) = 2,73$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,73 + \sqrt{2,73^2 - 1,86^2}} = 0,211$$



– Vzpěrná únosnost prutu

$$N_{Rd} = \frac{\chi * f_y * A}{\gamma_{M0}} = \frac{0,211 * 355 * 1021}{1,0} = 76,63 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$$

$$N_{Rd} = 76,63 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 55,02 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} * 100 = \frac{55,02}{76,63} * 100 = 72\%$$

Navržený průřez **CHS 70x5,0** VYHOVUJE.

11.1.3 Návrh šroubového přípoje

- mez pevnosti oceli: $f_u = 490 \text{ MPa}$
- mez pevnosti šroubů: $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$
- tloušťka připojovacího plechu: $t = 6 \text{ mm}$

M16 8.8:

$$A_s = 201 \text{ mm}^2$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1/3 * d_0}{f_{ub}/f_u}, \frac{40/3 * 18}{800/490} \right) = \min \left(\frac{0,74}{1,63}, \frac{0,74}{0,86} \right) = 0,74$$

$$k_1 = \min \left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7, \frac{2,8 * \frac{50}{18} - 1,7}{2,5} \right) = \min \left(2,5, \frac{6,08}{2,5} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 16 * 6 * 490}{1,25} = 69,69 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed,max}}{\min(F_{b,Rd}; F_{v,Rd})} = \frac{55,02}{\min(69,69; 77,2)} = 0,60 \rightarrow 2 \text{ šrouby}$$



11.1.4 Návrh svaru

$$L_w = 50 \text{ mm}$$

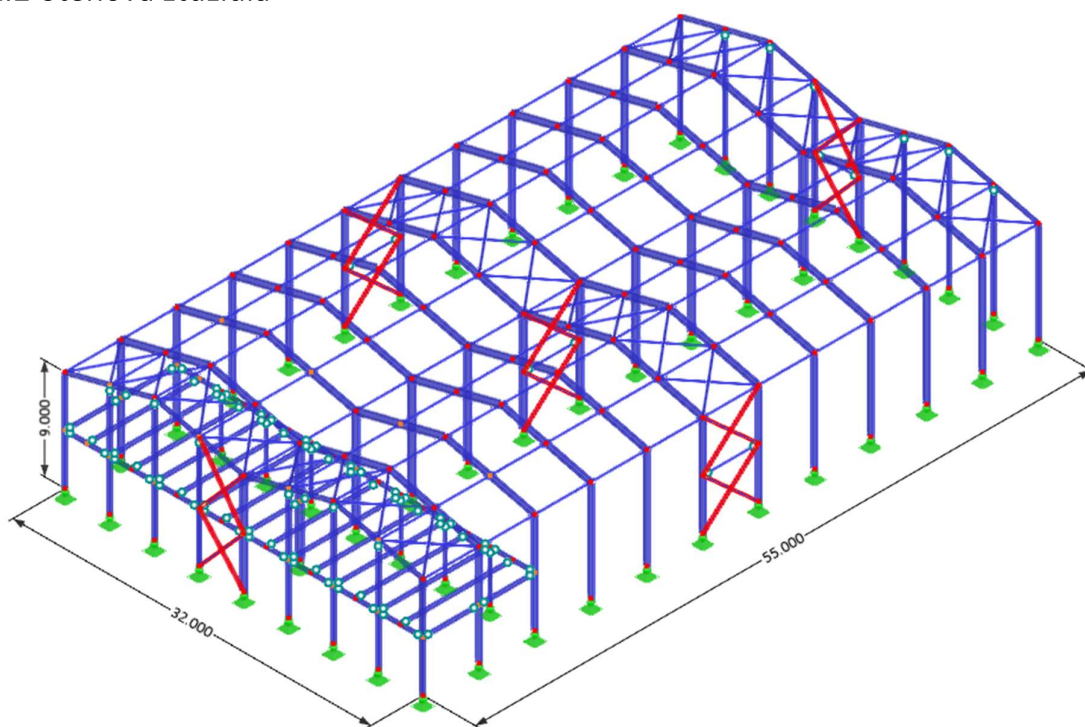
$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$T_{II} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a_w * L_w} = \frac{55,02 * 10^3}{4 * 3 * 50} = 69,22 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 * T_{II}^2} = \sqrt{3 * 69,22^2} = 119,89 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,56 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

11.2 Stěnová ztužidla



- Délka ztužidla: $L = 6,75 \text{ m}$
- $f_y = 355 \text{ MPa}$

11.2.1 Návrh průřezu

CHS 76,0x5

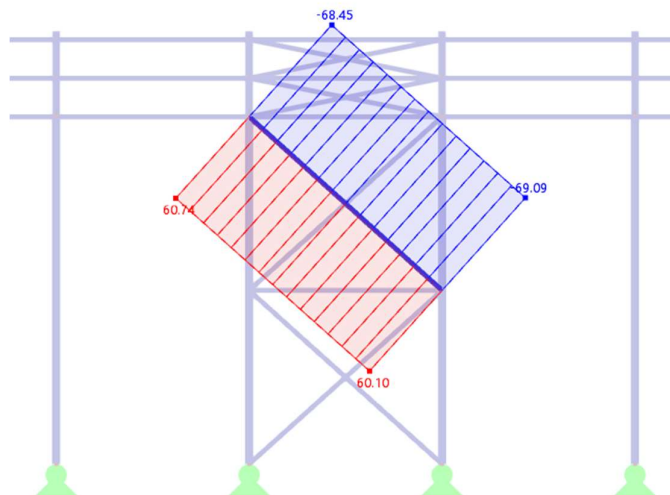
$$A = 919 \text{ mm}^2$$

$$i = 20,8 \text{ mm}$$



11.2.2 Tlačená diagonála

Normálová síla



$$N_{Ed,max} = -69,09 \text{ kN}$$

– Vzpěrná délka prutu

$$L_{cr} = 6750/2 = 3375 \text{ mm}$$

– Štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3375}{25,2} = 133,93 < 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \lambda/\lambda_1 = 133,93/76,06 = 1,76$$

– Křivky vzpěrnosti

Pro průřez CHS: $c - \alpha = 0,49$

– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (1,76 - 0,2) + 1,76^2)) = 2,53$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,53 + \sqrt{2,53^2 - 1,76^2}} = 0,230$$

– Vzpěrná únosnost prutu

$$N_{Rd} = \frac{\chi * f_y * A}{\gamma_{M0}} = \frac{0,230 * 355 * 1115}{1,0} = 91,03 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$$

$$N_{Rd} = 91,03 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 69,09 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Využití

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} * 100 = \frac{69,09}{91,03} * 100 = 76\%$$

Navržený průřez **CHS 76x5,0** VYHOVUJE.

11.2.3 Návrh šroubového přípoje

- mez pevnosti oceli: $f_u = 490$ MPa
- mez pevnosti šroubů: $f_{ub} = 800$ MPa
- tloušťka připojovacího plechu: $t = 6$ mm

M16 8.8:

$$A_s = 201 \text{ mm}^2$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1/3 * d_0}{f_{ub}/f_u}, \frac{e_1/3 * d_0}{p_1/3 * d_0 - 1/4} \right) = \min \left(\frac{40/3 * 18}{800/490}, \frac{40/3 * 18}{60/3 * 18 - 1/4} \right) = \min \left(\frac{0,74}{1,63}, \frac{0,74}{0,86} \right) = 0,74$$

$$k_1 = \min \left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 2,8 * \frac{e_2}{18} - 1,7 \right) = \min \left(2,8 * \frac{50}{18} - 1,7, \frac{6,08}{2,5} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 16 * 6 * 490}{1,25} = 69,69 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed,max}}{\min(F_{b,Rd}; F_{v,Rd})} = \frac{69,09}{\min(69,69; 77,2)} = 0,78 \rightarrow 2 \text{ šrouby}$$

11.2.4 Návrh svaru

$$L_w = 50 \text{ mm}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

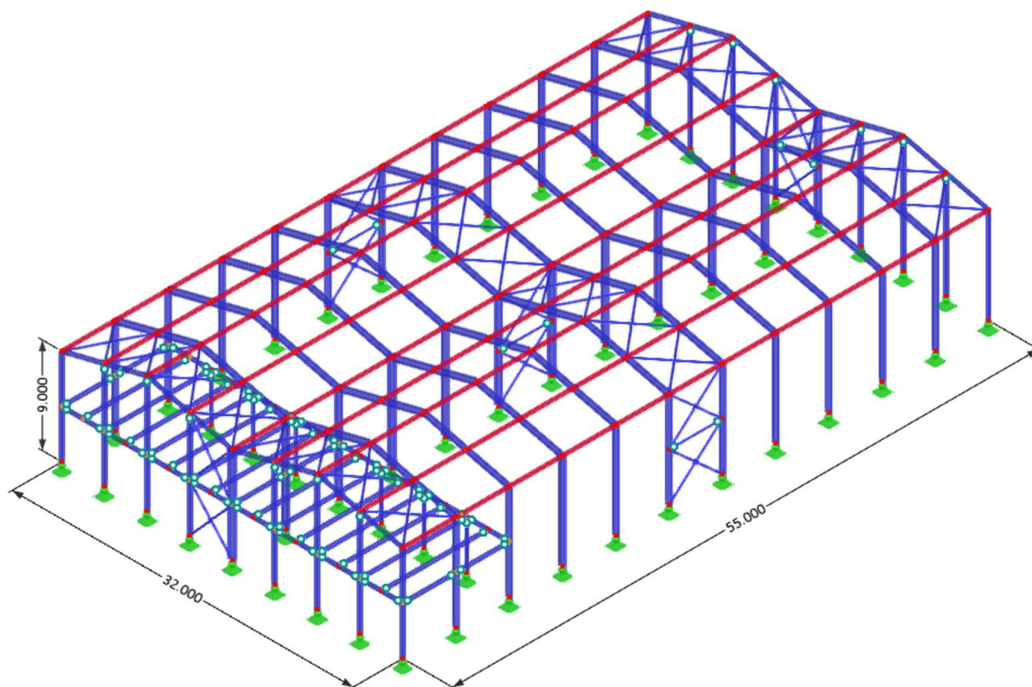
$$T_{II} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a_w * L_w} = \frac{69,09 * 10^3}{4 * 3 * 50} = 90,28 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 * T_{II}^2} = \sqrt{3 * 90,28^2} = 156,38 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,56 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE



11.3 Vodorovná ztužidla



- Délka ztužidla: $L = 5000$ m
- $f_y = 355$ MPa

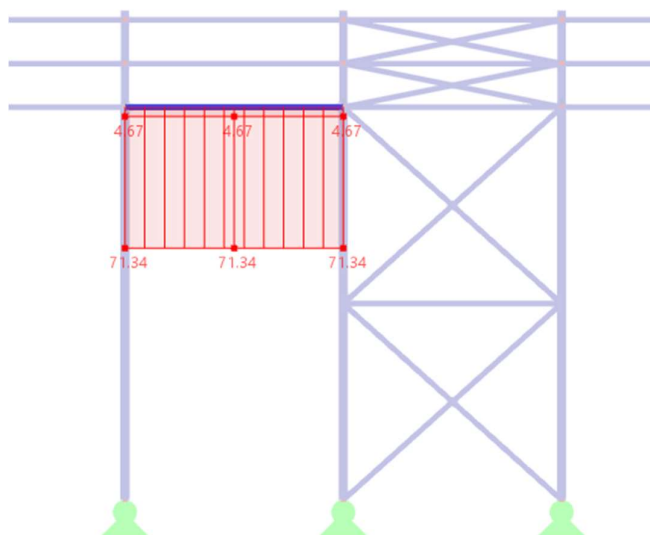
11.3.1 Návrh průřezu

CHS 82,5x8

- A = 1872 mm²
- i = 26,5 mm

11.3.2 Tlačená diagonála

Normálová síla



$$N_{Ed,max} = 71,34 \text{ kN}$$



– Vzpěrná délka prutu

$$L_{cr} = 5000 \text{ mm}$$

– Štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5000}{26,5} = 188,68 < 200 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

– Relativní štíhlost

$$\varepsilon = 0,81$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,06$$

– Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 188,68 / 76,06 = 2,48$$

– Křivky vzpěrnosti

$$\text{Pro průřez CHS:} \quad \mathbf{c - \alpha = 0,49}$$

– Součinitele vzpěrnosti

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = (0,5 * (1 + 0,49 * (2,48 - 0,2) + 2,48^2)) = 4,23$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,23 + \sqrt{4,23^2 - 2,48^2}} = 0,130$$

– Vzpěrná únosnost prutu

$$N_{Rd} = \frac{\chi * f_y * A}{\gamma_{M0}} = \frac{0,130 * 355 * 1872}{1,0} = 86,71 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed,max}$$

$$N_{Rd} = 86,71 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 71,34 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Využití

$$\frac{N_{Ed,max}}{N_{Rd}} * 100 = \frac{71,34}{86,71} * 100 = 82\%$$

Navržený průřez **CHS 82,5x8,0** VYHOVUJE.

11.3.3 Návrh šroubového přípoje

- mez pevnosti oceli: $f_u = 490 \text{ MPa}$
- mez pevnosti šroubů: $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$
- tloušťka připojovacího plechu: $t = 6 \text{ mm}$

M16 8.8:

$$A_s = 201 \text{ mm}^2$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$



$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1/3 * d_0}{f_{ub}/f_u}, \frac{p_1/3 * d_0 - 1/4}{60/3 * 18 - 1/4} \right) = \min \left(\frac{40/3 * 18}{800/490}, \frac{0,74}{1,63} \right) = \min \left(\frac{0,74}{0,86} \right) = 0,74$$

$$k_1 = \min \left(\frac{2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5}, \frac{2,8 * \frac{50}{18} - 1,7}{2,5} \right) = \min \left(\frac{6,08}{2,5} \right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 16 * 6 * 490}{1,25} = 69,69 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed,max}}{\min(F_{b,Rd}; F_{v,Rd})} = \frac{71,34}{\min(69,69; 77,2)} = 1,02 \rightarrow 2 \text{ šrouby}$$

11.3.4 Návrh svaru

$$L_w = 50 \text{ mm}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$T_{II} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a_w * L_w} = \frac{71,34 * 10^3}{4 * 3 * 50} = 118,90 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 * T_{II}^2} = \sqrt{3 * 69,22^2} = 205,94 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,56 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE



12 Zdroje

- ČSN EN 1990 „Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí“
- ČSN EN 1991-1-3 „Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem“
- ČSN EN 1991-1-4 „Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem“
- ČSN EN 1993-1-1 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“
- ČSN EN 1993-1-8 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků“
- Navrhování nosných konstrukcí – ocel, příklady: Eliášová, M., Sokol Z., 2019
- Ocelové konstrukce – Tabulky: Sokol Z., Wald F., 2016
- Výpočetní program: Dlubal RFEM 6, LTBbeam

13 Přílohy

- Střešní sendvičový panel: Kingspan KS1000 FF, tl. 200 mm
 - Zdroj: <https://www.kingspan.com/>
- Trapézový plech: TR 50/250/1,0
 - Zdroj: <https://kovprof.cz/>
- Tenkostěnná vaznice: Z 210/2,5-S a Z 210/2,0-S
 - Zdroj: <https://kovprof.cz/>
- Tenkostěnný paždik: C 210/1,5-S
 - Zdroj: <https://kovprof.cz/>
- Výstupy z programu LTBeam

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



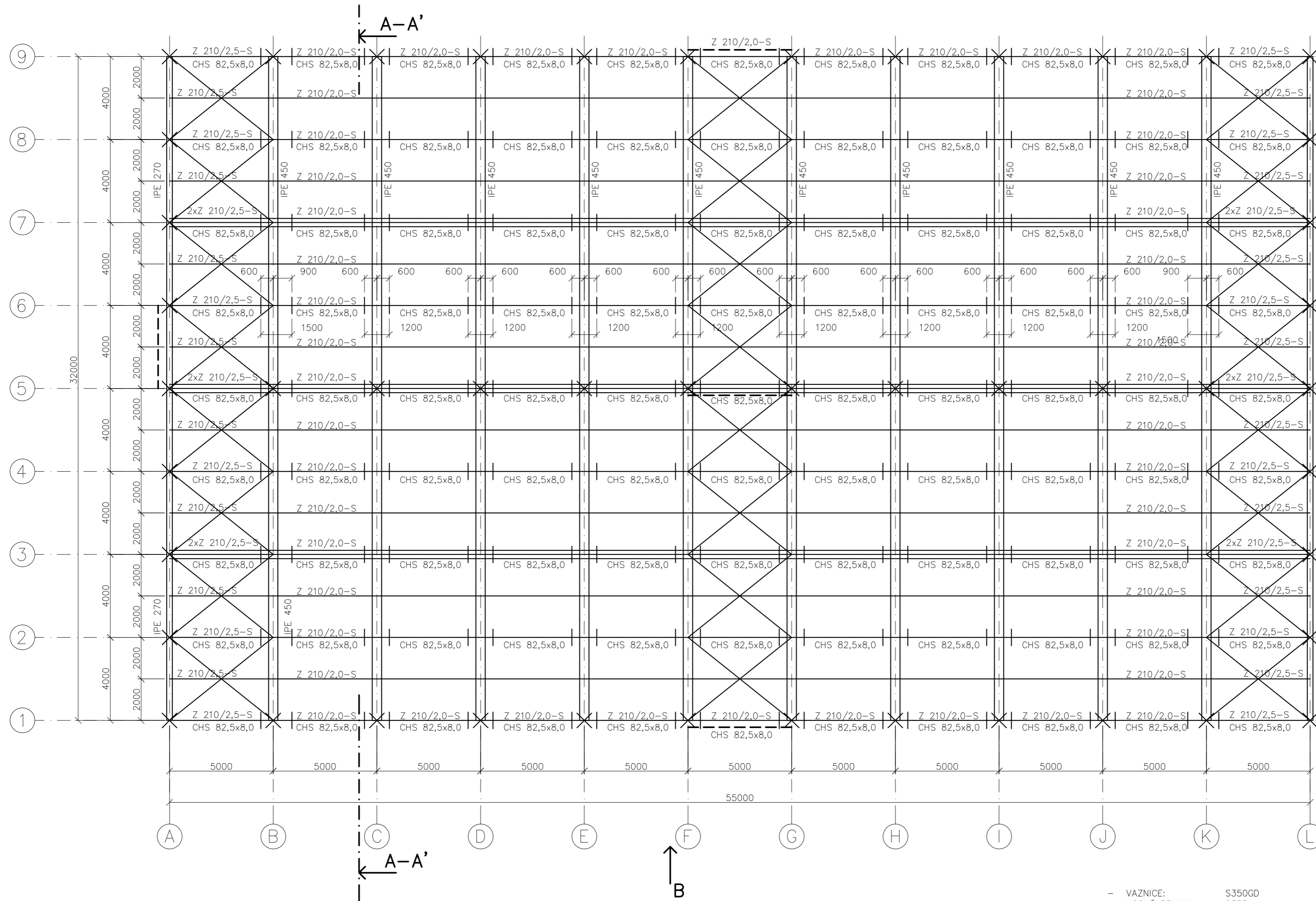
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
DVOULODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA
TWO-BAY INDUSTRIAL HALL

Výkresová dokumentace

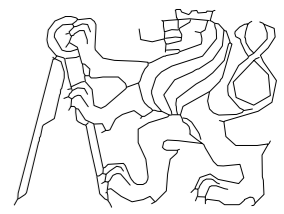
2023

Vypracovala: Kateřina Benešová
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D

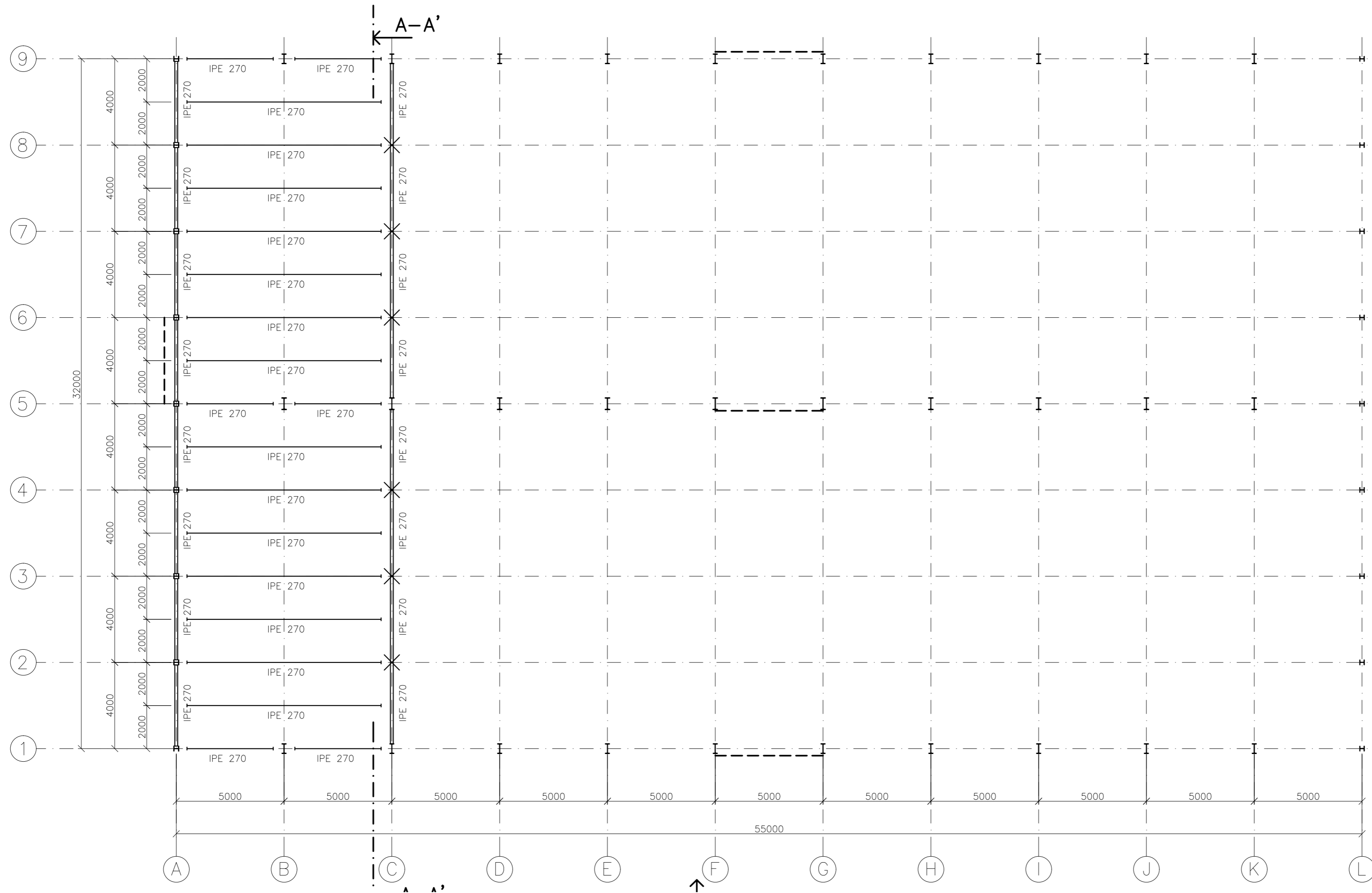
PŮDORYS (+11,000) 1:150:



- VAZNICE: S350GD
- NOSNÉ PRVKY: S355
- BETON: C25/30
- TŘ. PŘEVEDENÍ: EXC2

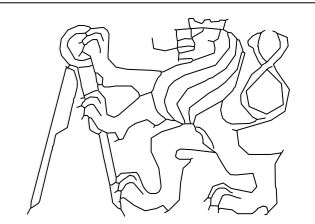
OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA	
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ	
ROČNÍK	VEDOUcí		
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.		
AKCE :			
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			
OBSAH :			
PŮDORYS (+11,000)			
FORMÁT	A3		
MĚŘÍTKO	1:150		
DATUM	09.05. 2023		
Č. VÝKR.	1		

PŮDORYS (+4,500) 1:150:



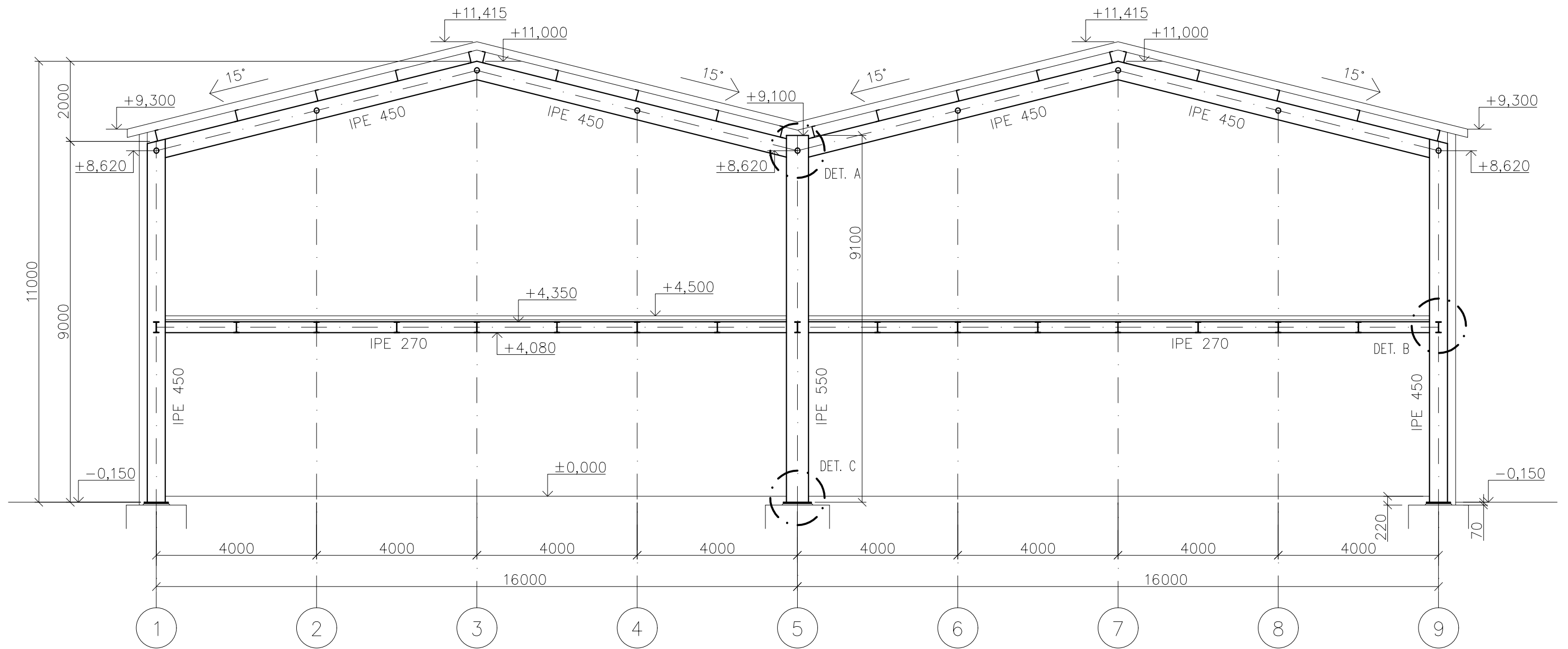
- VAZNICE: S350GD
- NOSNÉ PRVKY: S355
- BETON: C25/30
- TŘ. PŘÍKRY: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ
ROČNÍK	VEDOUcí	
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.	
AKCE :		
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA		
OBSAH :		
PŮDORYS (+4,500)		

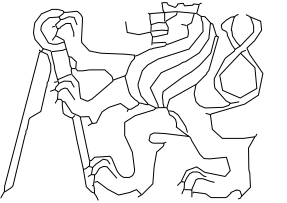


FORMÁT	A3
MĚŘÍTKO	1:150
DATUM	09.05. 2023
Č. VÝKR.	2

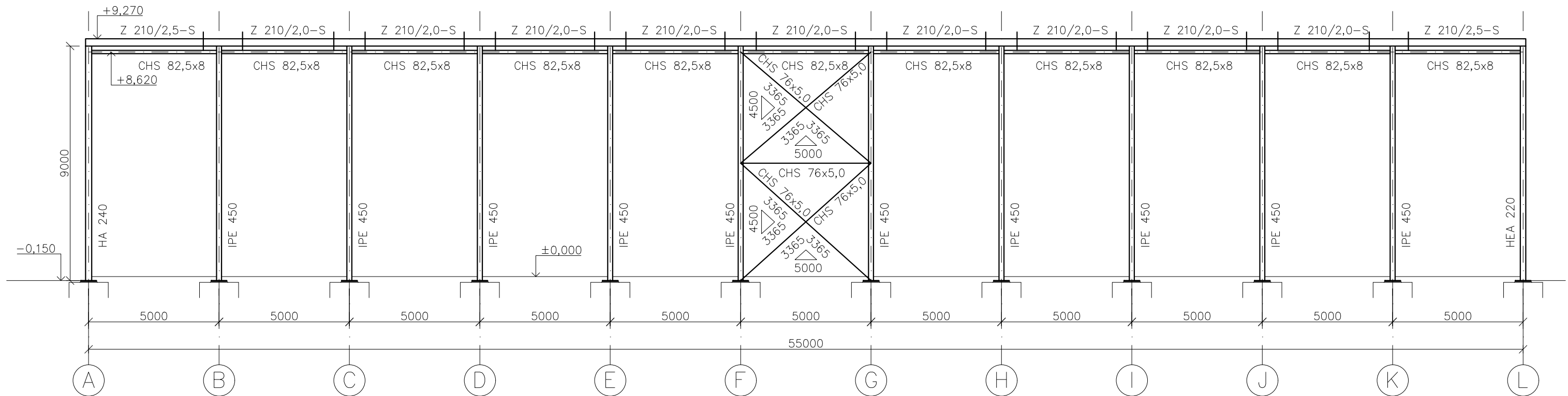
ŘEZ A-A' 1:100:



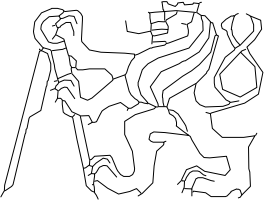
- VAZNICE: S350GD
- NOSNÉ PRVKY: S355
- BETON: C25/30
- TŘ. PROVEDENÍ: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA		
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ		
ROČNÍK	VEDOUcí			
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.			
AKCE :				
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			FORMÁT	A3
			MĚŘITKO	1:100
			DATUM	09.05. 2023
OBSAH :			Č. VÝKR.	3
ŘEZ A-A'				

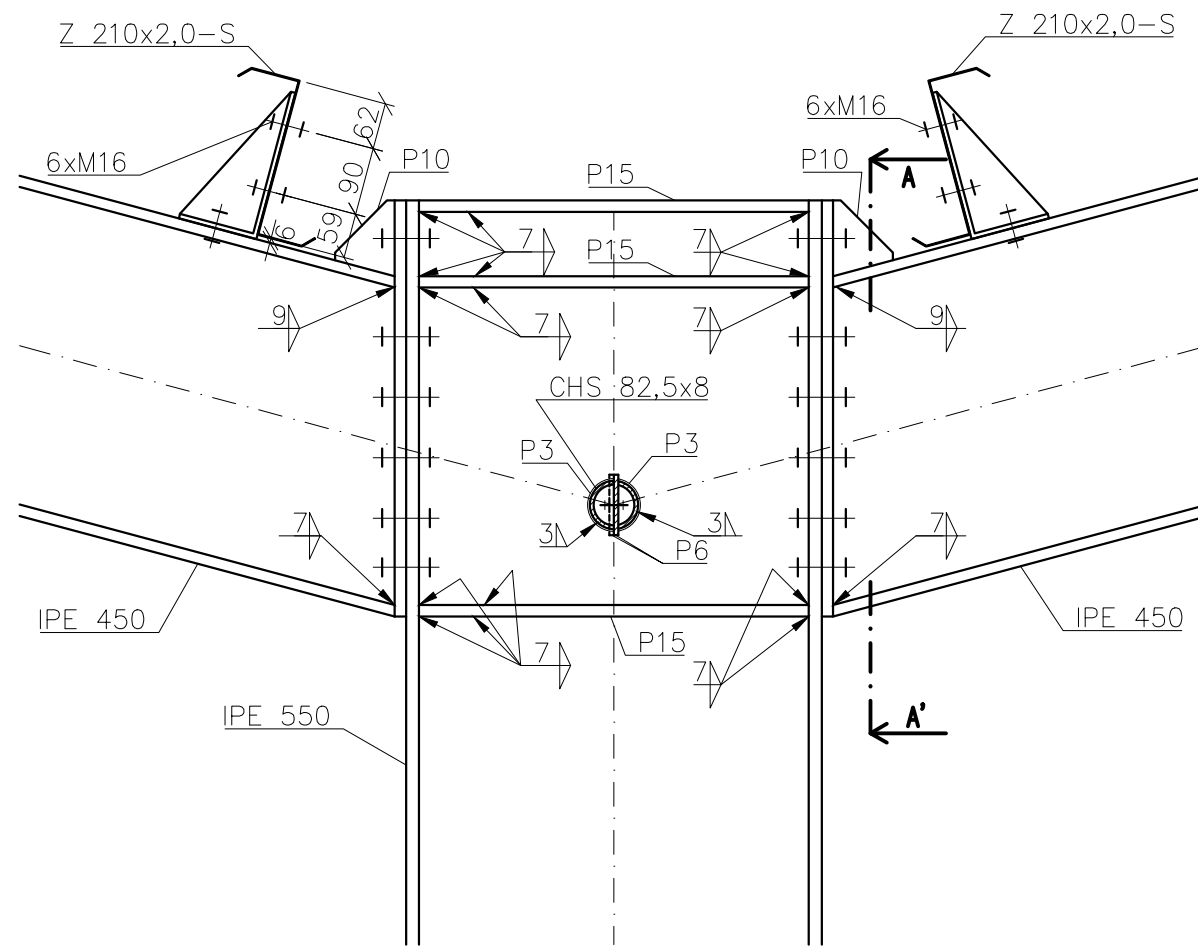
POHLED B 1:150:



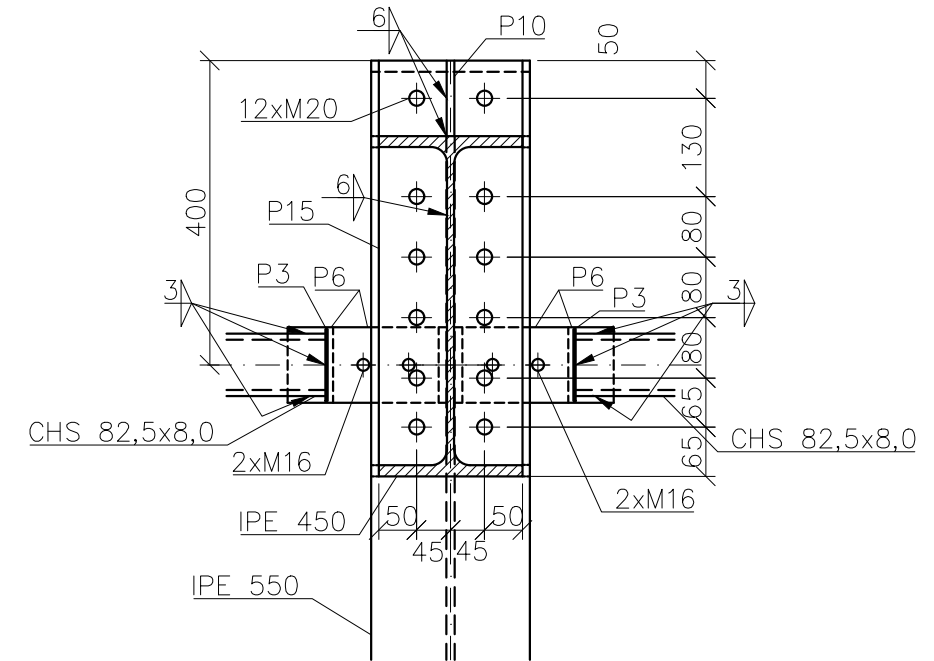
- VAZNICE: S350GD
- NOSNÉ PRVKY: S355
- BETON: C25/30
- TŘ. PROVEDENÍ: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA		
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ		
ROČNÍK	VEDOUcí			
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.			
AKCE :			FORMÁT	A2
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			MĚŘÍTKO	1:150
			DATUM	09.05. 2023
OBSAH :			Č. VÝKR.	4
POHLED B				

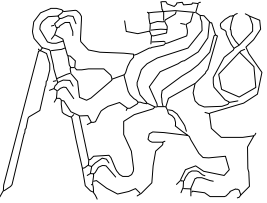
RÁMOVÝ ROH 1:10:



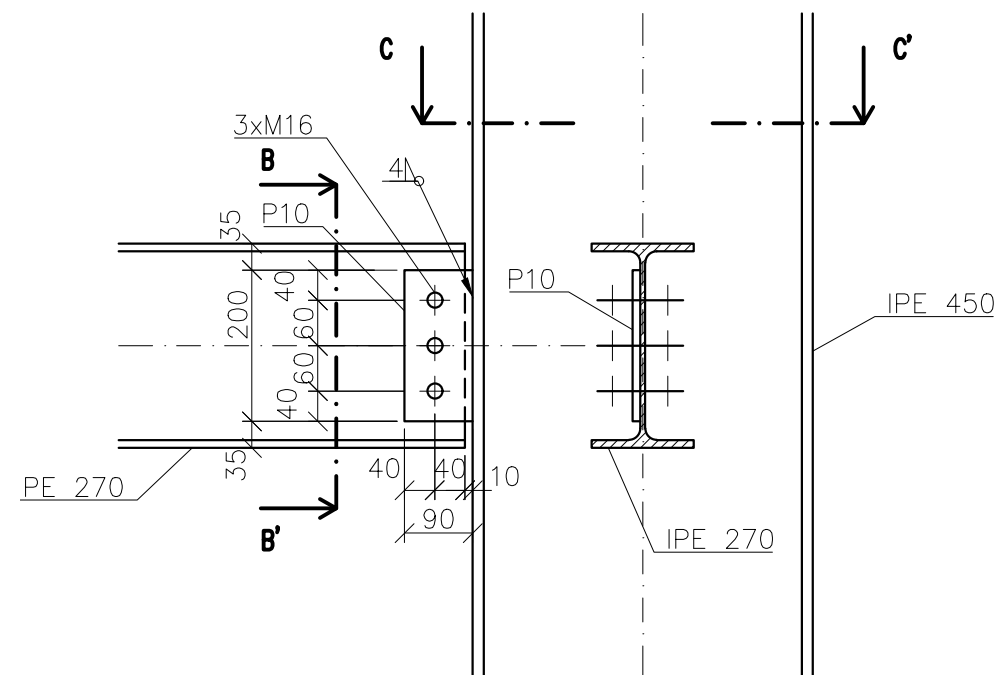
ŘEZ A-A' 1:10:



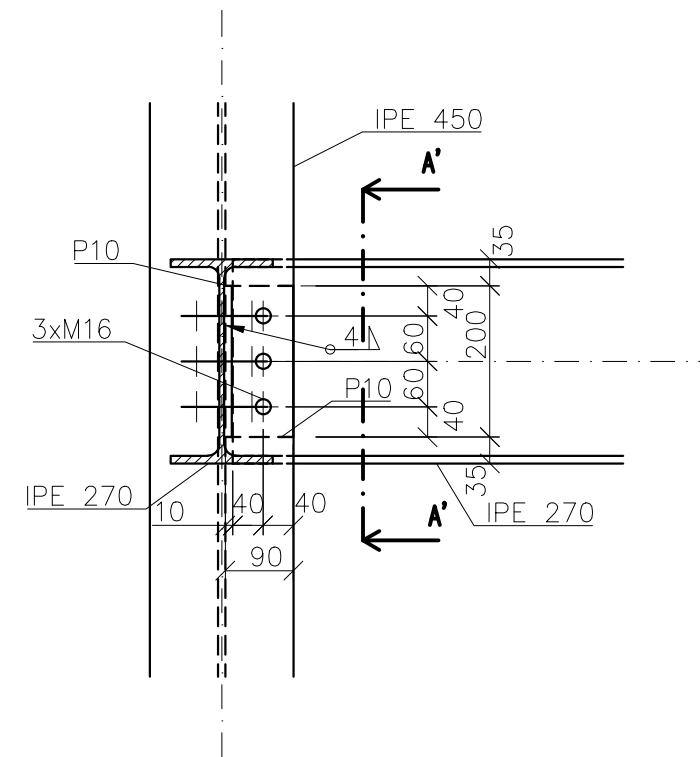
- VAZNICE: S350GD
- NOSNÉ PRVKY: S355
- ŠROUBY: 8.8
- TŘ. PROVEDENÍ: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA		
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ		
ROČNÍK	VEDOUcí			
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.			
AKCE :			FORMÁT	A3
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			MĚŘITKO	1:10
			DATUM	09.05. 2023
OBSAH :			Č. VÝKR.	5
DETAIL A - RÁMOVÝ ROH				

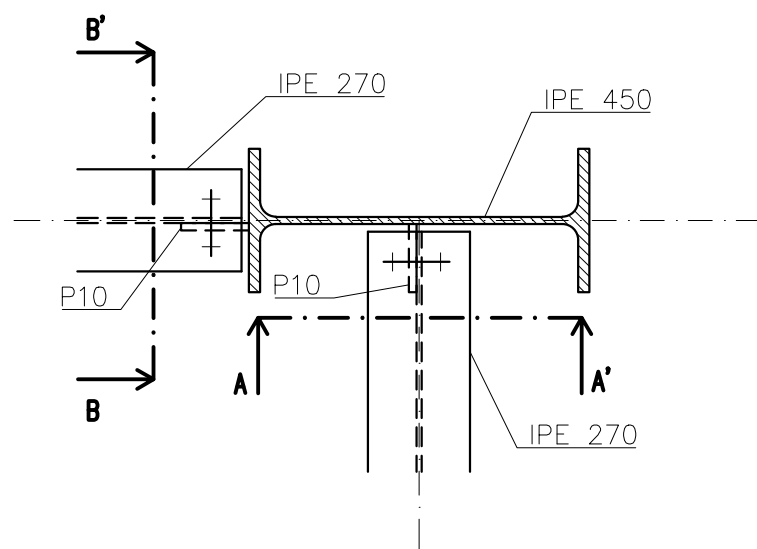
DETAIL B, ŘEZ A-A' 1:10:



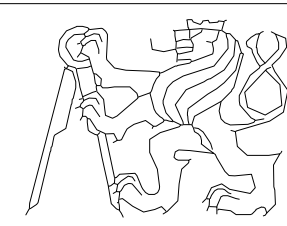
ŘEZ B-B' 1:10:



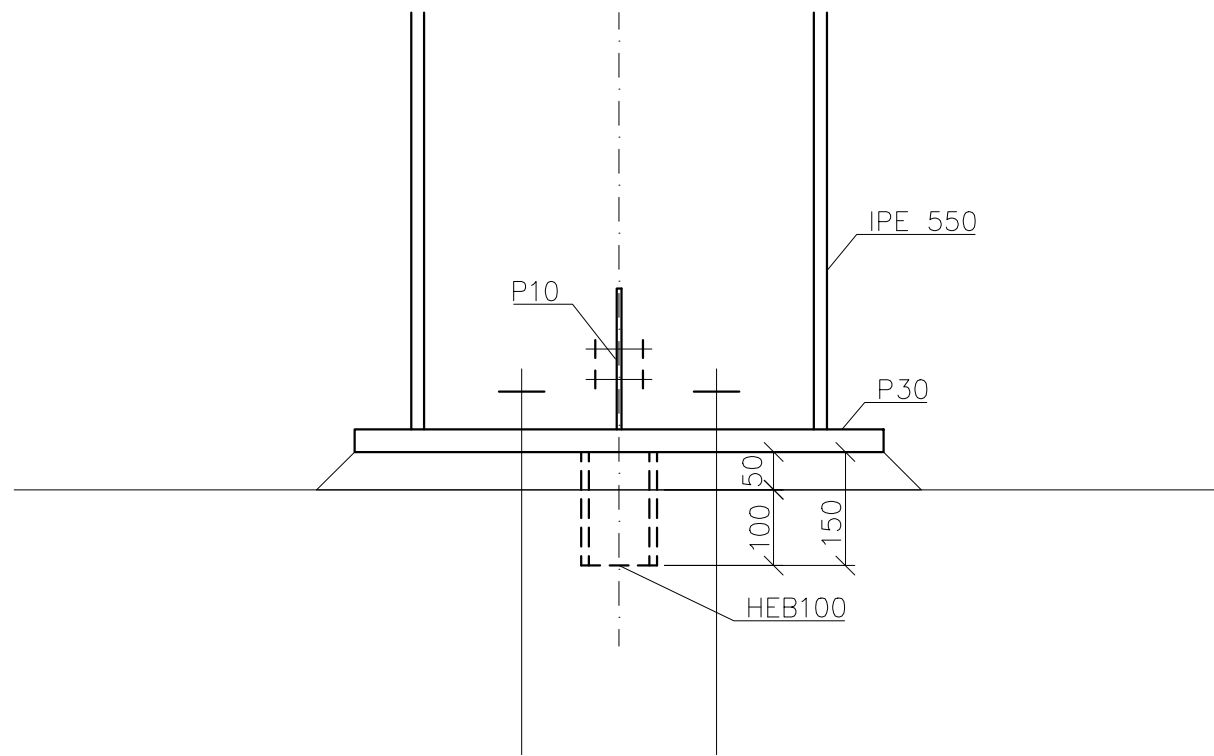
ŘEZ C-C' 1:10:



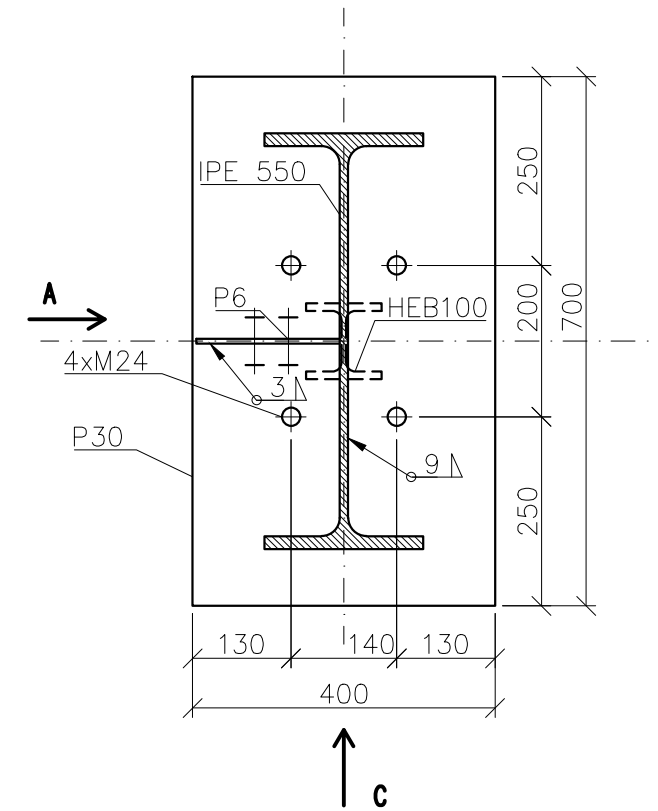
- NOSNÉ PRVKY: S355
- ŠROUBY: 8.8
- TŘ. PROVEDENÍ: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA		
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ		
ROČNÍK	VEDOUcí			
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.			
AKCE :			FORMÁT	A3
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			MĚŘITKO	1:10
			DATUM	09.05. 2023
OBSAH :			Č. VÝKR.	6
DETAIL B - PŘIPOJENÍ NOSNÍKŮ NA SLOUP				

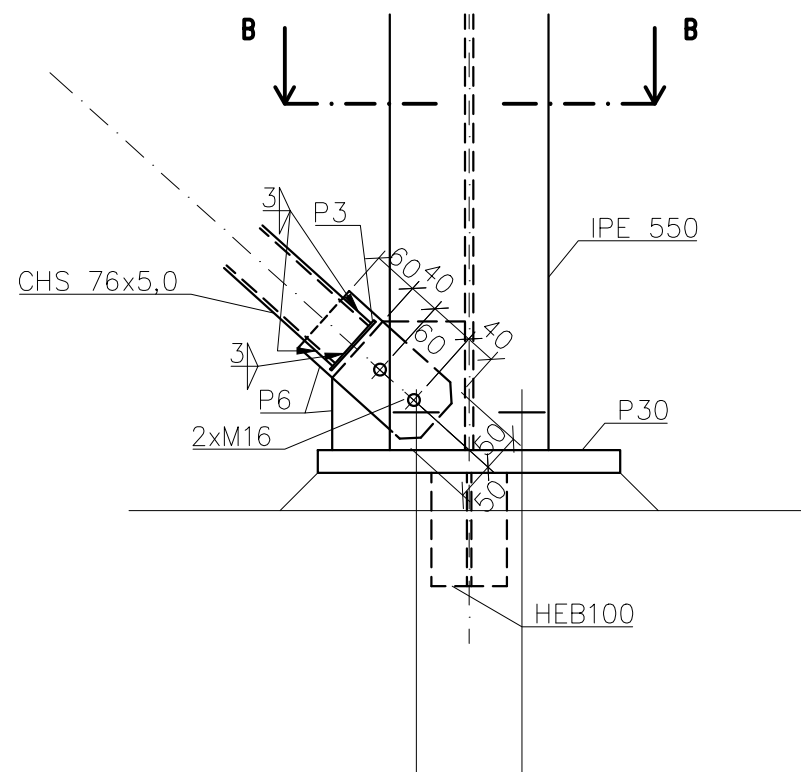
PATKA, POHLED A 1:10:



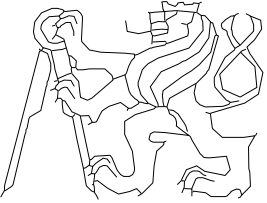
ŘEZ B-B' 1:10:



POHLED C 1:10:



- NOSNÉ PRVKY: S355
- ŠROUBY: 8.8
- BETON: C25/30
- TŘ. PROVEDENÍ: EXC2

OBOR	PŘEDMĚT	JMÉNO STUDENTA	
SI - C	133BAPC	KATEŘINA BENEŠOVÁ	
ROČNÍK	VEDOUcí		
4.	Ing. BŘETISLAV ŽIDLICKÝ, Ph.D.		
AKCE :			
DVOLODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA			FORMÁT A3
			MĚŘITKO 1:10
			DATUM 09.05. 2023
OBSAH :			Č. VÝKR. 7
DETAIL C - KOUBOVÁ PATKA			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
DVOULODNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA
TWO-BAY INDUSTRIAL HALL

Přílohy

2023

Vypracovala: Kateřina Benešová
Vedoucí práce: Ing. Břetislav Židlický, Ph.D

Střešní panel KS1000 FF 200
Tabulky únosnosti

Střešní panel KS1000 FF 200

plech vnější/vnitřní: 0,6/0,5 mm
profily vnější/vnitřní: trapéz 34 mm/Q (minibox)
S280GD podle ČSN EN 14509

platí pro panely FF dodávané z výrobního závodu v Lipsku - Kingspan Polsko

1000 mm – skladebná šířka



systém		charakteristické proměnné zatížení sněhem [kN/m ²]																				
		TLAK																				
barevná skupina		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
prostý nosník ▲▲▲▲▲	I., II., III.	40	41	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
		8,49	6,88	5,86	4,79	4,07	3,55	3,15	2,84	2,60	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
		40	40	45	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
spojitý nosník o 2 polích ▲▲▲▲▲	I., II.	5,51	5,51	5,51	4,79	4,06	3,54	3,15	2,84	2,59	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
		60	60	90	102	105	107	109	111	113	116	118	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
		40	40	40	40	40	40	40	45	53	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
spojitý nosník o 3 polích ▲▲▲▲▲	III.	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
		60	60	60	60	60	60	74	90	107	116	118	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
		40	41	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
spojitý nosník o 3 polích ▲▲▲▲▲	I., II., III.	6,94	6,87	5,87	4,79	4,06	3,54	3,15	2,84	2,59	2,39	2,22	2,07	1,93	1,80	1,69	1,59	1,50	1,42	1,35	1,29	
		82	100	103	105	107	109	111	113	116	118	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
		40	41	50	51	52	53	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
systém		charakteristické proměnné zatížení sání větru [kN/m ²]																				
		SÁNÍ																				
barevná skupina		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
prostý nosník ▲▲▲▲▲	I., II., III.	11,03	11,03	8,91	7,36	6,41	5,76	4,99	4,33	3,83	3,44	3,12	2,87	2,65	2,47	2,32	2,18	2,06	1,96	1,86	1,78	
		5,50	5,50	5,14	3,66	2,95	2,52	2,23	2,01	1,84	1,71	1,59	1,50	1,41	1,34	1,28	1,22	1,17	1,12	1,08	1,04	1,04
		5,50	5,50	3,11	2,54	2,25	2,06	1,91	1,79	1,67	1,56	1,46	1,38	1,31	1,25	1,20	1,14	1,10	1,06	1,02	0,99	0,99
spojitý nosník o 2 polích ▲▲▲▲▲	III.	2,11	1,91	1,77	1,66	1,57	1,50	1,44	1,38	1,33	1,28	1,24	1,21	1,17	1,14	1,09	1,05	1,01	0,98	0,95	0,92	
		6,92	6,92	6,68	4,60	3,56	2,95	2,54	2,25	2,03	1,86	1,72	1,61	1,51	1,43	1,36	1,30	1,24	1,19	1,14	1,10	1,10
		6,92	6,92	5,95	4,06	3,15	2,63	2,28	2,04	1,85	1,70	1,59	1,49	1,41	1,34	1,27	1,22	1,17	1,12	1,09	1,05	1,05
spojitý nosník o 3 polích ▲▲▲▲▲	III.	6,92	6,92	3,30	2,32	2,00	1,82	1,68	1,58	1,50	1,43	1,37	1,32	1,27	1,21	1,16	1,12	1,08	1,04	1,01	0,98	

význam hodnot v tabulce:

AAA min. šířka krajní podpory [mm]
X, XX max. rozpon [m]
BBB min. šířka střední podpory [mm]

Přípustné deformace:

–pro kratkovébe zatížení L/200
–pro dlouhovébe zatížení L/100
kde L je vzdálenost mezi podporami

Minimální šířka krajní podpory je 40 mm, minimální šířka střední podpory je 60 mm, nevyplývá-li z tabulek zatížení v tlaku šířka větší.

Tabulka platí pro běžné proměnné klimatické zatížení. Při jiných požadavcích (dlouhodobé zatížení, teplotní zatížení v chladných opod.) je třeba provést zvláštní výpočet.

Výpočty jsou provedeny v souladu s ČSN EN 14509. Hodnoty merních zatížení uvedené v tabulkách porovnávajíte s charakteristickými hodnotami zatížení.

Výpočty berou v úvahu vlastní hmotnost panelů. Možné chyby z osazenutí vyhrazeny. Mějte prosím na paměti, že tato tabulka nenahrazuje statický výpočet.

KS1000 FF

Izolační jádro: K-Roc – minerální vlna

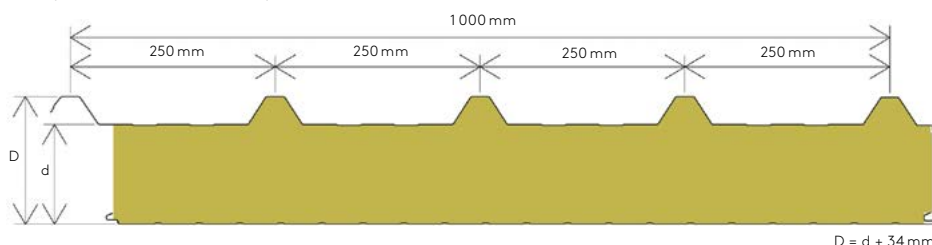
Základní informace o panelu:

KS1000 FF – střešní sendvičový panel s izolačním jádrem K-Roc – minerální vlna. Způsob upevnění ke konstrukci: příznané kotvení prvky (šrouby s těsnící podložkou a kalotou).

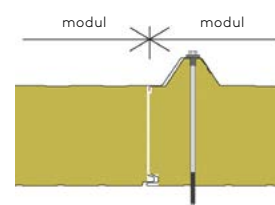
Panel FF je vhodný pro střechy všech objektů s návrhovou vnitřní teplotou větší než 5 °C a se spádem střechy větším jak 5° (v případě napojení dvou a více panelů po spádu min. 8°).

Délky panelů: doporučená délka 2 m – 10 m (v tl. 60 mm max. 7 m)

Tolerance výrobu: odchylky rozměrů odpovídají tolerancím podle ČSN EN 14509 příloha D.



Příčný řez panelem



Detail podélného spoje

Certifikace:

Izolační sendvičové panely Kingspan odpovídají požadavkům a specifikacím, které definuje norma ČSN EN 14509.

Panely Kingspan jsou vyráběny z materiálů nejvyšší kvality, za použití nejnovější výrobní technologie, splňují přísné nároky kontroly kvality a vyhovují standardům ISO 9001, ISO 14001 a ISO 45001.

Technické parametry KS1000 FF: Platí pro panely dodávané z výrobního závodu v Hradci Králové, Kingspan Česká republika a v Lipsku, Kingspan Polsko.				
izolační jádro panelu	K-Roc		vážená vzduchová neprůzvučnost Rw [dB] a faktory přizpůsobení spektru (C; Ctr) podle EN ISO 717-1	hmotnost [kg/m ²] pro modul: 1000 mm platí pro plechy ext. 0,6 mm/ /int. 0,5 mm
součinitel tepelné vodivosti podle EN 14509, EN 13165	$\lambda d = 0,043-0,044 \text{ W/m.K}$ (podle tloušťky) měřeno při 10 °C			
tloušťka panelu [mm]	součinitel prostupe tepla U [W/m ² .K]	třída reakce na oheň EN 13501-1		
60	0,67	A2-s1, d0	31 (-1;-3)	17,51
80	0,52	A2-s1, d0	31 (-1;-2)	19,91
100	0,41	A2-s1, d0	32 (-1;-3)	21,32
120	0,34	A2-s1, d0	33 (-1;-3)	23,52
150	0,28	A2-s1, d0	33 (-1;-3)	26,82
175	0,25	A2-s1, d0	33 (-1;-4)	31,27
200	0,22	A2-s1, d0	33 (-1;-4)	34,27

KS1000 FF

Izolační jádro: K-Roc – minerální vlna

Tabulka požární odolnosti podle tloušťky panelu a aplikace

K-Roc tloušťka panelu [mm]	ČSN EN 1365-2 a ČSN 730810 požární odolnost ze spodní strany	ČSN EN 13501-5 hodnocení střešních panelů při působení vnějšího požáru
60	-	Broof(t3)
80	REI90 DP1, REI120 DP1	Broof(t3)
100	REI90 DP1, REI120 DP1	Broof(t3)
120	REI120 DP1	Broof(t3)
150	REI90 DP1	Broof(t3)
175	REI90 DP1	Broof(t3)
200	REI90 DP1	Broof(t3)

Požární odolnost s charakteristikou:

Druh konstrukce podle ČSN 73 0810: DP1

Teplotní odolnost:

- Minimální teplota prostředí pro použití panelů je -30 °C dlouhodobě (nižší teploty po konzultaci).
- Minimální teplota při instalaci samotných panelů je -10 °C, resp. v závislosti na použití těsnících a tmelících materiálů může být stanovena min. teplota pro aplikaci vyšší (např. +5 °C).
- Maximální teplota prostředí a maximální teplota povrchu panelu je závislá na volbě povrchové úpravy (viz. část Povrchové úpravy níže). V žádném případě nedoporučujeme tyto panely používat v prostorech, kde jsou vystaveny teplotám vyšším než +90 °C dlouhodobě, +100 °C krátkodobě.
- Maximální povrchová teplota při instalaci by neměla být vyšší než +40 °C (doporučuje se před instalací chránit plachtou z důvodu snížení teplotních deformací).

Povrchové úpravy:

Polyester (PES) – 25 μm – standardní povrchová úprava pro vnitřní i vnější prostředí, korozní odolnost RC3, RUV2, teplotní odolnost do 80 °C (vyšší pouze po konzultaci).

Polyester vnitřní (PEI) – 15 μm – standardní povrchová úprava v R9002 pro vnitřní prostředí, nahodilý a nepřímý styk s povrchovými materiály, korozní odolnost do A2; teplotní odolnost do 80 °C (vyšší pouze po konzultaci).

Spectrum (PUR-PA) – 50 μm, dobrá barevná stálost a korozní odolnosti *RC5, UV odolnost RUV4; teplotní odolnost do 80 °C (vyšší pouze po konzultaci).

PVDF (PVF) – 25–35 μm – vysoká chemická odolnost a stálost barev, korozní odolnosti *RC4, RUV4; teplotní odolnost do 80 °C (vyšší pouze po konzultaci, výjimečně lze použít pro teploty až 140 °C).

Poznámka: Uvedené nominální tloušťky povrchových úprav, korozní odolnost a UV odolnost podle ČSN EN 10169 jsou orientační.

* poskytnutí záruky v závislosti na prostředí a pouze na základě vyplnění environmentálního dotazníku

Výrobní možnosti povrchových úprav a tloušťek povrchových plechů:

povrchová úprava	PES	PEI	Spectrum	PVDF
vnější plech (exteriér)	0.6 0.5	-	0.6 0.5	0.6 0.5
vnitřní plech (interiér)	0.5	0.5	0.5	0.5

standardní provedení / alternativní řešení / standardní příplatkové provedení / možno dodat na poptání

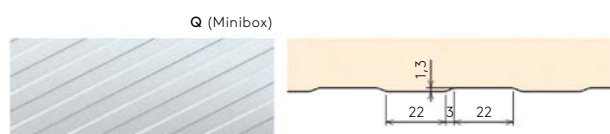
KS1000 FF

Izolační jádro: K-Roc – minerální vlna

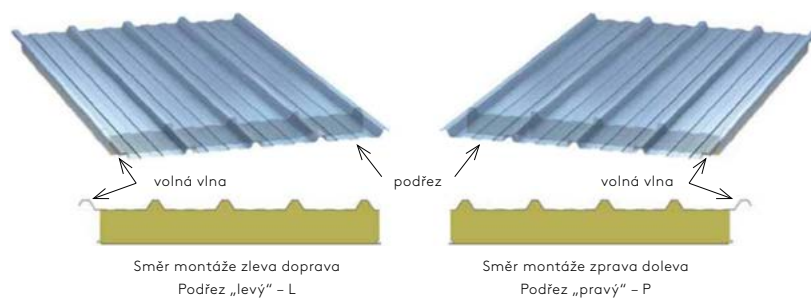
Exteriér – tloušťka plechu 0,6 mm trapéz o 4 vlnách na metr



Interiér – tloušťka plechu 0,5 mm



Orientace podřezu panelu:



Barevné odstíny:

Informace dostupné na samostatném letáku – Barevné odstíny a povrchové úpravy.

Doprava na místo stavby:

Není-li stanoveno jinak, všechny panely jsou dodávány v balících nebo zabalené v balíku silniční dopravou na místo stavby. Za vykládání je zodpovědný zákazník. Požadavky na vykládku a manipulaci s panely naleznete v technické příručce na webových stránkách, nebo na vyžádání na technickém oddělení Kingspan (techinfo@kingspan.cz).

Balení panelů:

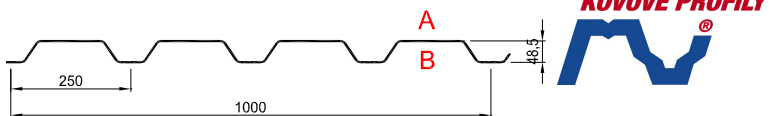
Horní, spodní i boční stěny a konce jsou chráněny pěnou a bedněním a celá paleta je zabalena do ochranné fólie. Počet panelů v každém balení závisí na jejich tloušťce a délce. Nižší uvedená tabulka slouží jako vodítko. U výjimečně dlouhých panelů se počty snižují.

Typická výška palety je 1100 mm. Maximální hmotnost palety je 3 500 kg.

CZ/PL	standard
60	14
80	10
100	8
120	8
140	6
150	6
175	5
200	5

TR 50/250

pozitivní



dle ČSN EN 1993-1-3: 2010

$\gamma_{Mo} = 1,00$

Deformace = **L/200**

t _N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]																					
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
0,63	6,30	q _{d1}	14,56	9,32	6,47	4,75	3,64	2,88	2,33	1,93	1,62	1,38	1,19	1,04	0,91	0,81	0,72	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,40
		q _{d2}	5,92	4,74	3,95	3,38	2,96	2,63	2,33	1,93	1,62	1,38	1,19	1,04	0,91	0,81	0,72	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,40
		q _k	13,47	6,90	3,99	2,51	1,68	1,18	0,86	0,65	0,50	0,39	0,31	0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06
0,75	7,50	q _{d1}	19,04	12,19	8,46	6,22	4,76	3,76	3,05	2,52	2,12	1,80	1,55	1,35	1,19	1,05	0,94	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,53
		q _{d2}	8,72	6,97	5,81	4,98	4,36	3,76	3,05	2,52	2,12	1,80	1,55	1,35	1,19	1,05	0,94	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,53
		q _k	17,13	8,77	5,08	3,20	2,14	1,50	1,10	0,82	0,63	0,50	0,40	0,32	0,27	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
0,88	8,80	q _{d1}	24,44	15,64	10,86	7,98	6,11	4,83	3,91	3,23	2,72	2,31	1,99	1,74	1,53	1,35	1,21	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74	0,68
		q _{d2}	12,31	9,85	8,21	7,03	6,11	4,83	3,91	3,23	2,72	2,31	1,99	1,74	1,53	1,35	1,21	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74	0,68
		q _k	21,36	10,94	6,33	3,99	2,67	1,88	1,37	1,03	0,79	0,62	0,50	0,41	0,33	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10
1,00	10,00	q _{d1}	29,89	19,13	13,29	9,76	7,47	5,91	4,78	3,95	3,32	2,83	2,44	2,13	1,87	1,66	1,48	1,32	1,20	1,08	0,99	0,90	0,83
		q _{d2}	16,13	12,91	10,76	9,22	7,47	5,91	4,78	3,95	3,32	2,83	2,44	2,13	1,87	1,66	1,48	1,32	1,20	1,08	0,99	0,90	0,83
		q _k	25,57	13,09	7,58	4,77	3,20	2,24	1,64	1,23	0,95	0,74	0,60	0,48	0,40	0,33	0,28	0,24	0,20	0,18	0,15	0,13	0,12
1,13	11,30	q _{d1}	36,30	23,23	16,13	11,85	9,08	7,17	5,81	4,80	4,03	3,44	2,96	2,58	2,27	2,01	1,79	1,61	1,45	1,32	1,20	1,10	1,01
		q _{d2}	20,83	16,66	13,88	11,85	9,08	7,17	5,81	4,80	4,03	3,44	2,96	2,58	2,27	2,01	1,79	1,61	1,45	1,32	1,20	1,10	1,01
		q _k	30,82	15,78	9,13	5,75	3,85	2,71	1,97	1,48	1,14	0,90	0,72	0,58	0,48	0,40	0,34	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14
1,25	12,50	q _{d1}	42,00	26,88	18,67	13,71	10,50	8,30	6,72	5,55	4,67	3,98	3,43	2,99	2,63	2,33	2,07	1,86	1,68	1,52	1,39	1,27	1,17
		q _{d2}	25,65	20,52	17,10	13,71	10,50	8,30	6,72	5,55	4,67	3,98	3,43	2,99	2,63	2,33	2,07	1,86	1,68	1,52	1,39	1,27	1,17
		q _k	35,92	18,39	10,64	6,70	4,49	3,15	2,30	1,73	1,33	1,05	0,84	0,68	0,56	0,47	0,39	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17

t _N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]																					
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
0,63	6,30	q _{d1}	8,99	6,43	4,84	3,78	3,04	2,50	2,09	1,78	1,53	1,33	1,17	1,03	0,92	0,82	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,45	0,41
		q _{d2}	7,77	5,64	4,29	3,39	2,75	2,28	1,92	1,64	1,42	1,24	1,09	0,97	0,86	0,78	0,70	0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,41
		q _k	32,44	16,61	9,61	6,05	4,06	2,85	2,08	1,56	1,20	0,95	0,76	0,62	0,51	0,42	0,36	0,30	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15
0,75	7,50	q _{d1}	12,66	9,03	6,78	5,29	4,25	3,49	2,92	2,48	2,13	1,85	1,62	1,43	1,27	1,13	1,01	0,90	0,81	0,74	0,67	0,62	0,57
		q _{d2}	10,97	7,93	6,03	4,75	3,85	3,18	2,68	2,28	1,97	1,72	1,52	1,34	1,20	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74	0,67	0,62	0,57
		q _k	41,27	21,13	12,23	7,70	5,16	3,62	2,64	1,98	1,53	1,20	0,96	0,78	0,64	0,54	0,45	0,39	0,33	0,29	0,25	0,22	0,19
0,88	8,80	q _{d1}	16,91	11,98	8,96	6,96	5,57	4,56	3,80	3,22	2,76	2,40	2,10	1,83	1,61	1,42	1,27	1,14	1,03	0,93	0,85	0,78	0,72
		q _{d2}	14,69	10,56	7,99	6,27	5,06	4,17	3,50	2,98	2,57	2,24	1,97	1,74	1,56	1,40	1,26	1,14	1,03	0,93	0,85	0,78	0,72
		q _k	51,46	26,35	15,25	9,60	6,43	4,52	3,29	2,47	1,91	1,50	1,20	0,98	0,80	0,67	0,56	0,48	0,41	0,36	0,31	0,27	0,24
1,00	10,00	q _{d1}	21,20	14,95	11,14	8,63	6,88	5,63	4,69	3,96	3,39	2,93	2,53	2,20	1,94	1,72	1,53	1,37	1,24	1,12	1,02	0,94	0,86
		q _{d2}	18,45	13,21	9,96	7,79	6,27	5,17	4,33	3,68	3,16	2,75	2,42	2,14	1,91	1,71	1,53	1,37	1,24	1,12	1,02	0,94	0,86
		q _k	61,60	31,54	18,25	11,49	7,70	5,41	3,94	2,96	2,28	1,79	1,44	1,17	0,96	0,80	0,68	0,57	0,49	0,43	0,37	0,32	0,29
1,13	11,30	q _{d1}	26,22	18,41	13,67	10,56	8,41	6,86	5,70	4,81	4,10	3,49	3,01	2,63	2,31	2,05	1,83	1,64	1,48	1,34	1,22	1,12	1,03
		q _{d2}	22,87	16,31	12,25	9,56	7,68	6,31	5,28	4,48	3,85	3,34	2,93	2,59	2,31	2,05	1,83	1,64	1,48	1,34	1,22	1,12	1,03
		q _k	74,25	38,02	22,00	13,85	9,28	6,52	4,75	3,57	2,75	2,16	1,73	1,41	1,16	0,97	0,81	0,69	0,59	0,51	0,45	0,39	0,34
1,25	12,50	q _{d1}	31,17	21,81	16,15	12,45	9,89	8,06	6,69	5,63	4,73	4,04	3,48	3,03	2,67	2,36	2,11	1,89	1,71	1,55	1,41	1,29	1,19
		q _{d2}	27,23	19,35	14,50	11,29	9,05	7,43	6,20	5,26	4,51	3,92	3,43	3,03	2,67	2,36	2,11	1,89	1,71	1,55	1,41	1,29	1,19
		q _k	86,53	44,30	25,64	16,14	10,82	7,60	5,54	4,16	3,20	2,52	2,02	1,64	1,35	1,13	0,95	0,81	0,69	0,60	0,52	0,46	0,40

t _N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]									pro spojitý nosník o třech polích lze únosnost zvýšit o 7%												
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
0,63	6,30	q _{d1}	10,24	7,34	5,54	4,34	3,49	2,88	2,41	2,05	1,76	1,54	1,35	1,19	1,06	0,96	0,86	0,77	0,69	0,63	0,57	0,53	0,48
		q _{d2}	7,40	5,92	4,87	3,85	3,13	2,60	2,19	1,87	1,62	1,42	1,25	1,11	0,99	0,89	0,81	0,74	0,67	0,62	0,57	0,52	0,48
		q _k	25,60	13,11	7,59	4,78	3,20	2,25	1,64	1,23	0,95	0,75	0,60	0,49	0,40	0,33	0,28	0,24	0,20	0,18	0,15	0,13	0,12
0,75	7,50	q _{d1}	14,43	10,32	7,77	6,07	4,88	4,01	3,36	2,85	2,46	2,13	1,87	1,66	1,48	1,31	1,17	1,05	0,95	0,86	0,79	0,72	0,66
		q _{d2}	10,90	8,72	6,84	5,40	4,38	3,63	3,06	2,62	2,26	1,98	1,74	1,55	1,38	1,24	1,12	1,02	0,93	0,85	0,79	0,72	0,66
		q _k	32,57	16,68	9,65	6,08	4,07	2,86	2,08	1,57	1,21	0,95	0,76	0,62	0,51	0,42	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15
0,88	8,80	q _{d1}	19,32	13,72	10,28	8,00	6,41	5,25	4,39	3,72	3,19	2,77	2,43	2,13	1,87	1,66	1,48	1,33	1,20	1,09	0,99	0,91	0,83
		q _{d2}	15,39	11,96	9,08	7,14	5,78	4,77	4,01	3,42	2,95	2,57	2,26	2,01	1,79	1,61	1,45	1,32	1,20	1,09	0,99	0,91	0,83
		q _k	40,61	20,79	12,03	7,58	5,08	3,57	2,60	1,95	1,50	1,18	0,95	0,77	0,63	0,53	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
1,00	10,00	q _{d1}	24,26	17,16	12,80	9,93	7,94	6,49	5,41	4,58	3,93	3,40	2,95	2,57	2,26	2,00	1,79	1,60	1,45	1,31	1,20	1,09	1,00
		q _{d2}	20,17	14,99	11,34	8,89	7,17	5,91	4,96	4,22	3,64	3,17	2,78	2,46	2,20	1,97	1,78	1,60	1,45	1,31	1,20	1,09	1,00
		q _k	48,61	24,89	14,40	9,07	6,08	4,27	3,11	2,34	1,80	1,42	1,13	0,92	0,76	0,63	0,53	0,45	0,39	0,34	0,29	0,26	0,23
1,13	11,30	q _{d1}	30,06	21,16	15,74	12,17	9,70	7,92	6,59	5,57	4,77	4,08	3,52	3,06	2,69	2,39	2,13	1,91	1,73	1,57	1,43	1,31	1,20
		q _{d2}	25,87	18,52	13,96	10,92	8,79	7,23	6,06	5,15	4,43	3,85	3,38	2,99	2,67	2,39							

Z 210-S

Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3:

Rádek č. 1 : Únosnost bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 2 : Únosnost s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 3 : Únosnost pro sání bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 4 : Únosnost pro sání s vlivem osově síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 5 : Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Rádek č. 6 : Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

PROSTÝ NOSNÍK

Profil G [kg/m]		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		4.00	4.50	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00
Z 210/1,5 G = 4,37 kg/m	1	3.95	3.12	2.53	2.29	2.09	1.91	1.75	1.62	1.49	1.39	1.29	1.12	0.99	0.87	0.78	0.70	0.63
	2	1.72	1.28	0.98	0.86	0.77	0.68	0.61	0.54	0.48	0.43	0.39	0.31	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10
	3	-2.31	-1.78	-1.41	-1.27	-1.14	-1.03	-0.94	-0.86	-0.78	-0.72	-0.66	-0.57	-0.49	-0.43	-0.37	-0.33	-0.29
	4	-0.72	-0.51	-0.37	-0.32	-0.28	-0.24	-0.21	-0.18	-0.16	-0.14	-0.12	-0.10	-0.07	-0.06	-0.04	-0.04	-0.03
	5	3.68	2.59	1.89	1.63	1.42	1.24	1.09	0.97	0.86	0.77	0.69	0.56	0.46	0.38	0.32	0.27	0.24
	6	2.46	1.72	1.26	1.09	0.94	0.83	0.73	0.64	0.57	0.51	0.46	0.37	0.31	0.26	0.22	0.18	0.16
Z 210/2,0 G = 5,82 kg/m	1	6.45	5.09	4.13	3.74	3.41	3.12	2.86	2.64	2.44	2.26	2.10	1.83	1.61	1.43	1.27	1.14	1.03
	2	4.31	3.21	2.45	2.16	1.91	1.70	1.52	1.35	1.21	1.09	0.98	0.80	0.66	0.55	0.46	0.39	0.33
	3	-3.75	-2.90	-2.31	-2.07	-1.87	-1.70	-1.54	-1.41	-1.29	-1.19	-1.09	-0.94	-0.81	-0.70	-0.62	-0.55	-0.48
	4	-2.24	-1.70	-1.32	-1.17	-1.05	-0.94	-0.85	-0.77	-0.70	-0.63	-0.58	-0.49	-0.41	-0.35	-0.30	-0.26	-0.23
	5	5.38	3.78	2.75	2.38	2.07	1.81	1.59	1.41	1.25	1.12	1.00	0.82	0.67	0.56	0.47	0.40	0.34
	6	3.59	2.52	1.84	1.59	1.38	1.21	1.06	0.94	0.84	0.75	0.67	0.54	0.45	0.37	0.31	0.27	0.23
Z 210/2,5 G = 7,28 kg/m	1	8.88	7.01	5.68	5.15	4.70	4.30	3.95	3.64	3.36	3.12	2.90	2.53	2.22	1.97	1.75	1.57	1.42
	2	6.32	4.84	3.80	3.39	3.04	2.74	2.47	2.22	2.00	1.81	1.64	1.36	1.13	0.94	0.79	0.67	0.57
	3	-5.03	-3.90	-3.10	-2.79	-2.52	-2.28	-2.08	-1.90	-1.74	-1.60	-1.47	-1.26	-1.09	-0.95	-0.83	-0.73	-0.65
	4	-3.59	-2.75	-2.16	-1.93	-1.73	-1.56	-1.41	-1.28	-1.17	-1.07	-0.98	-0.83	-0.71	-0.61	-0.53	-0.46	-0.41
	5	6.96	4.89	3.56	3.08	2.68	2.34	2.06	1.82	1.62	1.45	1.30	1.06	0.87	0.73	0.61	0.52	0.45
	6	4.64	3.26	2.38	2.05	1.78	1.56	1.37	1.22	1.08	0.97	0.87	0.70	0.58	0.48	0.41	0.35	0.30

SPOJITÝ NOSNÍK O 3 NEBO 4 POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m

Profil		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		4.00	4.50	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00
Z 210/1,5	1	4.79	3.82	3.12	2.84	2.60	2.39	2.20	2.01	1.84	1.69	1.56	1.33	1.15	1.01	0.89	0.79	0.70
	2	2.39	1.86	1.48	1.33	1.19	1.07	0.96	0.85	0.76	0.68	0.61	0.49	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16
	3	-3.83	-2.95	-2.33	-2.09	-1.88	-1.70	-1.54	-1.41	-1.29	-1.19	-1.09	-0.94	-0.81	-0.71	-0.62	-0.55	-0.49
	4	-1.41	-1.01	-0.74	-0.63	-0.55	-0.48	-0.42	-0.37	-0.33	-0.29	-0.26	-0.21	-0.17	-0.14	-0.11	-0.09	-0.07
	5	6.98	4.90	3.57	3.09	2.68	2.35	2.07	1.83	1.63	1.45	1.30	1.06	0.87	0.73	0.61	0.52	0.45
	6	4.65	3.27	2.38	2.06	1.79	1.57	1.38	1.22	1.08	0.97	0.87	0.71	0.58	0.48	0.41	0.35	0.30
Z 210/2,0	1	7.37	5.91	4.86	4.44	4.07	3.76	3.47	3.18	2.92	2.69	2.48	2.13	1.85	1.62	1.43	1.27	1.13
	2	5.41	4.29	3.50	3.18	2.89	2.62	2.39	2.13	1.92	1.72	1.56	1.28	1.06	0.88	0.73	0.61	0.52
	3	-6.14	-4.76	-3.78	-3.39	-3.06	-2.77	-2.52	-2.31	-2.12	-1.95	-1.80	-1.54	-1.34	-1.17	-1.03	-0.91	-0.81
	4	-3.85	-2.92	-2.27	-2.02	-1.80	-1.61	-1.45	-1.32	-1.20	-1.10	-1.00	-0.85	-0.72	-0.62	-0.54	-0.47	-0.41
	5	10.2	7.15	5.21	4.50	3.92	3.43	3.02	2.67	2.37	2.12	1.90	1.54	1.27	1.06	0.89	0.76	0.65
	6	6.79	4.77	3.48	3.00	2.61	2.29	2.01	1.78	1.58	1.41	1.27	1.03	0.85	0.71	0.60	0.51	0.43
Z 210/2,5	1	9.73	7.82	6.44	5.89	5.42	5.00	4.63	4.24	3.90	3.59	3.32	2.86	2.48	2.18	1.92	1.71	1.53
	2	8.11	6.56	5.45	5.00	4.61	4.23	3.89	3.50	3.16	2.86	2.59	2.15	1.80	1.50	1.25	1.05	0.89
	3	-8.23	-6.38	-5.07	-4.56	-4.11	-3.73	-3.39	-3.10	-2.85	-2.62	-2.42	-2.08	-1.80	-1.57	-1.38	-1.22	-1.09
	4	-6.05	-4.63	-3.63	-3.24	-2.91	-2.62	-2.36	-2.15	-1.97	-1.80	-1.66	-1.41	-1.21	-1.05	-0.91	-0.80	-0.71
	5	13.2	9.25	6.75	5.83	5.07	4.44	3.90	3.45	3.07	2.74	2.46	2.00	1.65	1.37	1.16	0.98	0.84
	6	8.78	6.17	4.50	3.89	3.38	2.96	2.60	2.30	2.05	1.83	1.64	1.33	1.10	0.92	0.77	0.66	0.56

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		4.00	4.50	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00
krajní : Z 210/2,0 vnitřní : Z 210/1,5	1	5.96	4.84	4.03	3.71	3.42	3.18	2.96	2.71	2.49	2.29	2.12	1.82	1.58	1.36	1.19	1.04	0.92
	2	4.74	3.87	3.25	2.99	2.78	2.58	2.41	2.16	1.93	1.74	1.57	1.29	1.06	0.88	0.73	0.61	0.52
	3	-6.19	-4.80	-3.81	-3.42	-3.09	-2.79	-2.54	-2.33	-2.13	-1.96	-1.81	-1.56	-1.35	-1.18	-1.03	-0.92	-0.81
	4	-3.89	-2.95	-2.29	-2.03	-1.82	-1.63	-1.46	-1.33	-1.21	-1.10	-1.01	-0.85	-0.73	-0.63	-0.54	-0.47	-0.42
	5	10.3	7.24	5.28	4.56	3.97	3.47	3.06	2.70	2.40	2.15	1.92	1.56	1.29	1.07	0.91	0.77	0.66
	6	6.88	4.83	3.52	3.04	2.64	2.31	2.04	1.80	1.60	1.43	1.28	1.04	0.86	0.72	0.60	0.51	0.44
krajní : Z 210/2,5 vnitřní : Z 210/2,0	1	8.86	7.25	6.08	5.62	5.21	4.85	4.54	4.18	3.86	3.57	3.32	2.88	2.53	2.18	1.90	1.66	1.46
	2	7.42	6.12	5.17	4.79	4.46	4.17	3.91	3.52	3.17	2.87	2.60	2.16	1.80	1.50	1.25	1.05	0.89
	3	-8.35	-6.48	-5.15	-4.62	-4.17	-3.78	-3.44	-3.15	-2.89	-2.66	-2.46	-2.11	-1.83	-1.60	-1.40	-1.24	-1.10
	4	-6.15	-4.70	-3.69	-3.29	-2.95	-2.66	-2.40	-2.19	-2.00	-1.83	-1.68	-1.43	-1.23	-1.06	-0.93	-0.81	-0.72
	5	13.5	9.46	6.90	5.96	5.18	4.54	3.99	3.53	3.14	2.80	2.51	2.04	1.68	1.40	1.18	1.01	0.86
	6	8.98	6.31	4.60	3.97	3.46	3.02	2.66	2.36	2.09	1.87	1.68	1.36	1.12	0.94	0.79	0.67	0.58

C 210-S

Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3:

Rádek č. 1 : Únosnost bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 2 : Únosnost s vlivem osově síly 15 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 3 : Únosnost pro sání bez vlivu osově síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 4 : Únosnost pro sání s vlivem osově síly 15 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 5 : Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Rádek č. 6 : Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

PROSTÝ NOSNÍK

Profil G [kg/m]		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
C 210/1,5 G = 4,30 kg/m	1	4.78	4.20	3.72	3.32	2.98	2.69	2.44	2.22	2.03	1.87	1.72	1.59	1.47	1.37	1.28	1.19	1.12
	2	3.41	2.97	2.60	2.29	2.02	1.80	1.61	1.45	1.31	1.19	1.07	0.97	0.88	0.81	0.74	0.68	0.62
	3	-1.77	-1.58	-1.43	-1.30	-1.19	-1.09	-1.01	-0.94	-0.88	-0.82	-0.76	-0.70	-0.65	-0.61	-0.57	-0.53	-0.50
	4	-1.20	-1.05	-0.94	-0.85	-0.77	-0.70	-0.64	-0.59	-0.55	-0.51	-0.47	-0.43	-0.40	-0.37	-0.34	-0.31	-0.29
	5	4.66	3.84	3.20	2.70	2.29	1.97	1.70	1.48	1.29	1.14	1.01	0.90	0.80	0.72	0.65	0.58	0.53
	6	3.11	2.56	2.14	1.80	1.53	1.31	1.13	0.99	0.86	0.76	0.67	0.60	0.53	0.48	0.43	0.39	0.35
C 210/2,0 G = 5,73 kg/m	1	7.59	6.67	5.91	5.27	4.73	4.27	3.87	3.53	3.23	2.96	2.73	2.53	2.34	2.18	2.03	1.90	1.78
	2	6.14	5.36	4.70	4.15	3.69	3.29	2.96	2.67	2.42	2.20	1.99	1.81	1.66	1.52	1.39	1.28	1.18
	3	-2.70	-2.42	-2.20	-2.01	-1.85	-1.71	-1.59	-1.49	-1.40	-1.32	-1.22	-1.13	-1.05	-0.98	-0.91	-0.86	-0.80
	4	-2.17	-1.93	-1.75	-1.59	-1.46	-1.34	-1.24	-1.16	-1.08	-1.01	-0.93	-0.86	-0.80	-0.74	-0.69	-0.65	-0.60
	5	6.66	5.49	4.58	3.86	3.28	2.81	2.43	2.11	1.85	1.63	1.44	1.28	1.14	1.02	0.92	0.83	0.75
	6	4.44	3.66	3.05	2.57	2.19	1.87	1.62	1.41	1.23	1.08	0.96	0.85	0.76	0.68	0.61	0.56	0.50
C 210/2,5 G = 7,16 kg/m	1	10.22	8.99	7.96	7.10	6.37	5.75	5.22	4.75	4.35	3.99	3.68	3.40	3.16	2.93	2.74	2.56	2.39
	2	8.75	7.65	6.72	5.95	5.29	4.74	4.26	3.85	3.50	3.19	2.90	2.64	2.42	2.22	2.04	1.88	1.74
	3	-3.47	-3.11	-2.83	-2.60	-2.39	-2.22	-2.07	-1.93	-1.82	-1.71	-1.59	-1.47	-1.37	-1.28	-1.20	-1.12	-1.05
	4	-2.98	-2.66	-2.41	-2.20	-2.02	-1.87	-1.74	-1.62	-1.52	-1.43	-1.32	-1.22	-1.13	-1.05	-0.98	-0.92	-0.86
	5	8.53	7.03	5.86	4.94	4.20	3.60	3.11	2.71	2.37	2.08	1.84	1.64	1.46	1.31	1.18	1.07	0.97
	6	5.69	4.69	3.91	3.29	2.80	2.40	2.07	1.80	1.58	1.39	1.23	1.09	0.98	0.87	0.79	0.71	0.64

SPOJITÝ NOSNÍK O 2 POLÍCH

Profil G [kg/m]		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
C 210/1,5 G = 4,30 kg/m	1	2.55	2.25	2.03	1.85	1.69	1.56	1.44	1.34	1.25	1.17	1.09	1.02	0.95	0.90	0.84	0.80	0.75
	2	1.94	1.70	1.54	1.40	1.28	1.18	1.09	1.01	0.94	0.88	0.82	0.76	0.72	0.67	0.63	0.60	0.56
	3	-3.00	-2.64	-2.39	-2.18	-1.99	-1.84	-1.70	-1.58	-1.48	-1.39	-1.29	-1.21	-1.13	-1.07	-1.01	-0.95	-0.90
	4	-2.14	-1.86	-1.66	-1.50	-1.36	-1.24	-1.14	-1.05	-0.97	-0.90	-0.84	-0.78	-0.72	-0.68	-0.63	-0.59	-0.56
	5	11.2	9.23	7.69	6.48	5.51	4.73	4.09	3.56	3.11	2.74	2.42	2.15	1.92	1.72	1.55	1.40	1.27
	6	7.48	6.15	5.13	4.32	3.68	3.15	2.72	2.37	2.07	1.82	1.61	1.43	1.28	1.15	1.03	0.93	0.85
C 210/2,0 G = 5,73 kg/m	1	3.84	3.40	3.08	2.81	2.58	2.39	2.22	2.07	1.93	1.82	1.69	1.59	1.49	1.40	1.32	1.25	1.18
	2	3.28	2.90	2.63	2.40	2.20	2.03	1.88	1.76	1.64	1.54	1.44	1.35	1.26	1.19	1.12	1.06	1.00
	3	-4.44	-3.93	-3.58	-3.28	-3.03	-2.81	-2.62	-2.45	-2.31	-2.18	-2.03	-1.91	-1.79	-1.69	-1.60	-1.52	-1.44
	4	-3.67	-3.22	-2.92	-2.67	-2.45	-2.26	-2.10	-1.95	-1.83	-1.72	-1.60	-1.50	-1.40	-1.32	-1.24	-1.18	-1.11
	5	16.0	13.2	11.0	9.27	7.88	6.76	5.84	5.08	4.44	3.91	3.46	3.08	2.75	2.46	2.22	2.00	1.81
	6	10.6	8.80	7.34	6.18	5.25	4.50	3.89	3.38	2.96	2.61	2.31	2.05	1.83	1.64	1.48	1.33	1.21
C 210/2,5 G = 7,16 kg/m	1	4.97	4.40	4.00	3.65	3.36	3.10	2.88	2.69	2.52	2.37	2.21	2.07	1.95	1.83	1.73	1.64	1.55
	2	4.45	3.93	3.57	3.26	3.00	2.77	2.57	2.40	2.25	2.11	1.97	1.85	1.73	1.63	1.54	1.45	1.38
	3	-5.69	-5.04	-4.59	-4.22	-3.89	-3.62	-3.38	-3.16	-2.98	-2.82	-2.64	-2.47	-2.33	-2.20	-2.08	-1.98	-1.88
	4	-4.97	-4.38	-3.98	-3.64	-3.35	-3.10	-2.89	-2.70	-2.53	-2.38	-2.23	-2.09	-1.96	-1.85	-1.75	-1.65	-1.57
	5	20.5	16.9	14.1	11.9	10.1	8.65	7.47	6.50	5.69	5.01	4.43	3.94	3.52	3.15	2.84	2.56	2.32
	6	13.7	11.3	9.40	7.91	6.73	5.77	4.98	4.33	3.79	3.34	2.95	2.63	2.34	2.10	1.89	1.71	1.55

SPOJITÝ NOSNÍK O 3 POLÍCH

Profil G [kg/m]		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
C 210/1,5 G = 4,30 kg/m	1	3.07	2.71	2.45	2.22	2.03	1.87	1.73										
	2	2.34	2.05	1.85	1.68	1.54	1.41	1.30										
	3	-2.59	-2.28	-2.06	-1.88	-1.72	-1.59	-1.47										
	4	-1.83	-1.58	-1.42	-1.28	-1.16	-1.06	-0.97										
	5	8.80	7.26	6.06	5.10	4.34	3.72	3.21										
	6	5.87	4.84	4.04	3.40	2.89	2.48	2.14										
C 210/2,0 G = 5,73 kg/m	1	4.61	4.08	3.69	3.37	3.09	2.85	2.64										
	2	3.94	3.48	3.15	2.87	2.63	2.43	2.25										
	3	-3.85	-3.40	-3.10	-2.84	-2.62	-2.43	-2.27										
	4	-3.16	-2.77	-2.51	-2.29	-2.11	-1.94	-1.81										
	5	12.6	10.4	8.65	7.29	6.20	5.32	4.59										
	6	8.38	6.92	5.77	4.86	4.13	3.54	3.06										
C 210/2,5 G = 7,16 kg/m	1	5.96	5.27	4.78	4.36	4.00	3.70	3.43										
	2	5.34	4.71	4.27	3.89	3.57	3.30	3.06										
	3	-4.93	-4.36	-3.98	-3.65	-3.37	-3.13	-2.92										
	4	-4.29	-3.77	-3.43	-3.14	-2.89	-2.67	-2.49										
	5	16.1	13.3	11.1	9.34	7.94	6.81	5.88										
	6	10.8	8.87	7.40	6.23	5.30	4.54	3.92										

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S1

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 9 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 550Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (IPE 550).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 27,5 cm
I_y	= 67117 cm ⁴
I_z	= 2667,6 cm ⁴
I_t	= 122,16 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 1,893E+6 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 134,42 cm ²	
$A_{v,y}$	= 72,24 cm ²	$A_{v,z}$ = 72,34 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 2440,6 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 2440,6 cm ³	$W_{el,z}$ = 254,06 cm ³
$W_{pl,y}$	= 2787 cm ³	$W_{pl,z}$ = 400,54 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 550Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (IPE 550).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 27,5 cm
I_y	= 67117 cm ⁴
I_z	= 2667,6 cm ⁴
I_t	= 122,16 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 1,893E+6 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 134,42 cm ²		
$A_{v,y}$	= 72,24 cm ²	$A_{v,z}$	= 72,34 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 2440,6 cm ³		
$W_{el,y,inf}$	= 2440,6 cm ³	$W_{el,z}$	= 254,06 cm ³
$W_{pl,y}$	= 2787 cm ³	$W_{pl,z}$	= 400,54 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
9	-148,33

- Axial force diagram :

Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
9	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	3,908	-579,72	9	0	9

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	3,908	-579,72	9	0	9

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-8,424E-29	0,0027	7,473E-27	0,0066
0,09	0,0243	0,0027	5,909E-4	0,0066
0,18	0,0485	0,0027	0,0012	0,0066
0,27	0,0728	0,0027	0,0018	0,0066
0,36	0,097	0,0027	0,0024	0,0065
0,45	0,1213	0,0027	0,0029	0,0065
0,54	0,1455	0,0027	0,0035	0,0065
0,63	0,1697	0,0027	0,0041	0,0065
0,72	0,1939	0,0027	0,0047	0,0065
0,81	0,218	0,0027	0,0053	0,0064
0,9	0,2421	0,0027	0,0059	0,0064
0,99	0,2662	0,0027	0,0064	0,0064
1,08	0,2902	0,0027	0,007	0,0063
1,17	0,3141	0,0027	0,0076	0,0063
1,26	0,338	0,0026	0,0081	0,0062
1,35	0,3618	0,0026	0,0087	0,0062
1,44	0,3854	0,0026	0,0093	0,0061
1,53	0,4089	0,0026	0,0098	0,0061
1,62	0,4323	0,0026	0,0103	0,006
1,71	0,4555	0,0026	0,0109	0,0059
1,8	0,4786	0,0026	0,0114	0,0059
1,89	0,5015	0,0025	0,0119	0,0058
1,98	0,5241	0,0025	0,0125	0,0057
2,07	0,5465	0,0025	0,013	0,0056
2,16	0,5687	0,0024	0,0135	0,0055
2,25	0,5906	0,0024	0,014	0,0055
2,34	0,6122	0,0024	0,0145	0,0054
2,43	0,6335	0,0023	0,0149	0,0053
2,52	0,6545	0,0023	0,0154	0,0051
2,61	0,675	0,0023	0,0159	0,005
2,7	0,6953	0,0022	0,0163	0,0049
2,79	0,7151	0,0022	0,0167	0,0048
2,88	0,7344	0,0021	0,0172	0,0047
2,97	0,7533	0,0021	0,0176	0,0045
3,06	0,7717	0,002	0,018	0,0044
3,15	0,7896	0,002	0,0184	0,0042
3,24	0,807	0,0019	0,0187	0,0041

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
3,33	0,8238	0,0018	0,0191	0,0039
3,42	0,84	0,0018	0,0195	0,0038
3,51	0,8556	0,0017	0,0198	0,0036
3,6	0,8705	0,0016	0,0201	0,0034
3,69	0,8848	0,0015	0,0204	0,0032
3,78	0,8984	0,0015	0,0207	0,0031
3,87	0,9112	0,0014	0,021	0,0029
3,96	0,9233	0,0013	0,0212	0,0027
4,05	0,9346	0,0012	0,0214	0,0025
4,14	0,9451	0,0011	0,0216	0,0023
4,23	0,9547	0,001	0,0218	0,002
4,32	0,9635	9,285E-4	0,022	0,0018
4,41	0,9714	8,287E-4	0,0222	0,0016
4,5	0,9784	7,262E-4	0,0223	0,0014
4,59	0,9845	6,211E-4	0,0224	0,0011
4,68	0,9896	5,134E-4	0,0225	8,833E-4
4,77	0,9937	4,032E-4	0,0226	6,372E-4
4,86	0,9968	2,906E-4	0,0226	3,865E-4
4,95	0,9989	1,758E-4	0,0226	1,313E-4
5,04	1	5,875E-5	0,0226	-1,28E-4
5,13	1	-6,032E-5	0,0226	-3,914E-4
5,22	0,9989	-1,813E-4	0,0226	-6,584E-4
5,31	0,9967	-3,041E-4	0,0225	-9,288E-4
5,4	0,9934	-4,285E-4	0,0224	-0,0012
5,49	0,989	-5,544E-4	0,0223	-0,0015
5,58	0,9834	-6,816E-4	0,0221	-0,0018
5,67	0,9767	-8,099E-4	0,022	-0,002
5,76	0,9689	-9,392E-4	0,0218	-0,0023
5,85	0,9598	-0,0011	0,0215	-0,0026
5,94	0,9496	-0,0012	0,0213	-0,0029
6,03	0,9382	-0,0013	0,021	-0,0032
6,12	0,9257	-0,0015	0,0207	-0,0035
6,21	0,9119	-0,0016	0,0204	-0,0037
6,3	0,897	-0,0017	0,0201	-0,004
6,39	0,8809	-0,0019	0,0197	-0,0043
6,48	0,8636	-0,002	0,0193	-0,0046
6,57	0,8451	-0,0021	0,0189	-0,0049

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,66	0,8255	-0,0022	0,0184	-0,0051
6,75	0,8048	-0,0024	0,0179	-0,0054
6,84	0,7829	-0,0025	0,0174	-0,0057
6,93	0,76	-0,0026	0,0169	-0,0059
7,02	0,7359	-0,0027	0,0164	-0,0062
7,11	0,7108	-0,0029	0,0158	-0,0064
7,2	0,6846	-0,003	0,0152	-0,0067
7,29	0,6574	-0,0031	0,0146	-0,0069
7,38	0,6292	-0,0032	0,0139	-0,0072
7,47	0,6001	-0,0033	0,0133	-0,0074
7,56	0,57	-0,0034	0,0126	-0,0076
7,65	0,539	-0,0035	0,0119	-0,0078
7,74	0,5072	-0,0036	0,0112	-0,008
7,83	0,4746	-0,0037	0,0105	-0,0082
7,92	0,4412	-0,0037	0,0097	-0,0083
8,01	0,4071	-0,0038	0,009	-0,0085
8,1	0,3724	-0,0039	0,0082	-0,0086
8,19	0,337	-0,004	0,0074	-0,0088
8,28	0,301	-0,004	0,0066	-0,0089
8,37	0,2645	-0,0041	0,0058	-0,009
8,46	0,2276	-0,0041	0,005	-0,0091
8,55	0,1903	-0,0042	0,0042	-0,0092
8,64	0,1527	-0,0042	0,0034	-0,0093
8,73	0,1147	-0,0042	0,0025	-0,0093
8,82	0,0766	-0,0042	0,0017	-0,0093
8,91	0,0383	-0,0043	8,437E-4	-0,0094
9	1,325E-28	-0,0043	-8,014E-27	-0,0094

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S2

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 9 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 450Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (IPE 450).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 22,5 cm
I_y	= 33743 cm ⁴
I_z	= 1675,9 cm ⁴
I_t	= 66,18 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 794246 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 98,82 cm ²	
$A_{v,y}$	= 55,48 cm ²	$A_{v,z}$ = 50,85 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 1499,7 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 1499,7 cm ³	$W_{el,z}$ = 176,41 cm ³
$W_{pl,y}$	= 1701,8 cm ³	$W_{pl,z}$ = 276,38 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 450Abscissa from the left end of the beam : $x = 9 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (IPE 450).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 22,5 cm
I_y	= 33743 cm ⁴
I_z	= 1675,9 cm ⁴
I_t	= 66,18 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 794246 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 98,82 cm ²	
$A_{v,y}$	= 55,48 cm ²	$A_{v,z}$ = 50,85 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 1499,7 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 1499,7 cm ³	$W_{el,z}$ = 176,41 cm ³
$W_{pl,y}$	= 1701,8 cm ³	$W_{pl,z}$ = 276,38 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
9	-198,7

- Axial force diagram :

Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
9	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,633	-324,52	9	0	9

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	1,633	-324,52	9	0	9

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-2,698E-30	0,0027	4,497E-27	0,0072
0,09	0,0242	0,0027	6,493E-4	0,0072
0,18	0,0483	0,0027	0,0013	0,0072
0,27	0,0725	0,0027	0,0019	0,0072
0,36	0,0967	0,0027	0,0026	0,0072
0,45	0,1208	0,0027	0,0032	0,0072
0,54	0,145	0,0027	0,0039	0,0072
0,63	0,1691	0,0027	0,0045	0,0071
0,72	0,1932	0,0027	0,0052	0,0071
0,81	0,2173	0,0027	0,0058	0,0071
0,9	0,2413	0,0027	0,0064	0,0071
0,99	0,2653	0,0027	0,0071	0,007
1,08	0,2892	0,0027	0,0077	0,007
1,17	0,3131	0,0026	0,0083	0,0069
1,26	0,3369	0,0026	0,009	0,0069
1,35	0,3606	0,0026	0,0096	0,0068
1,44	0,3841	0,0026	0,0102	0,0068
1,53	0,4076	0,0026	0,0108	0,0067
1,62	0,4309	0,0026	0,0114	0,0067
1,71	0,4541	0,0026	0,012	0,0066
1,8	0,4771	0,0025	0,0126	0,0065
1,89	0,4999	0,0025	0,0132	0,0064
1,98	0,5225	0,0025	0,0137	0,0064
2,07	0,5449	0,0025	0,0143	0,0063
2,16	0,567	0,0024	0,0149	0,0062
2,25	0,5889	0,0024	0,0154	0,0061
2,34	0,6104	0,0024	0,016	0,006
2,43	0,6317	0,0023	0,0165	0,0059
2,52	0,6526	0,0023	0,017	0,0058
2,61	0,6732	0,0023	0,0175	0,0056
2,7	0,6934	0,0022	0,018	0,0055
2,79	0,7132	0,0022	0,0185	0,0054
2,88	0,7325	0,0021	0,019	0,0053
2,97	0,7514	0,0021	0,0195	0,0051
3,06	0,7699	0,002	0,0199	0,005
3,15	0,7878	0,002	0,0204	0,0048
3,24	0,8052	0,0019	0,0208	0,0046

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
3,33	0,822	0,0018	0,0212	0,0045
3,42	0,8383	0,0018	0,0216	0,0043
3,51	0,8539	0,0017	0,022	0,0041
3,6	0,8689	0,0016	0,0223	0,0039
3,69	0,8832	0,0016	0,0227	0,0037
3,78	0,8968	0,0015	0,023	0,0035
3,87	0,9097	0,0014	0,0233	0,0033
3,96	0,9219	0,0013	0,0236	0,0031
4,05	0,9333	0,0012	0,0239	0,0029
4,14	0,9438	0,0011	0,0241	0,0027
4,23	0,9536	0,001	0,0244	0,0024
4,32	0,9625	9,396E-4	0,0246	0,0022
4,41	0,9705	8,403E-4	0,0248	0,0019
4,5	0,9776	7,383E-4	0,0249	0,0017
4,59	0,9838	6,336E-4	0,0251	0,0014
4,68	0,989	5,263E-4	0,0252	0,0011
4,77	0,9932	4,164E-4	0,0253	8,64E-4
4,86	0,9965	3,041E-4	0,0253	5,839E-4
4,95	0,9987	1,895E-4	0,0254	2,983E-4
5,04	0,9999	7,263E-5	0,0254	7,303E-6
5,13	1	-4,633E-5	0,0254	-2,887E-4
5,22	0,999	-1,673E-4	0,0253	-5,895E-4
5,31	0,997	-2,901E-4	0,0253	-8,947E-4
5,4	0,9938	-4,146E-4	0,0252	-0,0012
5,49	0,9895	-5,406E-4	0,025	-0,0015
5,58	0,9841	-6,68E-4	0,0249	-0,0018
5,67	0,9775	-7,967E-4	0,0247	-0,0022
5,76	0,9697	-9,263E-4	0,0245	-0,0025
5,85	0,9608	-0,0011	0,0243	-0,0028
5,94	0,9507	-0,0012	0,024	-0,0031
6,03	0,9394	-0,0013	0,0237	-0,0035
6,12	0,927	-0,0015	0,0234	-0,0038
6,21	0,9133	-0,0016	0,023	-0,0041
6,3	0,8985	-0,0017	0,0226	-0,0044
6,39	0,8824	-0,0018	0,0222	-0,0048
6,48	0,8652	-0,002	0,0218	-0,0051
6,57	0,8468	-0,0021	0,0213	-0,0054

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,66	0,8273	-0,0022	0,0208	-0,0057
6,75	0,8066	-0,0024	0,0203	-0,006
6,84	0,7848	-0,0025	0,0197	-0,0063
6,93	0,7618	-0,0026	0,0191	-0,0066
7,02	0,7378	-0,0027	0,0185	-0,0069
7,11	0,7127	-0,0029	0,0179	-0,0072
7,2	0,6865	-0,003	0,0172	-0,0075
7,29	0,6593	-0,0031	0,0165	-0,0078
7,38	0,6311	-0,0032	0,0158	-0,0081
7,47	0,6019	-0,0033	0,0151	-0,0083
7,56	0,5718	-0,0034	0,0143	-0,0086
7,65	0,5408	-0,0035	0,0135	-0,0088
7,74	0,5089	-0,0036	0,0127	-0,009
7,83	0,4762	-0,0037	0,0119	-0,0092
7,92	0,4428	-0,0038	0,0111	-0,0094
8,01	0,4086	-0,0038	0,0102	-0,0096
8,1	0,3737	-0,0039	0,0093	-0,0098
8,19	0,3382	-0,004	0,0085	-0,01
8,28	0,3021	-0,004	0,0075	-0,0101
8,37	0,2655	-0,0041	0,0066	-0,0102
8,46	0,2285	-0,0041	0,0057	-0,0104
8,55	0,191	-0,0042	0,0048	-0,0105
8,64	0,1532	-0,0042	0,0038	-0,0105
8,73	0,1152	-0,0042	0,0029	-0,0106
8,82	0,0769	-0,0043	0,0019	-0,0106
8,91	0,0385	-0,0043	9,601E-4	-0,0107
9	-3,938E-30	-0,0043	-4,53E-27	-0,0107

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S3

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 9 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 220Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (HEA 220).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 10,5 cm
I_y	= 5409,7 cm ⁴
I_z	= 1954,6 cm ⁴
I_t	= 27,96 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 193506 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 64,34 cm ²		
$A_{v,y}$	= 48,4 cm ²	$A_{v,z}$	= 20,67 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 515,21 cm ³		
$W_{el,y,inf}$	= 515,21 cm ³	$W_{el,z}$	= 177,69 cm ³
$W_{pl,y}$	= 568,46 cm ³	$W_{pl,z}$	= 270,59 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 220Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (HEA 220).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 10,5 cm
I_y	= 5409,7 cm ⁴
I_z	= 1954,6 cm ⁴
I_t	= 27,96 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 193506 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 64,34 cm ²	
$A_{v,y}$	= 48,4 cm ²	$A_{v,z}$ = 20,67 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 515,21 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 515,21 cm ³	$W_{el,z}$ = 177,69 cm ³
$W_{pl,y}$	= 568,46 cm ³	$W_{pl,z}$ = 270,59 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :*Figure 6 : Moment diagram.*

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
3,5	18,7
9	-27,54

- Axial force diagram :*Figure 7 : Axial force diagram.*

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
9	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	10,05	-276,85	9	0	9

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	10,05	-276,85	9	0	9

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-9,766E-30	-0,0038	5,968E-27	0,0227
0,09	-0,0343	-0,0038	0,002	0,0226
0,18	-0,0687	-0,0038	0,0041	0,0226
0,27	-0,103	-0,0038	0,0061	0,0226
0,36	-0,1373	-0,0038	0,0081	0,0225
0,45	-0,1716	-0,0038	0,0102	0,0224
0,54	-0,2059	-0,0038	0,0122	0,0223
0,63	-0,24	-0,0038	0,0142	0,0222
0,72	-0,2741	-0,0038	0,0162	0,0221
0,81	-0,308	-0,0038	0,0181	0,0219
0,9	-0,3418	-0,0037	0,0201	0,0217
0,99	-0,3754	-0,0037	0,0221	0,0215
1,08	-0,4088	-0,0037	0,024	0,0213
1,17	-0,4419	-0,0037	0,0259	0,021
1,26	-0,4747	-0,0036	0,0278	0,0207
1,35	-0,5071	-0,0036	0,0296	0,0204
1,44	-0,5391	-0,0035	0,0314	0,0201
1,53	-0,5706	-0,0035	0,0332	0,0197
1,62	-0,6015	-0,0034	0,035	0,0194
1,71	-0,6319	-0,0033	0,0367	0,0189
1,8	-0,6616	-0,0033	0,0384	0,0185
1,89	-0,6905	-0,0032	0,04	0,018
1,98	-0,7187	-0,0031	0,0416	0,0175
2,07	-0,746	-0,003	0,0432	0,017
2,16	-0,7723	-0,0029	0,0447	0,0165
2,25	-0,7976	-0,0028	0,0462	0,0159
2,34	-0,8218	-0,0026	0,0476	0,0153
2,43	-0,8449	-0,0025	0,0489	0,0146
2,52	-0,8666	-0,0023	0,0502	0,0139
2,61	-0,8871	-0,0022	0,0514	0,0132
2,7	-0,9061	-0,002	0,0526	0,0125
2,79	-0,9236	-0,0019	0,0537	0,0117
2,88	-0,9395	-0,0017	0,0547	0,011
2,97	-0,9537	-0,0015	0,0556	0,0102
3,06	-0,9662	-0,0013	0,0565	0,0093
3,15	-0,9769	-0,0011	0,0573	0,0085
3,24	-0,9857	-8,632E-4	0,058	0,0076

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
3,33	-0,9924	-6,374E-4	0,0587	0,0068
3,42	-0,9971	-4,03E-4	0,0593	0,0059
3,51	-0,9996	-1,611E-4	0,0597	0,005
3,6	-1	7,995E-5	0,0602	0,0042
3,69	-0,9982	3,124E-4	0,0605	0,0033
3,78	-0,9944	5,359E-4	0,0608	0,0025
3,87	-0,9886	7,501E-4	0,0609	0,0016
3,96	-0,9809	9,546E-4	0,061	8,133E-4
4,05	-0,9715	0,0011	0,0611	2,231E-5
4,14	-0,9603	0,0013	0,0611	-7,449E-4
4,23	-0,9475	0,0015	0,061	-0,0015
4,32	-0,9332	0,0017	0,0608	-0,0022
4,41	-0,9174	0,0018	0,0606	-0,0029
4,5	-0,9004	0,002	0,0603	-0,0035
4,59	-0,8821	0,0021	0,0599	-0,0042
4,68	-0,8626	0,0022	0,0595	-0,0048
4,77	-0,8422	0,0023	0,0591	-0,0054
4,86	-0,8208	0,0024	0,0586	-0,0059
4,95	-0,7985	0,0025	0,058	-0,0064
5,04	-0,7755	0,0026	0,0574	-0,0069
5,13	-0,7519	0,0027	0,0567	-0,0074
5,22	-0,7277	0,0027	0,0561	-0,0079
5,31	-0,703	0,0028	0,0553	-0,0083
5,4	-0,6779	0,0028	0,0546	-0,0087
5,49	-0,6526	0,0028	0,0538	-0,0091
5,58	-0,627	0,0029	0,0529	-0,0095
5,67	-0,6013	0,0029	0,052	-0,0099
5,76	-0,5755	0,0029	0,0511	-0,0102
5,85	-0,5498	0,0029	0,0502	-0,0106
5,94	-0,5242	0,0028	0,0492	-0,0109
6,03	-0,4988	0,0028	0,0482	-0,0113
6,12	-0,4736	0,0028	0,0472	-0,0116
6,21	-0,4487	0,0027	0,0461	-0,0119
6,3	-0,4242	0,0027	0,0451	-0,0123
6,39	-0,4001	0,0026	0,0439	-0,0126
6,48	-0,3765	0,0026	0,0428	-0,0129
6,57	-0,3535	0,0025	0,0416	-0,0132

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,66	-0,331	0,0025	0,0404	-0,0135
6,75	-0,3092	0,0024	0,0392	-0,0138
6,84	-0,288	0,0023	0,0379	-0,0142
6,93	-0,2676	0,0022	0,0366	-0,0145
7,02	-0,2478	0,0021	0,0353	-0,0148
7,11	-0,2289	0,0021	0,034	-0,0151
7,2	-0,2107	0,002	0,0326	-0,0154
7,29	-0,1933	0,0019	0,0312	-0,0158
7,38	-0,1768	0,0018	0,0298	-0,0161
7,47	-0,1611	0,0017	0,0283	-0,0164
7,56	-0,1462	0,0016	0,0268	-0,0167
7,65	-0,1321	0,0015	0,0253	-0,017
7,74	-0,1188	0,0014	0,0238	-0,0173
7,83	-0,1063	0,0013	0,0222	-0,0176
7,92	-0,0946	0,0013	0,0206	-0,0179
8,01	-0,0837	0,0012	0,019	-0,0181
8,1	-0,0734	0,0011	0,0173	-0,0184
8,19	-0,0639	0,001	0,0157	-0,0186
8,28	-0,055	9,542E-4	0,014	-0,0188
8,37	-0,0467	8,909E-4	0,0123	-0,019
8,46	-0,039	8,34E-4	0,0106	-0,0192
8,55	-0,0317	7,841E-4	0,0088	-0,0194
8,64	-0,0248	7,419E-4	0,0071	-0,0195
8,73	-0,0183	7,079E-4	0,0053	-0,0196
8,82	-0,012	6,829E-4	0,0035	-0,0197
8,91	-0,006	6,674E-4	0,0018	-0,0197
9	1,567E-29	6,621E-4	7,792E-27	-0,0197

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S4

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 9 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 240Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (HEA 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 11,5 cm
I_y	= 7763,2 cm ⁴
I_z	= 2768,8 cm ⁴
I_t	= 40,64 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 328962 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 76,84 cm ²	
$A_{v,y}$	= 57,6 cm ²	$A_{v,z}$ = 25,18 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 675,06 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 675,06 cm ³	$W_{el,z}$ = 230,73 cm ³
$W_{pl,y}$	= 744,62 cm ³	$W_{pl,z}$ = 351,69 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 240Abscissa from the left end of the beam : $x = 9 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (HEA 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 11,5 cm
I_y	= 7763,2 cm ⁴
I_z	= 2768,8 cm ⁴
I_t	= 40,64 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 328962 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 76,84 cm ²	
$A_{v,y}$	= 57,6 cm ²	$A_{v,z}$ = 25,18 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 675,06 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 675,06 cm ³	$W_{el,z}$ = 230,73 cm ³
$W_{pl,y}$	= 744,62 cm ³	$W_{pl,z}$ = 351,69 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 4,5$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Free

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 9$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
4,5	-17,71
9	0

- Axial force diagram :

Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
9	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	45,12	-799,03	4,5	0	4,5

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	45,12	-799,03	4,5	0	4,5

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	6,732E-28	-0,0054	-1,317E-26	-0,0415
0,09	-0,0489	-0,0054	-0,0037	-0,0415
0,18	-0,0978	-0,0054	-0,0075	-0,0413
0,27	-0,1466	-0,0054	-0,0112	-0,0411
0,36	-0,1954	-0,0054	-0,0149	-0,0407
0,45	-0,244	-0,0054	-0,0185	-0,0403
0,54	-0,2924	-0,0054	-0,0221	-0,0397
0,63	-0,3405	-0,0053	-0,0256	-0,039
0,72	-0,3882	-0,0053	-0,0291	-0,0382
0,81	-0,4355	-0,0052	-0,0325	-0,0373
0,9	-0,482	-0,0051	-0,0358	-0,0363
0,99	-0,5278	-0,005	-0,0391	-0,0352
1,08	-0,5725	-0,0049	-0,0422	-0,0339
1,17	-0,6162	-0,0048	-0,0452	-0,0326
1,26	-0,6586	-0,0046	-0,048	-0,0311
1,35	-0,6994	-0,0044	-0,0508	-0,0295
1,44	-0,7386	-0,0043	-0,0533	-0,0277
1,53	-0,7759	-0,004	-0,0557	-0,0259
1,62	-0,811	-0,0038	-0,058	-0,0239
1,71	-0,8439	-0,0035	-0,06	-0,0217
1,8	-0,8742	-0,0032	-0,0619	-0,0195
1,89	-0,9017	-0,0029	-0,0635	-0,0171
1,98	-0,9263	-0,0026	-0,065	-0,0146
2,07	-0,9477	-0,0022	-0,0661	-0,012
2,16	-0,9657	-0,0018	-0,0671	-0,0092
2,25	-0,9801	-0,0014	-0,0678	-0,0064
2,34	-0,9907	-9,665E-4	-0,0683	-0,0035
2,43	-0,9974	-5,183E-4	-0,0684	-4,453E-4
2,52	-1	-5,3E-5	-0,0683	0,0027
2,61	-0,9983	4,275E-4	-0,0679	0,0058
2,7	-0,9923	9,211E-4	-0,0673	0,009
2,79	-0,9817	0,0014	-0,0663	0,0123
2,88	-0,9666	0,0019	-0,0651	0,0156
2,97	-0,9468	0,0025	-0,0635	0,0188
3,06	-0,9224	0,003	-0,0617	0,0221
3,15	-0,8933	0,0035	-0,0595	0,0253
3,24	-0,8596	0,004	-0,0571	0,0285

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
3,33	-0,8213	0,0045	-0,0544	0,0316
3,42	-0,7785	0,005	-0,0514	0,0346
3,51	-0,7314	0,0055	-0,0482	0,0375
3,6	-0,6801	0,0059	-0,0447	0,0402
3,69	-0,6248	0,0064	-0,041	0,0427
3,78	-0,5657	0,0068	-0,037	0,0451
3,87	-0,5033	0,0071	-0,0329	0,0472
3,96	-0,4376	0,0075	-0,0285	0,0491
4,05	-0,3692	0,0077	-0,024	0,0508
4,14	-0,2984	0,008	-0,0194	0,0522
4,23	-0,2256	0,0082	-0,0146	0,0533
4,32	-0,1513	0,0083	-0,0098	0,054
4,41	-0,0759	0,0084	-0,0049	0,0545
4,5	1,517E-27	0,0084	2,673E-12	0,0547
4,59	0,0759	0,0084	0,0049	0,0545
4,68	0,1513	0,0083	0,0098	0,054
4,77	0,2256	0,0082	0,0146	0,0533
4,86	0,2984	0,008	0,0194	0,0522
4,95	0,3692	0,0077	0,024	0,0508
5,04	0,4376	0,0075	0,0285	0,0491
5,13	0,5033	0,0071	0,0329	0,0472
5,22	0,5657	0,0068	0,037	0,0451
5,31	0,6248	0,0064	0,041	0,0427
5,4	0,6801	0,0059	0,0447	0,0402
5,49	0,7314	0,0055	0,0482	0,0375
5,58	0,7785	0,005	0,0514	0,0346
5,67	0,8213	0,0045	0,0544	0,0316
5,76	0,8596	0,004	0,0571	0,0285
5,85	0,8933	0,0035	0,0595	0,0253
5,94	0,9224	0,003	0,0617	0,0221
6,03	0,9468	0,0025	0,0635	0,0188
6,12	0,9666	0,0019	0,0651	0,0156
6,21	0,9817	0,0014	0,0663	0,0123
6,3	0,9923	9,211E-4	0,0673	0,009
6,39	0,9983	4,275E-4	0,0679	0,0058
6,48	1	-5,3E-5	0,0683	0,0027
6,57	0,9974	-5,183E-4	0,0684	-4,453E-4

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,66	0,9907	-9,665E-4	0,0683	-0,0035
6,75	0,9801	-0,0014	0,0678	-0,0064
6,84	0,9657	-0,0018	0,0671	-0,0092
6,93	0,9477	-0,0022	0,0661	-0,012
7,02	0,9263	-0,0026	0,065	-0,0146
7,11	0,9017	-0,0029	0,0635	-0,0171
7,2	0,8742	-0,0032	0,0619	-0,0195
7,29	0,8439	-0,0035	0,06	-0,0217
7,38	0,811	-0,0038	0,058	-0,0239
7,47	0,7759	-0,004	0,0557	-0,0259
7,56	0,7386	-0,0043	0,0533	-0,0277
7,65	0,6994	-0,0044	0,0508	-0,0295
7,74	0,6586	-0,0046	0,048	-0,0311
7,83	0,6162	-0,0048	0,0452	-0,0326
7,92	0,5725	-0,0049	0,0422	-0,0339
8,01	0,5278	-0,005	0,0391	-0,0352
8,1	0,482	-0,0051	0,0358	-0,0363
8,19	0,4355	-0,0052	0,0325	-0,0373
8,28	0,3882	-0,0053	0,0291	-0,0382
8,37	0,3405	-0,0053	0,0256	-0,039
8,46	0,2924	-0,0054	0,0221	-0,0397
8,55	0,244	-0,0054	0,0185	-0,0403
8,64	0,1954	-0,0054	0,0149	-0,0407
8,73	0,1466	-0,0054	0,0112	-0,0411
8,82	0,0978	-0,0054	0,0075	-0,0413
8,91	0,0489	-0,0054	0,0037	-0,0415
9	1,789E-27	-0,0054	2,461E-26	-0,0415

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S5

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 11 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 220Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (HEA 220).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 10,5 cm
I_y	= 5409,7 cm ⁴
I_z	= 1954,6 cm ⁴
I_t	= 27,96 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 193506 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 64,34 cm ²		
$A_{v,y}$	= 48,4 cm ²	$A_{v,z}$	= 20,67 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 515,21 cm ³		
$W_{el,y,inf}$	= 515,21 cm ³	$W_{el,z}$	= 177,69 cm ³
$W_{pl,y}$	= 568,46 cm ³	$W_{pl,z}$	= 270,59 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 220Abscissa from the left end of the beam : $x = 11$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (HEA 220).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 10,5 cm
I_y	= 5409,7 cm ⁴
I_z	= 1954,6 cm ⁴
I_t	= 27,96 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 193506 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 64,34 cm ²	
$A_{v,y}$	= 48,4 cm ²	$A_{v,z}$ = 20,67 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 515,21 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 515,21 cm ³	$W_{el,z}$ = 177,69 cm ³
$W_{pl,y}$	= 568,46 cm ³	$W_{pl,z}$ = 270,59 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
5,5	56,43
11	0

- Axial force diagram :

Figure 7 : Axial force diagram.

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
11	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,24	126,38	5,5	0	5,5

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,24	126,38	5,5	0	5,5

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-9,551E-33	0,0025	-2,298E-27	-0,0095
0,11	0,0273	0,0025	-0,0011	-0,0095
0,22	0,0547	0,0025	-0,0021	-0,0095
0,33	0,082	0,0025	-0,0031	-0,0095
0,44	0,1093	0,0025	-0,0042	-0,0095
0,55	0,1366	0,0025	-0,0052	-0,0095
0,66	0,1639	0,0025	-0,0063	-0,0095
0,77	0,1911	0,0025	-0,0073	-0,0094
0,88	0,2184	0,0025	-0,0084	-0,0094
0,99	0,2455	0,0025	-0,0094	-0,0094
1,1	0,2726	0,0025	-0,0104	-0,0093
1,21	0,2997	0,0025	-0,0114	-0,0093
1,32	0,3266	0,0024	-0,0125	-0,0092
1,43	0,3534	0,0024	-0,0135	-0,0092
1,54	0,3801	0,0024	-0,0145	-0,0091
1,65	0,4067	0,0024	-0,0155	-0,009
1,76	0,433	0,0024	-0,0165	-0,0089
1,87	0,4592	0,0024	-0,0174	-0,0088
1,98	0,4851	0,0023	-0,0184	-0,0087
2,09	0,5108	0,0023	-0,0194	-0,0086
2,2	0,5363	0,0023	-0,0203	-0,0085
2,31	0,5614	0,0023	-0,0212	-0,0084
2,42	0,5862	0,0022	-0,0222	-0,0083
2,53	0,6106	0,0022	-0,0231	-0,0081
2,64	0,6347	0,0022	-0,0239	-0,008
2,75	0,6583	0,0021	-0,0248	-0,0078
2,86	0,6814	0,0021	-0,0257	-0,0076
2,97	0,7041	0,002	-0,0265	-0,0075
3,08	0,7262	0,002	-0,0273	-0,0073
3,19	0,7477	0,0019	-0,0281	-0,007
3,3	0,7687	0,0019	-0,0288	-0,0068
3,41	0,7889	0,0018	-0,0296	-0,0066
3,52	0,8086	0,0018	-0,0303	-0,0063
3,63	0,8274	0,0017	-0,031	-0,0061
3,74	0,8456	0,0016	-0,0316	-0,0058
3,85	0,8629	0,0015	-0,0323	-0,0055
3,96	0,8794	0,0015	-0,0329	-0,0052

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
4,07	0,895	0,0014	-0,0334	-0,0049
4,18	0,9097	0,0013	-0,0339	-0,0046
4,29	0,9234	0,0012	-0,0344	-0,0043
4,4	0,9361	0,0011	-0,0349	-0,0039
4,51	0,9478	0,001	-0,0353	-0,0036
4,62	0,9584	9,135E-4	-0,0357	-0,0032
4,73	0,9679	8,104E-4	-0,036	-0,0028
4,84	0,9762	7,038E-4	-0,0363	-0,0025
4,95	0,9833	5,941E-4	-0,0365	-0,0021
5,06	0,9893	4,811E-4	-0,0367	-0,0017
5,17	0,9939	3,651E-4	-0,0369	-0,0012
5,28	0,9973	2,462E-4	-0,037	-8,345E-4
5,39	0,9993	1,244E-4	-0,0371	-4,182E-4
5,5	1	-1,91E-13	-0,0371	1,399E-12
5,61	0,9993	-1,244E-4	-0,0371	4,182E-4
5,72	0,9973	-2,462E-4	-0,037	8,345E-4
5,83	0,9939	-3,651E-4	-0,0369	0,0012
5,94	0,9893	-4,811E-4	-0,0367	0,0017
6,05	0,9833	-5,941E-4	-0,0365	0,0021
6,16	0,9762	-7,038E-4	-0,0363	0,0025
6,27	0,9679	-8,104E-4	-0,036	0,0028
6,38	0,9584	-9,135E-4	-0,0357	0,0032
6,49	0,9478	-0,001	-0,0353	0,0036
6,6	0,9361	-0,0011	-0,0349	0,0039
6,71	0,9234	-0,0012	-0,0344	0,0043
6,82	0,9097	-0,0013	-0,0339	0,0046
6,93	0,895	-0,0014	-0,0334	0,0049
7,04	0,8794	-0,0015	-0,0329	0,0052
7,15	0,8629	-0,0015	-0,0323	0,0055
7,26	0,8456	-0,0016	-0,0316	0,0058
7,37	0,8274	-0,0017	-0,031	0,0061
7,48	0,8086	-0,0018	-0,0303	0,0063
7,59	0,7889	-0,0018	-0,0296	0,0066
7,7	0,7687	-0,0019	-0,0288	0,0068
7,81	0,7477	-0,0019	-0,0281	0,007
7,92	0,7262	-0,002	-0,0273	0,0073
8,03	0,7041	-0,002	-0,0265	0,0075

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
8,14	0,6814	-0,0021	-0,0257	0,0076
8,25	0,6583	-0,0021	-0,0248	0,0078
8,36	0,6347	-0,0022	-0,0239	0,008
8,47	0,6106	-0,0022	-0,0231	0,0081
8,58	0,5862	-0,0022	-0,0222	0,0083
8,69	0,5614	-0,0023	-0,0212	0,0084
8,8	0,5363	-0,0023	-0,0203	0,0085
8,91	0,5108	-0,0023	-0,0194	0,0086
9,02	0,4851	-0,0023	-0,0184	0,0087
9,13	0,4592	-0,0024	-0,0174	0,0088
9,24	0,433	-0,0024	-0,0165	0,0089
9,35	0,4067	-0,0024	-0,0155	0,009
9,46	0,3801	-0,0024	-0,0145	0,0091
9,57	0,3534	-0,0024	-0,0135	0,0092
9,68	0,3266	-0,0024	-0,0125	0,0092
9,79	0,2997	-0,0025	-0,0114	0,0093
9,9	0,2726	-0,0025	-0,0104	0,0093
10,01	0,2455	-0,0025	-0,0094	0,0094
10,12	0,2184	-0,0025	-0,0084	0,0094
10,23	0,1911	-0,0025	-0,0073	0,0094
10,34	0,1639	-0,0025	-0,0063	0,0095
10,45	0,1366	-0,0025	-0,0052	0,0095
10,56	0,1093	-0,0025	-0,0042	0,0095
10,67	0,082	-0,0025	-0,0031	0,0095
10,78	0,0547	-0,0025	-0,0021	0,0095
10,89	0,0273	-0,0025	-0,0011	0,0095
11	-1,104E-32	-0,0025	-2,3E-27	0,0095

LTBeamN

v 1.0.2

Sloup S6

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 11 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : HEA 240Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (HEA 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 11,5 cm
I_y	= 7763,2 cm ⁴
I_z	= 2768,8 cm ⁴
I_t	= 40,64 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 328962 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 76,84 cm ²	
$A_{v,y}$	= 57,6 cm ²	$A_{v,z}$ = 25,18 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 675,06 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 675,06 cm ³	$W_{el,z}$ = 230,73 cm ³
$W_{pl,y}$	= 744,62 cm ³	$W_{pl,z}$ = 351,69 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : HEA 240Abscissa from the left end of the beam : $x = 11 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (HEA 240).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 11,5 cm
I_y	= 7763,2 cm ⁴
I_z	= 2768,8 cm ⁴
I_t	= 40,64 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 328962 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 76,84 cm ²	
$A_{v,y}$	= 57,6 cm ²	$A_{v,z}$ = 25,18 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 675,06 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 675,06 cm ³	$W_{el,z}$ = 230,73 cm ³
$W_{pl,y}$	= 744,62 cm ³	$W_{pl,z}$ = 351,69 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 5,5$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 11$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :*Figure 6 : Moment diagram.*

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	0
5,5	-61,96
11	0

- Axial force diagram :*Figure 7 : Axial force diagram.*

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-235,06
11	-235,06

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	9,598	-594,71	5,5	0	5,5

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	9,598	-594,71	5,5	0	5,5

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-5,799E-30	0,0044	1,351E-26	0,0298
0,11	0,0487	0,0044	0,0033	0,0298
0,22	0,0974	0,0044	0,0066	0,0297
0,33	0,146	0,0044	0,0098	0,0295
0,44	0,1946	0,0044	0,013	0,0293
0,55	0,2431	0,0044	0,0163	0,029
0,66	0,2913	0,0044	0,0194	0,0286
0,77	0,3393	0,0043	0,0226	0,0282
0,88	0,3868	0,0043	0,0256	0,0277
0,99	0,4339	0,0043	0,0286	0,0271
1,1	0,4803	0,0042	0,0316	0,0264
1,21	0,5259	0,0041	0,0344	0,0256
1,32	0,5706	0,004	0,0372	0,0248
1,43	0,6142	0,0039	0,0399	0,0239
1,54	0,6565	0,0038	0,0425	0,0229
1,65	0,6974	0,0036	0,0449	0,0217
1,76	0,7365	0,0035	0,0472	0,0205
1,87	0,7738	0,0033	0,0494	0,0192
1,98	0,809	0,0031	0,0515	0,0178
2,09	0,8419	0,0029	0,0534	0,0163
2,2	0,8724	0,0026	0,0551	0,0148
2,31	0,9	0,0024	0,0566	0,0131
2,42	0,9248	0,0021	0,0579	0,0113
2,53	0,9464	0,0018	0,0591	0,0094
2,64	0,9646	0,0015	0,06	0,0074
2,75	0,9793	0,0012	0,0607	0,0054
2,86	0,9902	8,153E-4	0,0612	0,0032
2,97	0,9971	4,497E-4	0,0614	0,001
3,08	1	6,958E-5	0,0614	-0,0013
3,19	0,9986	-3,234E-4	0,0611	-0,0036
3,3	0,9928	-7,276E-4	0,0606	-0,006
3,41	0,9826	-0,0011	0,0598	-0,0084
3,52	0,9677	-0,0016	0,0587	-0,0109
3,63	0,9482	-0,002	0,0574	-0,0133
3,74	0,924	-0,0024	0,0558	-0,0158
3,85	0,8951	-0,0028	0,0539	-0,0183
3,96	0,8616	-0,0033	0,0518	-0,0207

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
4,07	0,8234	-0,0037	0,0494	-0,023
4,18	0,7807	-0,0041	0,0467	-0,0253
4,29	0,7336	-0,0045	0,0438	-0,0275
4,4	0,6823	-0,0049	0,0407	-0,0296
4,51	0,627	-0,0052	0,0373	-0,0316
4,62	0,5679	-0,0055	0,0337	-0,0334
4,73	0,5052	-0,0058	0,03	-0,0351
4,84	0,4394	-0,0061	0,026	-0,0366
4,95	0,3708	-0,0064	0,0219	-0,0379
5,06	0,2997	-0,0066	0,0177	-0,0389
5,17	0,2266	-0,0067	0,0134	-0,0398
5,28	0,152	-0,0068	0,009	-0,0404
5,39	0,0763	-0,0069	0,0045	-0,0408
5,5	9,218E-30	-0,0069	-2,79E-29	-0,0409
5,61	-0,0763	-0,0069	-0,0045	-0,0408
5,72	-0,152	-0,0068	-0,009	-0,0404
5,83	-0,2266	-0,0067	-0,0134	-0,0398
5,94	-0,2997	-0,0066	-0,0177	-0,0389
6,05	-0,3708	-0,0064	-0,0219	-0,0379
6,16	-0,4394	-0,0061	-0,026	-0,0366
6,27	-0,5052	-0,0058	-0,03	-0,0351
6,38	-0,5679	-0,0055	-0,0337	-0,0334
6,49	-0,627	-0,0052	-0,0373	-0,0316
6,6	-0,6823	-0,0049	-0,0407	-0,0296
6,71	-0,7336	-0,0045	-0,0438	-0,0275
6,82	-0,7807	-0,0041	-0,0467	-0,0253
6,93	-0,8234	-0,0037	-0,0494	-0,023
7,04	-0,8616	-0,0033	-0,0518	-0,0207
7,15	-0,8951	-0,0028	-0,0539	-0,0183
7,26	-0,924	-0,0024	-0,0558	-0,0158
7,37	-0,9482	-0,002	-0,0574	-0,0133
7,48	-0,9677	-0,0016	-0,0587	-0,0109
7,59	-0,9826	-0,0011	-0,0598	-0,0084
7,7	-0,9928	-7,276E-4	-0,0606	-0,006
7,81	-0,9986	-3,234E-4	-0,0611	-0,0036
7,92	-1	6,958E-5	-0,0614	-0,0013
8,03	-0,9971	4,497E-4	-0,0614	0,001

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
8,14	-0,9902	8,153E-4	-0,0612	0,0032
8,25	-0,9793	0,0012	-0,0607	0,0054
8,36	-0,9646	0,0015	-0,06	0,0074
8,47	-0,9464	0,0018	-0,0591	0,0094
8,58	-0,9248	0,0021	-0,0579	0,0113
8,69	-0,9	0,0024	-0,0566	0,0131
8,8	-0,8724	0,0026	-0,0551	0,0148
8,91	-0,8419	0,0029	-0,0534	0,0163
9,02	-0,809	0,0031	-0,0515	0,0178
9,13	-0,7738	0,0033	-0,0494	0,0192
9,24	-0,7365	0,0035	-0,0472	0,0205
9,35	-0,6974	0,0036	-0,0449	0,0217
9,46	-0,6565	0,0038	-0,0425	0,0229
9,57	-0,6142	0,0039	-0,0399	0,0239
9,68	-0,5706	0,004	-0,0372	0,0248
9,79	-0,5259	0,0041	-0,0344	0,0256
9,9	-0,4803	0,0042	-0,0316	0,0264
10,01	-0,4339	0,0043	-0,0286	0,0271
10,12	-0,3868	0,0043	-0,0256	0,0277
10,23	-0,3393	0,0043	-0,0226	0,0282
10,34	-0,2913	0,0044	-0,0194	0,0286
10,45	-0,2431	0,0044	-0,0163	0,029
10,56	-0,1946	0,0044	-0,013	0,0293
10,67	-0,146	0,0044	-0,0098	0,0295
10,78	-0,0974	0,0044	-0,0066	0,0297
10,89	-0,0487	0,0044	-0,0033	0,0298
11	-2,975E-30	0,0044	-1,355E-26	0,0298

LTBeamN

v 1.0.2

Příčel P1

CALCULATION SHEET

I - PARAMETERS***I.1 - General parameters***

Projected total length :	L = 16,5 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80763 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3001$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 450Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 2 : Section No. 1 (IPE 450).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 22,5 cm
I_y	= 33743 cm ⁴
I_z	= 1675,9 cm ⁴
I_t	= 66,18 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 794246 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 98,82 cm ²	
$A_{v,y}$	= 55,48 cm ²	$A_{v,z}$ = 50,85 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 1499,7 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 1499,7 cm ³	$W_{el,z}$ = 176,41 cm ³
$W_{pl,y}$	= 1701,8 cm ³	$W_{pl,z}$ = 276,38 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 450Abscissa from the left end of the beam : $x = 16,5 \text{ m}$

Type : In catalogue (OTUA)

Figure 3 : Section No. 2 (IPE 450).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 22,5 cm
I_y	= 33743 cm ⁴
I_z	= 1675,9 cm ⁴
I_t	= 66,18 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 794246 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 98,82 cm ²	
$A_{v,y}$	= 55,48 cm ²	$A_{v,z}$ = 50,85 cm ²
$W_{el,y,sup}$	= 1499,7 cm ³	
$W_{el,y,inf}$	= 1499,7 cm ³	$W_{el,z}$ = 176,41 cm ³
$W_{pl,y}$	= 1701,8 cm ³	$W_{pl,z}$ = 276,38 cm ³

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

I.4 - Lateral restraints

Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 4,125$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Free

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 8,25$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 4 :

Type : Ponctual
Abscissa from the left end of the beam : $x = 12,38$ m
Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- Restraint No. 5 :

Type : Ponctual
Abscissa from the left end of the beam : $x = 16,5$ m
Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

1.5 - Supports

Figure 5 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0 \text{ m}$

Support conditions :

u : Fixed

w : Fixed

w' : Fixed

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 16,5 \text{ m}$

Support conditions :

u : Fixed

w : Fixed

w' : Fixed

I.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :*Figure 6 : Moment diagram.*

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-202,79
8,25	141,88
16,5	-304,82

- Axial force diagram :*Figure 7 : Axial force diagram.*

Active : No

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	0
16,5	0

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
Blocked moment diagram : No
Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes*Table 3 : LTB modes.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,25	-685,73	16,5	0	16,5

II.2 - Mode shapes**- Mode 1***Table 4 : Mode 1.*

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	2,25	-685,73	16,5	0	16,5

Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	-8,643E-29	-5,532E-4	1,471E-27	2,657E-4
0,165	-0,0091	-5,503E-4	4,438E-5	2,755E-4
0,33	-0,0181	-5,417E-4	9,198E-5	3,047E-4
0,495	-0,027	-5,273E-4	1,46E-4	3,531E-4
0,66	-0,0355	-5,072E-4	2,095E-4	4,199E-4
0,825	-0,0437	-4,816E-4	2,855E-4	5,046E-4
0,99	-0,0514	-4,506E-4	3,77E-4	6,062E-4
1,155	-0,0585	-4,143E-4	4,865E-4	7,238E-4
1,32	-0,065	-3,73E-4	6,166E-4	8,563E-4
1,485	-0,0708	-3,267E-4	7,698E-4	0,001
1,65	-0,0758	-2,756E-4	9,481E-4	0,0012
1,815	-0,0799	-2,199E-4	0,0012	0,0013
1,98	-0,083	-1,595E-4	0,0014	0,0015
2,145	-0,0851	-9,469E-5	0,0017	0,0017
2,31	-0,0861	-2,529E-5	0,0019	0,0019
2,475	-0,0859	4,871E-5	0,0023	0,0021
2,64	-0,0845	1,274E-4	0,0026	0,0023
2,805	-0,0817	2,11E-4	0,003	0,0025
2,97	-0,0775	2,997E-4	0,0035	0,0027
3,135	-0,0718	3,939E-4	0,0039	0,003
3,3	-0,0644	4,939E-4	0,0045	0,0032
3,465	-0,0554	6,003E-4	0,005	0,0034
3,63	-0,0446	7,135E-4	0,0056	0,0036
3,795	-0,0318	8,342E-4	0,0062	0,0039
3,96	-0,017	9,632E-4	0,0069	0,0041
4,125	5,991E-28	0,0011	0,0076	0,0043
4,29	0,0192	0,0012	0,0083	0,0046
4,455	0,0403	0,0013	0,0091	0,0048
4,62	0,0625	0,0014	0,0099	0,0051
4,785	0,0853	0,0014	0,0107	0,0053
4,95	0,1082	0,0014	0,0116	0,0056
5,115	0,1307	0,0013	0,0126	0,0058
5,28	0,1522	0,0013	0,0136	0,0061
5,445	0,1724	0,0012	0,0146	0,0064
5,61	0,1907	0,001	0,0157	0,0067
5,775	0,2067	8,953E-4	0,0168	0,007
5,94	0,2201	7,231E-4	0,018	0,0074

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,105	0,2305	5,301E-4	0,0192	0,0077
6,27	0,2375	3,185E-4	0,0205	0,0081
6,435	0,2409	9,05E-5	0,0219	0,0085
6,6	0,2404	-1,514E-4	0,0233	0,0089
6,765	0,2358	-4,047E-4	0,0248	0,0093
6,93	0,227	-6,667E-4	0,0264	0,0098
7,095	0,2138	-9,343E-4	0,028	0,0102
7,26	0,1961	-0,0012	0,0298	0,0106
7,425	0,174	-0,0015	0,0316	0,0111
7,59	0,1475	-0,0017	0,0334	0,0115
7,755	0,1167	-0,002	0,0353	0,0119
7,92	0,0816	-0,0022	0,0373	0,0123
8,085	0,0427	-0,0025	0,0394	0,0126
8,25	-1,572E-27	-0,0027	0,0415	0,0129
8,415	-0,0459	-0,0029	0,0436	0,0131
8,58	-0,0939	-0,003	0,0458	0,0133
8,745	-0,1429	-0,003	0,048	0,0134
8,91	-0,1919	-0,0029	0,0502	0,0135
9,075	-0,2397	-0,0028	0,0525	0,0135
9,24	-0,2855	-0,0027	0,0547	0,0135
9,405	-0,3283	-0,0025	0,0569	0,0134
9,57	-0,3674	-0,0022	0,0591	0,0132
9,735	-0,402	-0,0019	0,0613	0,013
9,9	-0,4315	-0,0016	0,0634	0,0128
10,07	-0,4552	-0,0013	0,0655	0,0125
10,23	-0,4726	-8,559E-4	0,0675	0,0123
10,4	-0,4833	-4,347E-4	0,0695	0,012
10,56	-0,4868	8,615E-6	0,0715	0,0117
10,73	-0,4829	4,701E-4	0,0734	0,0113
10,89	-0,4712	9,462E-4	0,0752	0,011
11,06	-0,4516	0,0014	0,077	0,0106
11,22	-0,4239	0,0019	0,0787	0,0102
11,39	-0,388	0,0024	0,0804	0,0097
11,55	-0,3438	0,0029	0,0819	0,0093
11,72	-0,2913	0,0034	0,0834	0,0087
11,88	-0,2306	0,0039	0,0848	0,0081
12,05	-0,1617	0,0044	0,0861	0,0075

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
12,21	-0,0848	0,0049	0,0873	0,0067
12,38	1,698E-27	0,0054	0,0883	0,0058
12,54	0,0922	0,0058	0,0892	0,0048
12,71	0,1899	0,006	0,0899	0,0036
12,87	0,2908	0,0062	0,0904	0,0023
13,04	0,3925	0,0061	0,0906	7,693E-4
13,2	0,4927	0,006	0,0906	-9,669E-4
13,37	0,5893	0,0057	0,0903	-0,0029
13,53	0,6801	0,0053	0,0896	-0,0051
13,7	0,763	0,0048	0,0886	-0,0075
13,86	0,8362	0,0041	0,0872	-0,01
14,03	0,8979	0,0034	0,0853	-0,0128
14,19	0,9463	0,0025	0,0829	-0,0157
14,36	0,9802	0,0016	0,0801	-0,0188
14,52	0,9984	6,064E-4	0,0767	-0,022
14,69	1	-4,224E-4	0,0728	-0,0252
14,85	0,9843	-0,0015	0,0684	-0,0284
15,02	0,9512	-0,0025	0,0635	-0,0317
15,18	0,9006	-0,0036	0,058	-0,0348
15,35	0,8329	-0,0046	0,052	-0,0377
15,51	0,7491	-0,0055	0,0455	-0,0404
15,68	0,6503	-0,0064	0,0387	-0,0429
15,84	0,538	-0,0072	0,0314	-0,045
16,01	0,4143	-0,0078	0,0238	-0,0467
16,17	0,2816	-0,0083	0,016	-0,0479
16,34	0,1424	-0,0086	0,0081	-0,0487
16,5	-6,316E-28	-0,0087	-1,47E-27	-0,0489