



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER CONSTRUCTION

OPTIMALIZAČNÍ STUDIE HMOTNOSTI PŘÍHRADOVÉHO STŘEŠNÍHO VAZNÍKU – VARIANTA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ S OCELOVÝMI PROFILY TYPU CHS

OPTIMIZATION STUDY FO THE WEIGHT OF LATTICE ROOF TRUSS – A VARIANT FOR
STRUCTURAL SOLUTION WITH STEEL PROFILES OF CHS TYPE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavλίna Prokešová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

A– PRŮVODNÍ DOKUMENT

A – ACCOMPANYING DOCUMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVLÍNA PROKEŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Pavλίna Prokešová
Název	Optimalizační studie hmotnosti příhradového střešního vazníku - varianta konstrukčního řešení s ocelovými profily typu CHS.
Vedoucí práce	prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.
Datum zadání	30. 11. 2015
Datum odevzdání	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

V rámci zpracování zadaného úkolu budou použity platné normy pro navrhování ocelových konstrukcí a mostů, zejména:

[1] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[2] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem

[3] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

[4] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

[5] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

a vybraná související odborná literatura:

Wardenier, J.: Hollow Sections in Structural Applications, Delft University of Technology, The Netherlands, CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire, 2001.

J. Wardenier, J., Kurobane Y., Packer, J. A. , van der Vegte, G. J. and Zhao, X.-L.: Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading, CIDECT, Second Edition, 2008.

Packer, J. A., Wardenier, J., Zhao, X.-L., van der Vegte, G. J. and Kurobane Y.: Design Guide for Rectangular Hollow Section (RHS) Joints Under Predominantly Static Loading, CIDECT, Second Edition, 2009.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zadání optimalizační studie vychází z porovnání hmotnosti ocelových příhradových vazníků navržených s použitím profilů typu CHS na rozpětí 24 000 mm, se sklonem střešní plochy 5% při vzdálenosti vazníků 6 000 mm. Proměnným parametrem optimalizace je výška vazníku uprostřed rozpětí. Výstupem studie je optimální výška vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Technická dokumentace dle specifikace vedoucího.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je nalezení optimální výšky příhradového vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Proměnným parametrem optimalizace je výška příhradového vazníku. Vazník je konstruován z profilů typu CHS na rozpětí 24 000 mm, se sklonem střešní plochy 5 % a vzdáleností vazníku 6 000 mm. Konstrukční materiál je ocel S 355. Bylo zpracováno 6 přibližných variant a z toho jedna podrobně. Výstupem bakalářské práce je křivka, která udává optimální výšku vazníku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optimalizační studie, optimalizace, optimální výška, příhradový vazník, profily typu CHS, vaznice, montážní spoj.

ABSTRACT

The main target is finding the optimal height of a truss girder corresponding with its minimal weight. The height of the truss girder is a variable parameter of the optimization. The truss girder is constructed of CHS profiles. The span is 24 000 mm, the roof plane tilt is 5 percent and the truss girder distance is 6 000 mm. The structural material is tje S 355 steel. 6 variants have been processed one of which in detail. The output of the bachelor thesis is a curve of the optimal height of the truss girder.

KEYWORDS

Optimization study, optimization, optimal height, truss girder, CHS profiles, purlin, field joint.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Pavλίna Prokešová *Optimalizační studie hmotnosti příhradového střešního vazníku - varianta konstrukčního řešení s ocelovými profily typu CHS.* Brno, 2017. 70 s., 49 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5. 2017

.....
podpis autora
Pavλίna Prokešová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2017

Pavλίna Prokešová
autor práce

Poděkování:

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jindřichu Melcherovi, DrSc. za odborné vedení a poskytnuté rady, které mi pomohly při tvorbě bakalářské práce a za čas, který mi věnoval.

Pavčina Prokešová

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.
Autor práce	Pavλίna Prokešová
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Název práce	Optimalizační studie hmotnosti příhradového střešního vazníku - varianta konstrukčního řešení s ocelovými profily typu CHS.
Název práce v anglickém jazyce	Optimization study of the weight of lattice roof truss - a variant for structural solution with steel profiles of CHS type.
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF
Abstrakt práce	Cílem bakalářské práce je nalezení optimální výšky příhradového vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Proměnným parametrem optimalizace je výška příhradového vazníku. Vazník je konstruován z profilů typu CHS na rozpětí 24 000 mm, se sklonem střešní plochy 5 % a vzdáleností vazníku 6 000 mm. Konstrukční materiál je ocel S 355. Bylo zpracováno 6 přibližných variant a z toho jedna podrobně. Výstupem bakalářské práce je křivka, která udává optimální výšku vazníku.
Abstrakt práce v anglickém jazyce	The main target is finding the optimal height of a truss girder corresponding with its minimal weight. The height of the truss girder is a variable parameter of the optimization. The truss girder is constructed of CHS profiles. The span is 24 000 mm, the roof plane tilt is 5 percent and the truss girder distance is 6 000 mm. The structural material is tje S 355 steel. 6 variants have been processed one of which in detail. The output of the bachelor thesis is a curve

of the optimal height of the truss girder.

Klíčová slova

Optimalizační studie, optimalizace, optimální výška, příhradový vazník, profily typu CHS, vaznice, montážní spoj.

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce**

Optimization study, optimization, optimal height, truss girder, CHS profiles, purlin, field joint.

OBSAH

1. Technická zpráva	4
1.1. Úvod	4
1.2. Použité normativní dokumenty	4
1.3. Materiál	5
1.4. Zatížení	5
1.4.1. Vlastní tíha	5
1.4.2. Ostatní stálé zatížení	5
1.4.3. Zatížení sněhem	5
1.4.4. Zatížení větrem	5
2. Varianty řešení	5
2.1. Vazník č. 1; h = 1800 mm	5
2.2. Vazník č. 2; h = 2400 mm	6
2.3. Vazník č. 3; h = 3000 mm	6
2.4. Vazník č. 4; h = 3600 mm	6
2.5. Vazník č. 5; h = 4200 mm	6
2.6. Vazník č. 6; h = 4800 mm	7
3. Základní statický výpočet	7
3.1. Podmínky aplikované při návrhu	7
3.1.1. Mezní štíhlost λ_{lim}	7
3.1.2. Podélná ztužidla	7
3.2. Statické zpracování variant vazníků	8
3.2.1. Vazník č. 1; h = 1800 mm	8
3.2.2. Vazník č. 2; h = 2400 mm	9
3.2.4. Vazník č. 4; h = 3600 mm	10
3.2.5. Vazník č. 5; h = 4200 mm	11
3.2.6. Vazník č. 6; h = 4800 mm	12
4. Výchozí stanovisko pro podrobný statický výpočet vazníku	13
5. Podrobný statický výpočet vazníku výšky 3000 mm	14
5.1. Geometrie	14
5.1.1. Půdorys	14
5.1.2. Řez; vazník č.3 ; h = 3000 m	15
5.2. Zatížení konstrukce	15
5.2.1. ZS1- Vlastní tíha konstrukce	15
5.2.2. ZS2 – Ostatní stálé zatížení	15

5.2.2.1. Střešní plášť	15
5.2.2.2. Vaznice	15
5.2.3. Zatížení sněhem	16
5.2.3.1. ZS3 – Sníh plný – případ (i)	16
5.2.3.2. ZS4 – Sníh navátý – případ (ii)	17
5.2.3.3. ZS5 – Sníh navátý – případ (iii)	17
5.2.4. Zatížení větrem	18
5.2.4.1. ZS6 – Vítr příčný X^+	20
5.2.4.2. ZS7 – Vítr příčný X^+	20
5.2.4.3. ZS8 – Vítr příčný X^-	20
5.2.4.4. ZS9 – Vítr příčný X^-	20
5.3. Kombinace zatížení a vnitřních sil	21
5.3.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti	21
5.3.1.1. Výpis kombinací	21
5.3.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti	21
5.3.2.1. Výpis kombinací	21
5.4. Posouzení konstrukčních prvků	21
5.4.1. Střešní plášť	21
5.4.2. Vaznice IPE180	22
5.4.2.1. Zatížení	22
5.4.2.2. Vnitřní síly na vaznici	23
5.4.2.3. Posouzení	24
5.4.3. Posouzení prutů na osově síly	30
5.4.3.1. Průřezové charakteristiky	30
5.4.3.2. Zatížení průřezů	31
5.4.3.3. Ověření mezní štíhlosti	32
5.4.3.4. Posouzení na vzpěr	32
5.4.3.5. Posouzení na tah.....	34
5.4.4. Mezní stav použitelnosti	34
5.4.5. Styčník č.5	35
5.4.5.1. Geometrie	35
5.4.5.2. Návrhové vnitřní síly	35
5.4.5.3. Tabulka 7.1 – Rozsah platnosti pro svařované styčníky mezipásmových prutů a pásů z CHS	36
5.4.5.4. 7.2. Porušení povrchu pásu od prutu č. 3	37

5.4.5.5. 7.3 Návrhové únosnosti svařovaných styčnicků spojujících styčnickové plechy k prutům z CHS	38
5.4.6. Syčník č.12	39
5.4.6.1. Geometrie	39
5.4.6.2. Návrhové vnitřní síly	39
5.4.6.3. Tabulka 7.1 – Rozsah platnosti pro svařované styčnický mezipásmových prutů a pásů z CHS	40
5.4.6.4. 7.2. Porušení povrchu pásu od prutu č. 1 a 2.	41
5.4.6.5. 7.3 Návrhové únosnosti svařovaných styčnicků spojujících styčnickové plechy k prutům z CHS	42
5.4.6.6. Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás	43
5.5. Tabulka hmotnosti použitých prutů	44
5.6. Montážní spoj	45
5.6.1. Montážní spoj horního pásu	45
5.6.1.1. Posouzení na vliv páčení	46
5.6.1.2. Posouzení na vliv protlačení	47
5.6.2. Montážní spoj dolního pásu	48
5.6.2.1. Posouzení na vliv páčení	49
5.6.2.2. Posouzení na vliv protlačení	49
5.6.3. montážní spoj diagonály vazníku	50
6. Graf závislosti hmotnosti vazníku na jeho výšce	52

1. Technická zpráva

1.1. Úvod

Předmětem bakalářské práce je optimalizační studie příhradového vazníku, která vychází z porovnání hmotnosti ocelových příhradových vazníků navržených s použitím profilů typu CHS na rozpětí 24 m a vzdálenosti příčných vazeb 6 m. Proměnným parametrem optimalizace je výška vazníku. Výstupem studie je optimální výška vazníku odpovídající jeho minimální hmotnosti. Statickou analýzou bylo zpracováno 6 přibližných variant vazníků v programu Dlubal RSTAB 8 pro posouzení a výpočet prutových konstrukcí. Ručním výpočtem byla ověřena jedna ze stanovených variant vazníků. Půdorysné rozměry objektu jsou 24 m x 63 m a výška 10 m. Použitým konstrukčním materiálem je ocel S 355. Pro vybranou variantu je zpracován podrobný statický výpočet a výkresová dokumentace dispozice a výrobní výkres vazníku.

1.2. Použité normativní dokumenty

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení
- Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- 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

1.3. Materiál

Hlavním materiálem prvků příhradových vazníků je ocel o jakosti S355J2H. Styčnickové plechy jsou z totožné oceli. Použité profily typu CHS jsou válcované dle EN 10210 – válcované za tepla. Šrouby pro spojení jednotlivých prvků jsou v pevnostech 4.6, 5.8 a 8.8.

1.4. Zatížení

Podrobná specifikace zatížení je obsažená ve statickém výpočtu.

1.4.1. Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce bylo automaticky spočítáno v programu Dlubal RSTAB 8.

1.4.2. Ostatní stálé zatížení

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000 X-dek™

- $g_{1,k} = 0,246 \text{ kN/m}^2$

Vaznice IPE 180 – $g_{0,k} = 0,188 \text{ kN/m}^2$

1.4.3. Zatížení sněhem

Sněhová oblast (Brno): II $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

1.4.4. Zatížení větrem

Větrná oblast (Brno): II $V_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

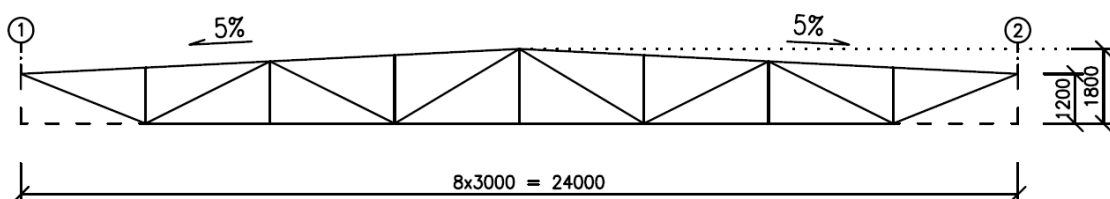
Kategorie terénu: III

2. Varianty řešení

Zvolené varianty vazníků mají výšku uprostřed rozpětí 1800 mm, 2400 mm, 3000 mm, 3600 mm, 4200 mm, 4800 mm.

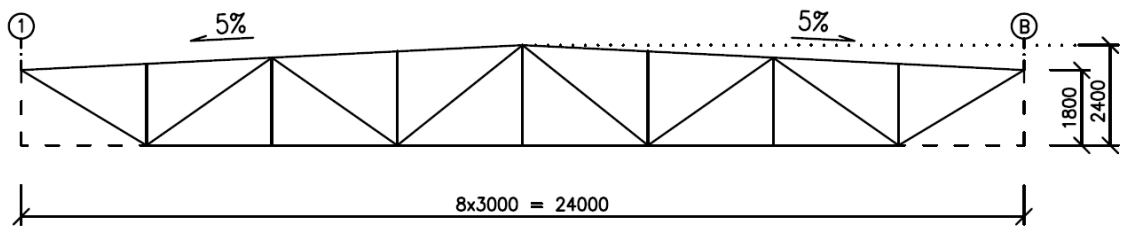
2.1. Vazník č. 1; h = 1800 mm

řez A-A'



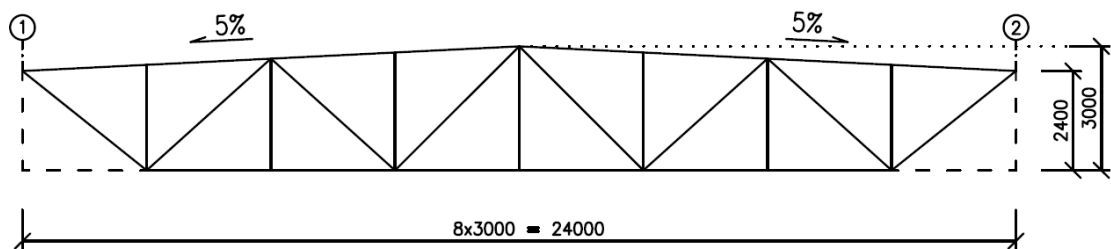
2.2. Vazník č. 2; h = 2400 mm

řez A-A'



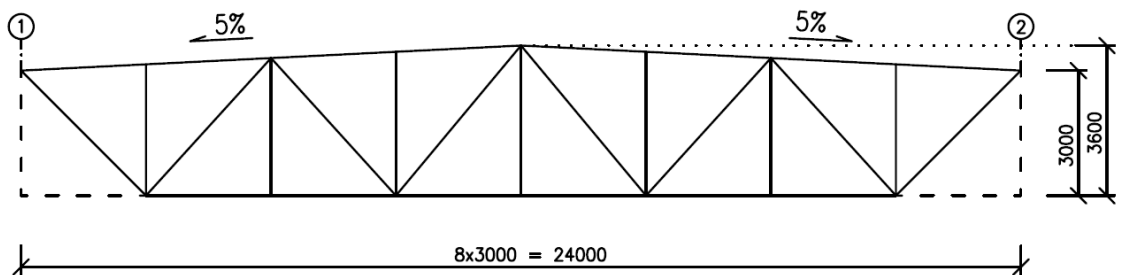
2.3. Vazník č. 3; h = 3000 mm

řez A-A'



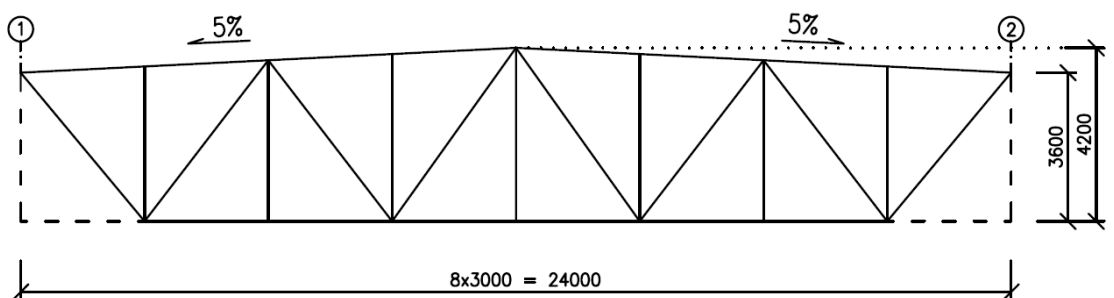
2.4. Vazník č. 4; h = 3600 mm

řez A-A'



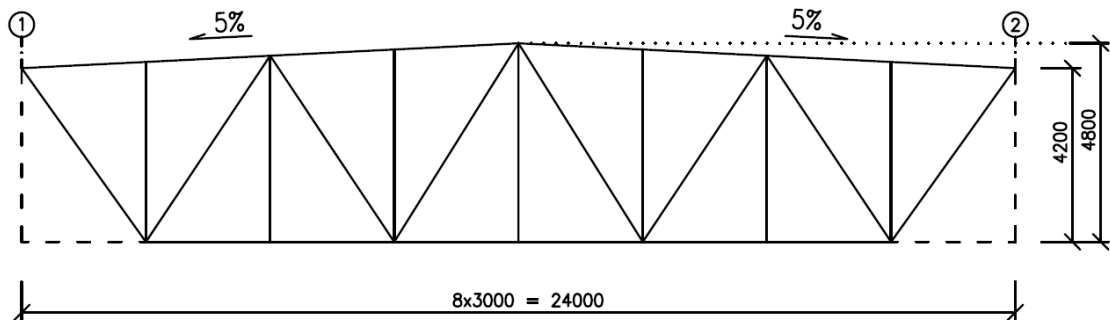
2.5. Vazník č. 4; h = 4200 mm

řez A-A'



2.6. Vazník č. 6; h = 4800 mm

řez A-A'



3. Základní statický výpočet

Při dimenzování příhradového vazníku bylo provedeno posouzení prutů vazníku na osově síly a v neposlední řadě bylo provedeno posouzení na porušení povrchu pásu od působení mezipásových prutů na stěnu pásu vazníku.

3.1. Podmínky aplikované při návrhu

3.1.1. Mezní štíhlost λ_{lim}

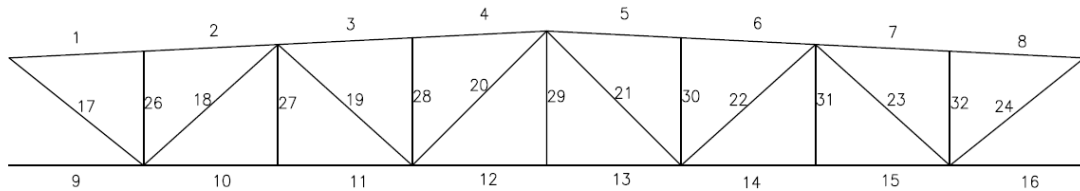
Mezní štíhlost λ_{lim} byla uvažována u tlačných prutů hodnotou 200 a u prutů namáhaných pouze tahovou silou hodnotou 300.

3.1.2. Podélná ztužidla

Podélná ztužidla, která zajišťují spodní pás příhradového vazníku proti vybočení z roviny vazníku jsou zvolena ve **čtvrtinách rozpětí** vazníku. Toto řešení bylo aplikováno z důvodů optimalizace dolního pásu vazníku, tak aby mezní štíhlosti rapidně nezasahovala do konečných výsledků hmotnosti vazníku.

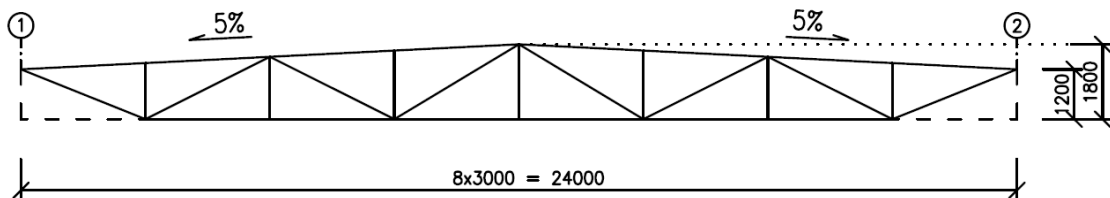
3.2. Statické zpracování variant vazníků

číslování prutů



3.2.1. Vazník č. 1; h = 1800 mm

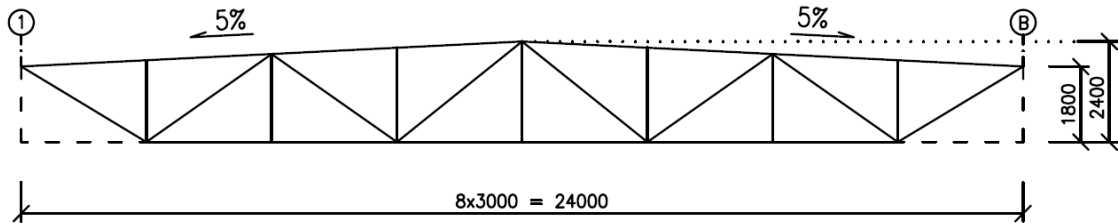
řez A-A'



č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-231,755	18,277	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	2,7	-231,694	18,266	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	3,6	-401,887	11,17	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-401,813	11,165	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	10,15	-20,212	353,955	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	11,14	-20,212	353,955	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	12,13	0,000	394,854	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
Diagonály	17,24	-19,694	249,304	CHS 88.9x5.0	6,46	0,067
	18,23	-138,936	2,293	CHS 88.9x6.0	6,71	0,082
	19,22	-4,034	60,881	CHS 60.3x4.0	6,71	0,037
	20,21	-34,641	33,722	CHS 76.1x4.0	7,00	0,050
Svislice	26,32	-29,739	7,842	CHS 48.3x4.0	2,70	0,012
	27,31	-0,372	0,439	CHS 48.3x4.0	3,00	0,013
	28,3	-29,927	4,879	CHS 48.3x4.0	3,30	0,016
	29	0,000	1,692	CHS 48.3x4.0	1,80	0,008
				celková hmotnost	1,277	

3.2.2. Vazník č. 2; h = 2400 mm

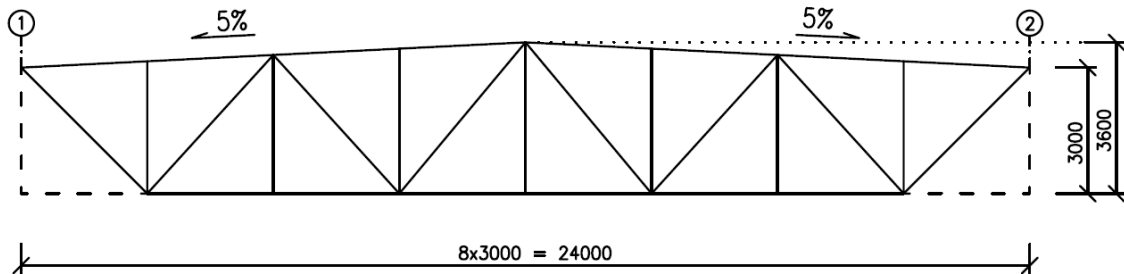
řez A-A



č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-159,763	13,877	CHS 114.3x8.0	6,01	0,126
	2,7	-159,738	13,869	CHS 114.3x8.0	6,01	0,126
	3,6	-294,064	9,966	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-294,054	9,935	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	10,15	-16,065	251,858	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	11,14	-16,065	251,858	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	12,13	0,540	294,101	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
Diagonály	17,24	-16,192	186,103	CHS 60.3x4.0	7,00	0,039
	18,23	-114,215	2,814	CHS 88.9x5.0	7,32	0,076
	19,22	-3,230	56,561	CHS 60.3x4.0	7,32	0,042
	20,21	-31,08	22,084	CHS 76.1x4.0	7,68	0,055
Svislice	26,32	-30,385	7,836	CHS 48.3x4.0	3,90	0,017
	27,31	-0,208	0,276	CHS 48.3x4.0	4,20	0,018
	28,3	-30,227	4,850	CHS 48.3x4.0	4,50	0,019
	29	0,000	0,552	CHS 48.3x4.0	2,40	0,011
celková hmotnost						1,101

3.2.3. Vazník č. 4; h = 3600 mm

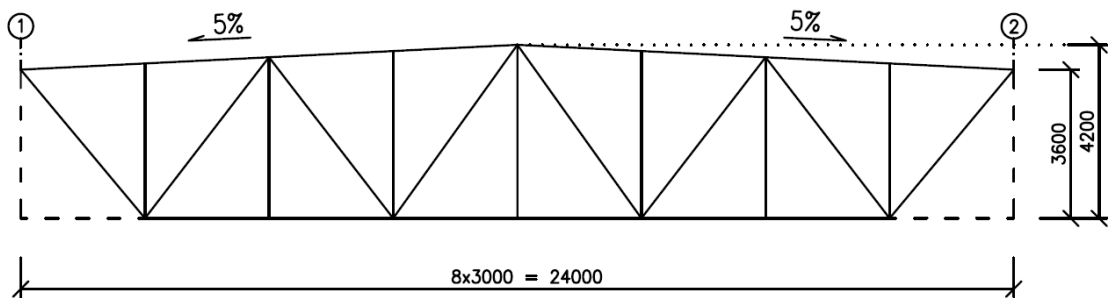
řez A-A



č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-99,882	8,000	CHS 101.6x4.0	6,01	0,058
	2,7	-99,872	7,996	CHS 101.6x4.0	6,01	0,058
	3,6	-193,962	4,890	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-193,933	4,882	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	10,15	-9,055	161,988	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	11,14	-9,055	161,988	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	12,13	0,000	198,244	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
Diagonály	17,24	-11,390	141,180	CHS 76.1x4.0	8,49	0,061
	18,23	-93,816	1,787	CHS 88.9x6.0	8,92	0,104
	19,22	-1,882	51,066	CHS 88.9x5.0	8,92	0,093
	20,21	-28,000	13,983	CHS 76.1x5.0	9,37	0,082
Svislice	26,32	-30,485	8,166	CHS 60.3x4.0	6,30	0,035
	27,31	0,000	0,350	CHS 48.3x4.0	6,60	0,029
	28,3	-30,484	4,817	CHS 60.3x4.0	6,90	0,038
	29	0,000	0,666	CHS 48.3x4.0	3,60	0,016
				celková hmotnost	1,146	

3.2.4. Vazník č. 5; h = 4200 mm

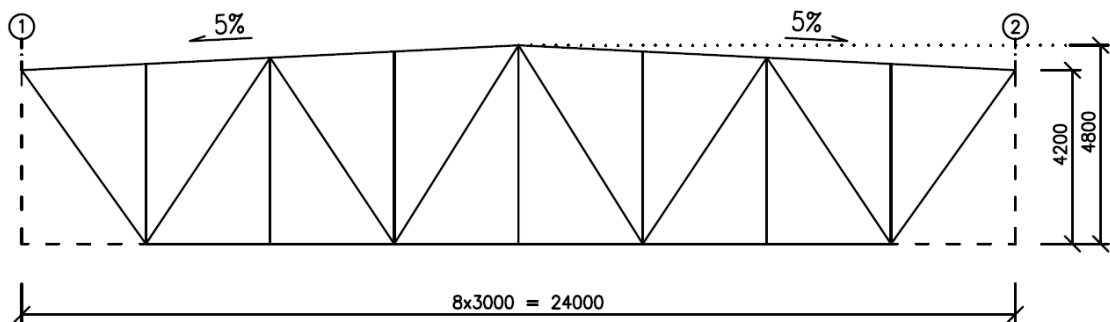
řez A-A'



č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-84,307	6,217	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	2,7	-84,276	6,207	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	3,6	-165,848	3,620	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-165,808	3,613	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	10,15	-7,098	137,777	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	11,14	-7,098	137,777	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	12,13	0,000	170,595	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
Diagonály	17,24	-9,816	131,651	CHS 76.1x5.0	9,37	0,082
	18,23	-89,131	1,698	CHS 88.9x5.0	9,84	0,103
	19,22	-1,740	49,185	CHS 76.1x5.0	9,84	0,087
	20,21	-27,825	12,335	CHS 76.1x5.0	10,32	0,091
Svislice	26,32	-30,481	7,771	CHS 60.3x5.0	7,50	0,051
	27,31	0,000	0,397	CHS 48.3x4.0	7,80	0,034
	28,3	-30,345	4,832	CHS 60.3x5.0	8,10	0,055
	29	0,000	0,666	CHS 48.3x4.0	4,20	0,019
				celková hmotnost	1,342	

3.2.5. Vazník č. 6; h = 4800 mm

řez A-A'



č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-73,435	4,648	CHS 114.3x5.0	6,01	0,081
	2,7	-73,417	4,642	CHS 114.3x5.0	6,01	0,081
	3,6	-146,241	1,560	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-146,199	1,554	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	10,15	-4,920	120,797	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	11,14	-4,920	120,797	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
	12,13	0,000	151,209	CHS 139.7x6.3	6,00	0,124
Diagonály	17,24	-8,137	126,354	CHS 76.1x5.0	10,32	0,091
	18,23	-86,484	0,791	CHS 101.6x5.0	10,82	0,129
	19,22	-1,681	48,812	CHS 88.9x5x0	10,82	0,113
	20,21	-27,899	17,015	CHS 88.9x5x0	11,32	0,118
Svislice	26,32	-30,644	8,071	CHS 76.1x5.0	8,70	0,077
	27,31	0,000	0,581	CHS 60.3x4.0	9,00	0,051
	28,3	-30,463	4,837	CHS 76.1x5.0	9,30	0,082
	29	0,000	1,091	CHS 60.3x4.0	4,80	0,026
				celková hmotnost	1,593	

3.2.6. Posouzení na mezní stav použitelnosti

Výsledky posouzení na mezní stav použitelnosti totožný viz. Příloha

$$w_{lim} = \frac{L}{250} = 96 \text{ mm}$$

výška [mm]	w _z [mm]	w _{lim}	w _z /w _{lim}		
1800	56,4	≤ 96 mm	0,59	≤ 1,0	vyhovuje
2400	37,3		0,39		
3600	17,9		0,19		
4200	13,7		0,14		
4800	10,9		0,11		

4. Výchozí stanovisko pro podrobný statický výpočet vazníku

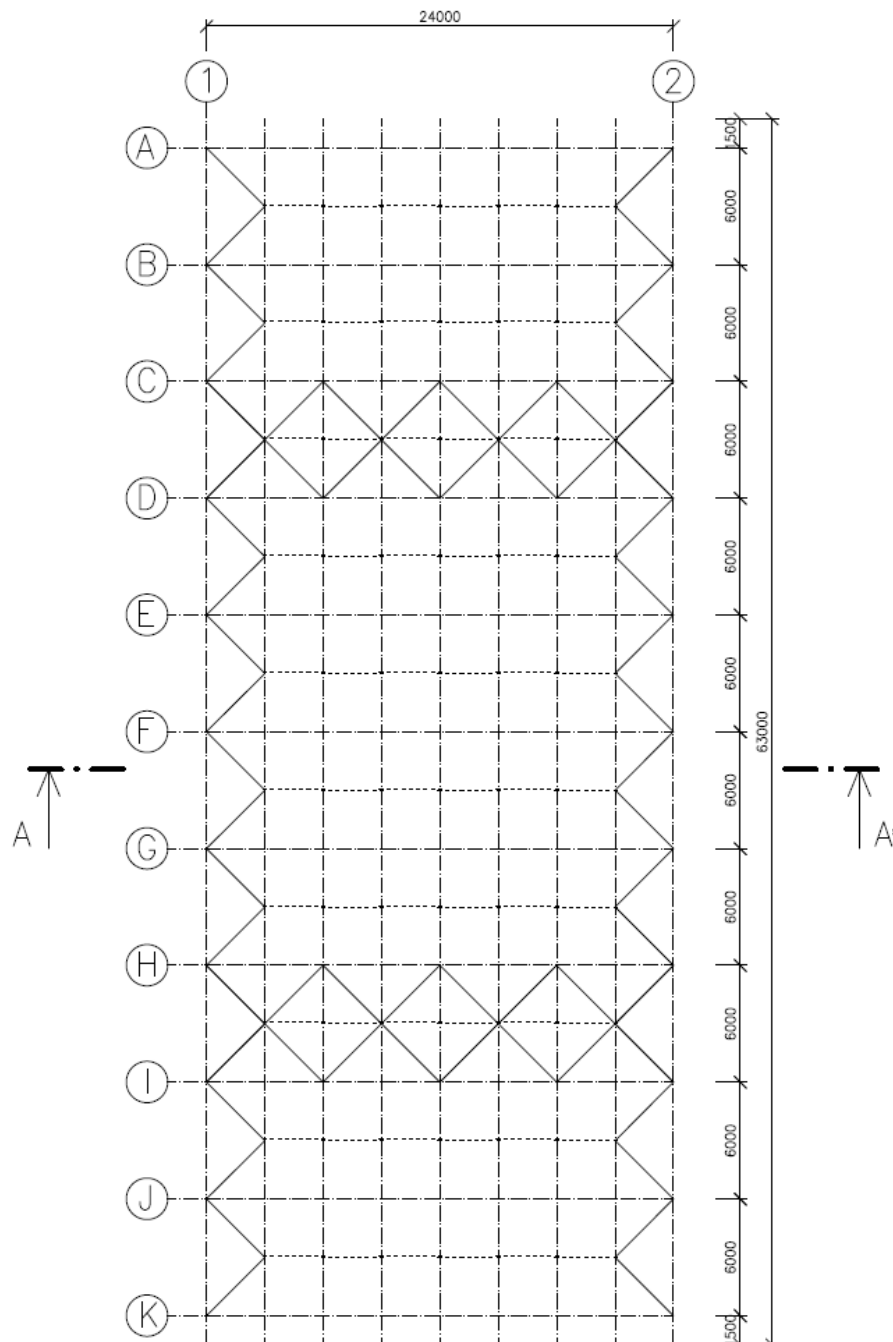
Normativní dokumenty obvykle jednoznačně nestanovují volbu výšky vazníku při určitém rozpětí. Odborná literatura udává, že výška příhradového vazníku se volí v rozsahu 1/12 až 1/16 rozpětí. V našem případě by to znamenalo výšky od 2000 mm do 4000 mm.

V uvedeném smyslu volíme finální výšku vazníku **3000 mm** pro podrobný statický výpočet.

5. Podrobný statický výpočet vazníku výšky 3000 mm

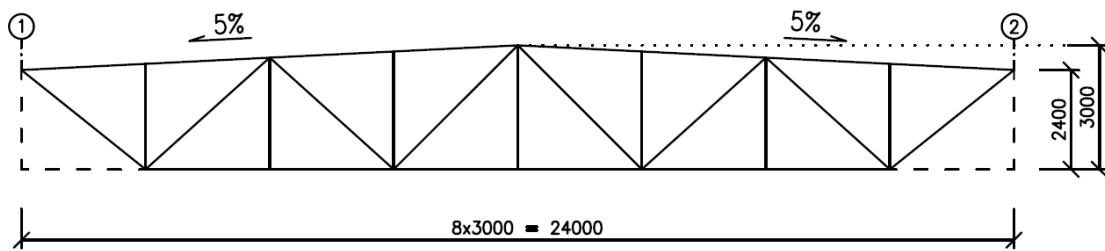
5.1. Geometrie

5.1.1. Půdorys



5.1.2. Řez, vazník č. 3; h = 3000 mm

řez A-A



5.2. Zatížení konstrukce

5.2.1. ZS1 – Vlastní tíha konstrukce

Zatížení od vlastní tíhy konstrukce bylo automaticky spočítáno v softwaru Dlubal RSTAB 8.05.

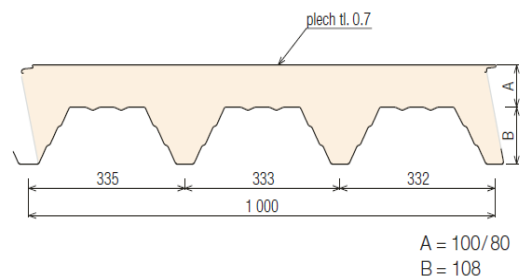
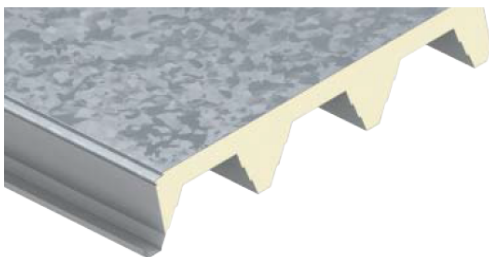
5.2.2. ZS2 – Ostatní stálé zatížení

5.2.2.1. Střešní plášť

Střešní plášť je navržen ze střešních panelů Kingspan KS1000X-dek™.

KS1000 X-dek™ typ XD / Plech – na stavbě aplikace PVC fólie

- Typ XD s horním plechem tloušťky 0,7 mm vhodný pro aplikaci PVC fólie kotvené mechanicky nebo lepením



Vlastní hmotnost

Typ X-dek™ (exteriérový povrch)	tl. interiérového plechu [mm]	XD (plech) [kg/m²]	XB/XG (TR20/TR27) [kg/m²]	XM (PVC)
X-dek 80	0,9	21,4	15,9	16,9
	1,1	23,7	18,2	19,2
X-dek 100	0,9	22,2	19,1	17,8
	1,1	24,6	19,1	20,1

$$g_{1,k} = 0,246 \text{ kN/m}^2$$

5.2.2.2. Vaznice

Střešní vaznice je řešena jako prostá a to z válcovaného prvku IPE 180.

5.2.3. Zatížení sněhem

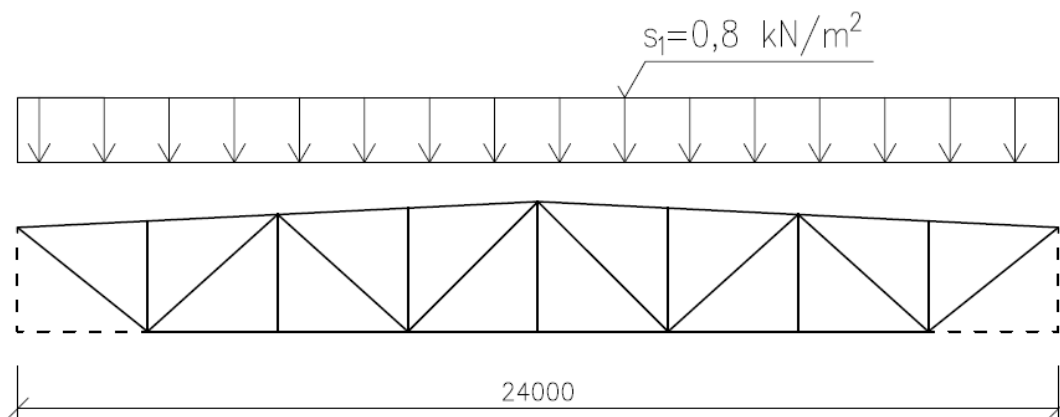
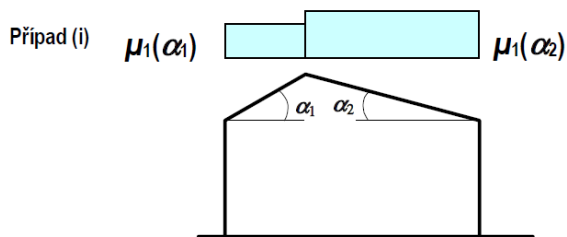
Sněhová oblast (Brno):	II	$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ – charakteristická hodnota
Součinitel tvaru:		$\mu_1 = 0,8$ – pro sedlové střechy $0^\circ < \alpha < 30^\circ$
Součinitel expozice:		$C_e = 1,0$ – typ krajiny – normální
Tepelný součinitel:		$C_t = 1,0$ – nedochází k odtávání sněhu

Zatížení sněhem na střechu:

$$S_{1,k} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

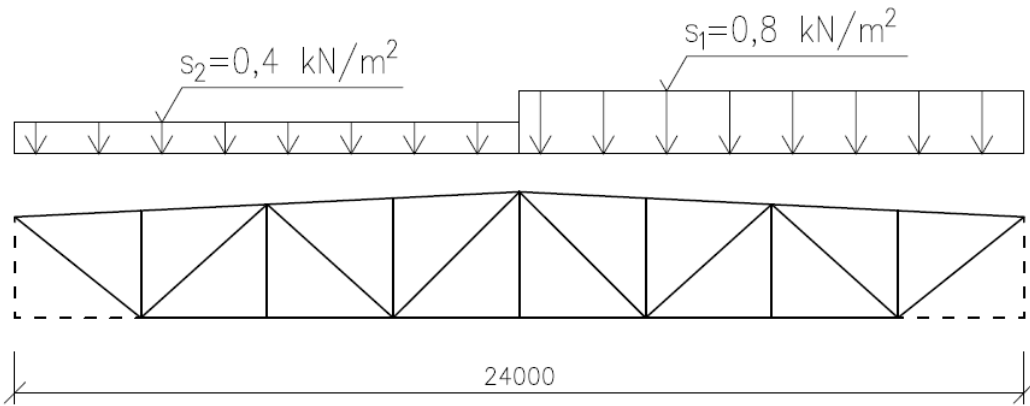
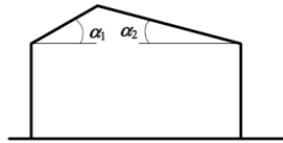
$$S_{2,k} = (0,5 \cdot \mu_1) \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = (0,5 \cdot 0,8) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

5.2.3.1. ZS3 – Sníh plný – případ (i)



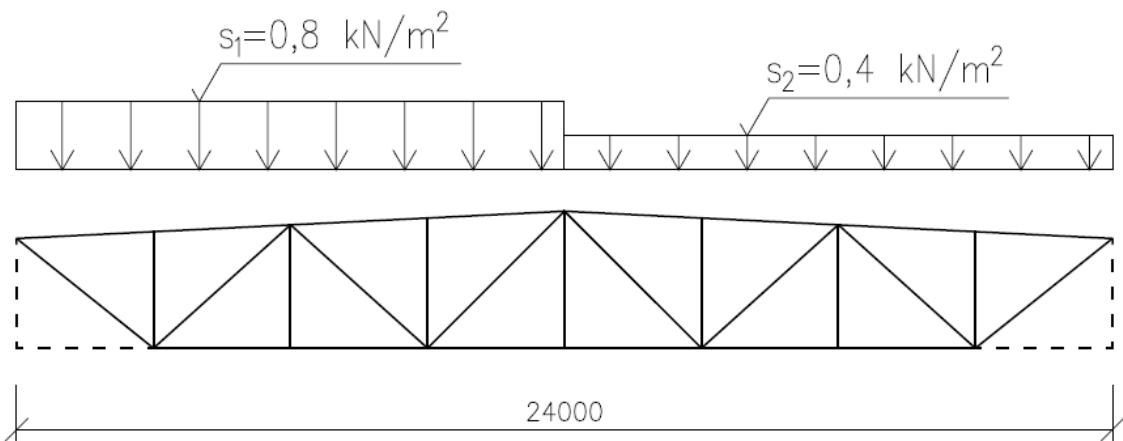
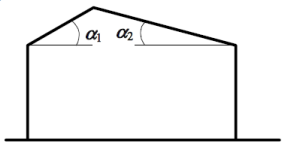
5.2.3.2. ZS4 – Sníh navátý – případ (ii)

Případ (ii) $0,5\mu_1(\alpha_1)$  $\mu_1(\alpha_2)$

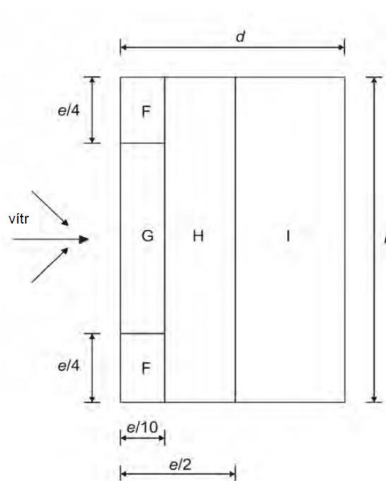


5.2.3.3. ZS5 – Sníh navátý – případ (iii)

Případ (iii) $\mu_1(\alpha_1)$  $0,5\mu_1(\alpha_2)$



5.2.4. Zatížení větrem



$$d = 24 \text{ m}$$

$$b = 63 \text{ m}$$

$$h = 10 \text{ m}$$

$$e = \min. (b; 2h) = \min. (63; 2 \cdot 10) = 20,0 \text{ m}$$

$$e = 20 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{20}{10} = 2 \text{ m}$$

Větrná oblast (Brno): II $v_{b,o} = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu: III $z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}$

Součinitel směru větru: $c_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $c_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,o} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Střední rychlost větru:

$$v_b(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,754 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,85 \text{ m/s}$$

Kde: $c_r(z)$ je součinitel terénu

$$c_r(z) = c_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,754 \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5 \leq 10 \leq 200 \text{ m}$$

$c_o(z)$ – uvažován 1,0

kde: k_r je součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right)} = 0,285 \quad \text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$5,0 \leq 10,00 \leq 200 \text{ m}$$

kde: $k_l = 1,0$ – součinitel turbulence

$$c_0(z) = 1,0$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1+7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

kde: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_p(z) = [1+7 \cdot 0,285] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,85^2 = 0,665 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na povrchu konstrukce:

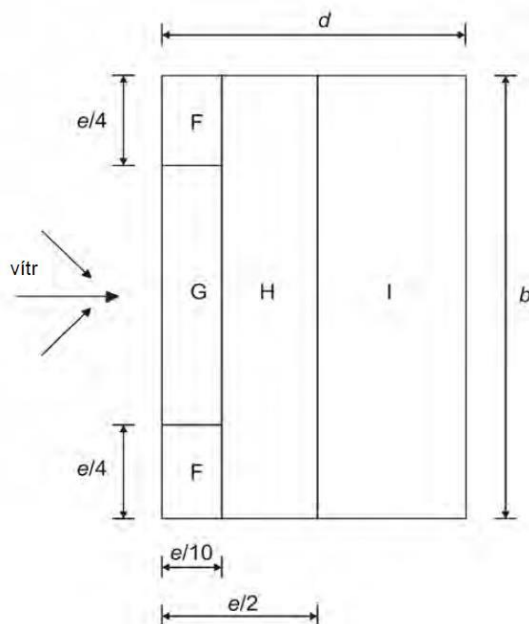
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad \text{kde: } q_p(z_e) \text{ je maximální dynamický tlak}$$

pro výšku $z_e = h$

c_{pe} je součinitel vnějšího tlaku

$$A > 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$$

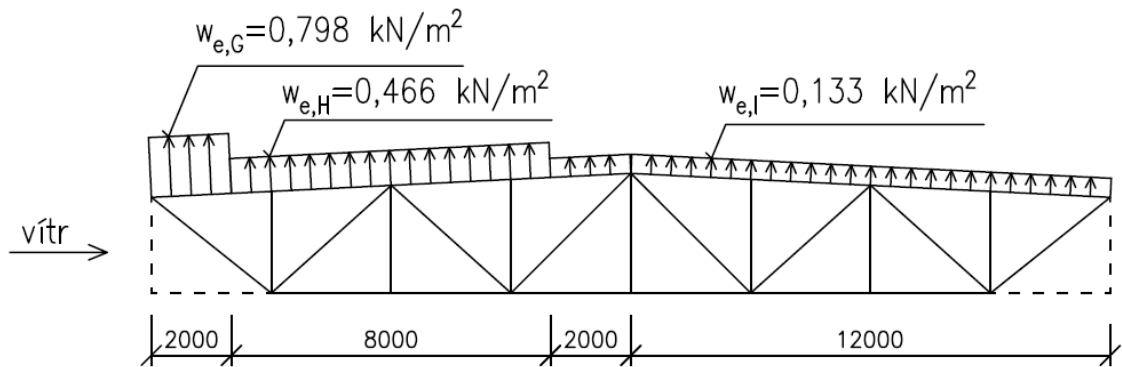
Hodnoty $c_{pe,10}$ jsou doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro ploché střechy.



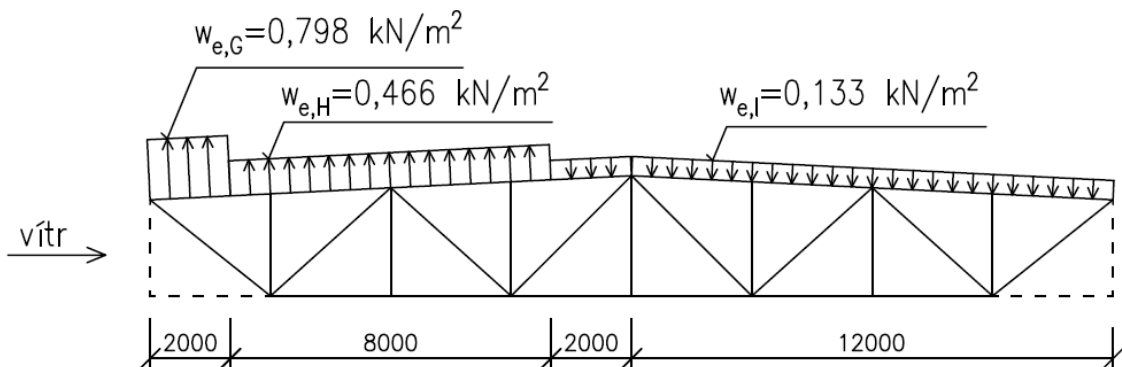
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe,10} = 0,665 \cdot c_{pe,10} \Rightarrow$$

	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
$w_e[\text{kN/m}^2]$	-0,798	0,466	0,133 -0,133

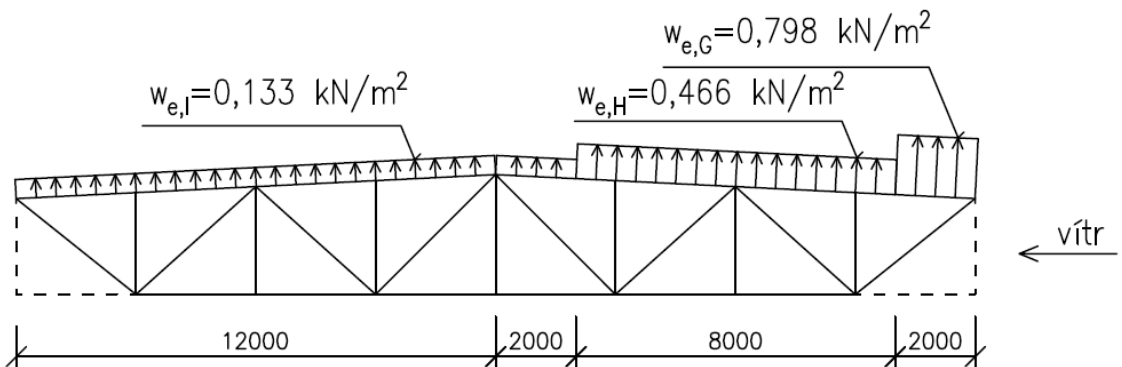
5.2.4.1. ZS6 – Vítr příčný X⁺



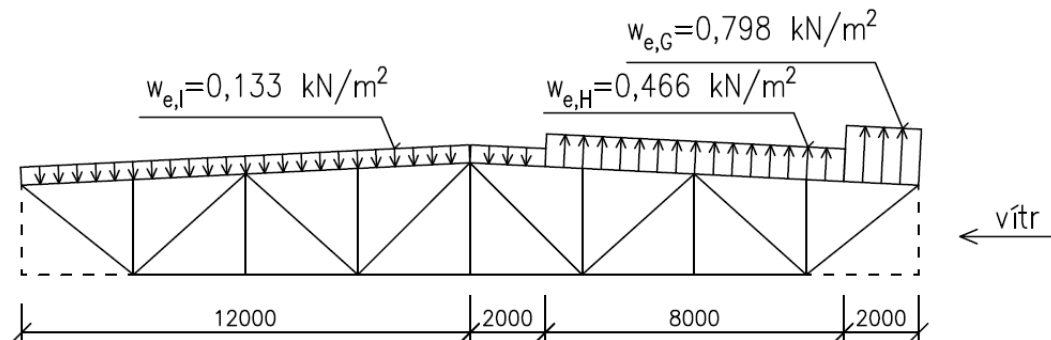
5.2.4.2. ZS7 – Vítr příčný X⁺



5.2.4.2. ZS7 – Vítr příčný X⁻



5.2.4.2. ZS7 – Vítr příčný X⁻



5.3. Kombinace zatížení a vnitřních sil

5.3.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti

KP1 – MSÚ – kombinační pravidlo provedeno dle výrazu 6.10a a 6.10b

5.3.1.1. Výpis kombinací

- přiložen v příloze

5.3.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti

KP2 – MSP – kombinační pravidlo provedeno dle výrazu 6.14b - charakteristická

5.3.2.1. Výpis kombinací

- přiložen v příloze

5.4. Posouzení konstrukčních prvků

5.4.1. Střešní plášť

Výrobce udává maximální hodnoty zatížení v charakteristických hodnotách při daných parametrech:

- rozpon 3 m
- statické působení jako spojitý nosník o 2 polích

Případ zatížení:

- max. zatížení v tlaku: 5,94 kN/m² v charakteristických hodnotách
- max. zatížení na sání větrem 7,99 kN/m² v charakteristických hodnotách

Ověření hodnot zatížení:

Maximální hodnota zatížení v tlaku od proměnných zatíženích je v tomto případě

$$S_{1,k} \cdot \gamma_Q + W_{e,l} \cdot \gamma_Q = 0,8 \cdot 1,5 + 0,133 \cdot 1,5 = 1,40 \text{ kN/m}^2$$

$$1,40 \text{ kN/m}^2 < 5,94 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

Maximální hodnota zatížení od sání větrem je v tomto případě

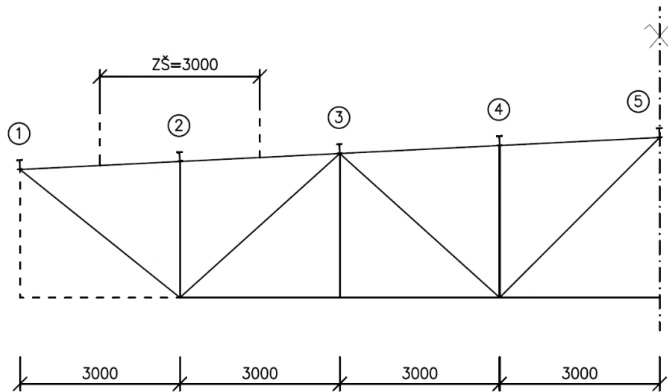
$$W_{e,G} \cdot \gamma_Q = 0,798 \cdot 1,5 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$1,20 \text{ kN/m}^2 < 7,99 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

5.4.2. Vaznice IPE 180

Veškeré zatížení je řešeno pouze v rovině Z – Z => zatížení v rovině X – X se zanedbává z důvodu nízkého sklonu střechy [$\cos 2,86^\circ = 0,9989$]

5.4.2.1. Zatížení



Zatěžovací šířka na vaznici je 3,0 m.

Vlastní tíha vaznice (IPE 180) – ZS1

$$- g_{o,k} = \underline{0,148 \text{ kN/m}}$$

Střešní plášť – ZS2

$$- g_{1,k} = g_{1,k} \cdot zš = 0,246 \cdot 3,0 = \underline{0,738 \text{ kN/m}}$$

Sníh – ZS3

$$- q_{s1,k} = q_{s1} \cdot zš = 0,8 \cdot 3,0 = \underline{2,400 \text{ kN/m}}$$

Sání větru – ZS6

- vaznice č.2 – nejhorší možnost zatížení od sání větru

$$- q_{w,k} = w_{e,G} \cdot zš_G + w_{e,H} \cdot zš_H = 0,798 \cdot 0,5 + 0,466 \cdot 2,5 = 1,564 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru – ZS9

$$- q_{w,k} = w_{e,l} \cdot zš_G = 0,133 \cdot 3,0 = \underline{0,399 \text{ kN/m}}$$

Stabilizující síly od vazníku

- uvažovaná 1/100 síly v horním pásu vazníku výšky 3000 mm

z kombinace KZ40 – $N_{Ed} = -232,628 \text{ kN/m}$

$$H_{sd} = \frac{N_{Ed}}{100} = \frac{-232,628}{100} = -2,302 \text{ kN}$$

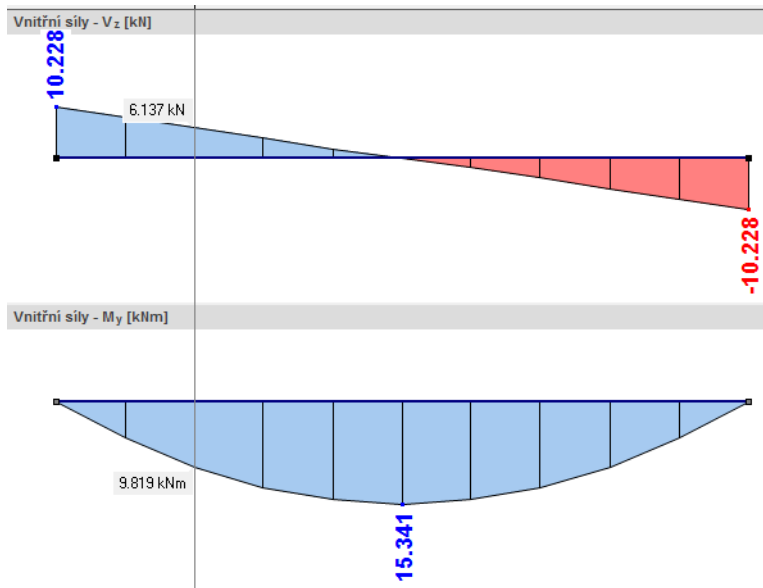
$$\Sigma H_{sd} = H_{sd} \cdot 10 = -23,020 \text{ kN}$$

$$N_{stab} = \frac{\Sigma H_{sd}}{n} = \frac{-23,020}{2} = -11,510 \text{ kN}$$

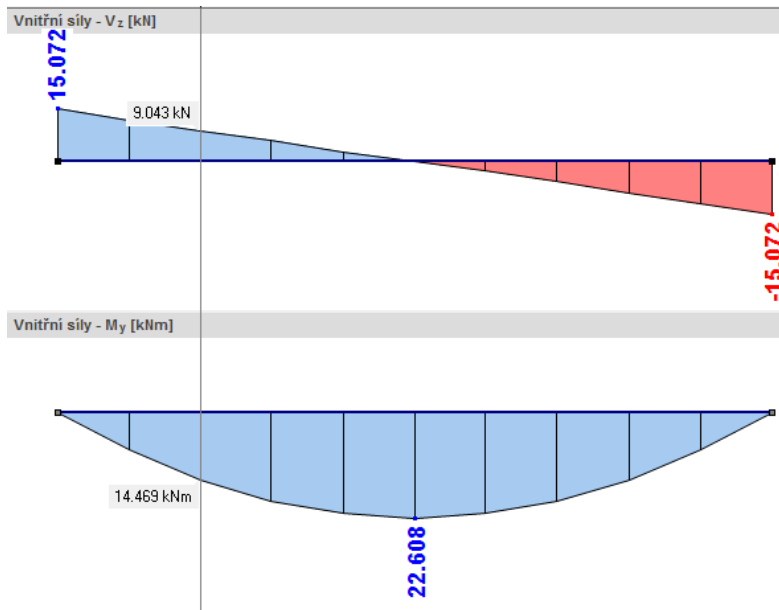
5.4.2.2. Vnitřní síly na vaznici

Vnitřní síly při působení zatížení ve směru osy Z⁺

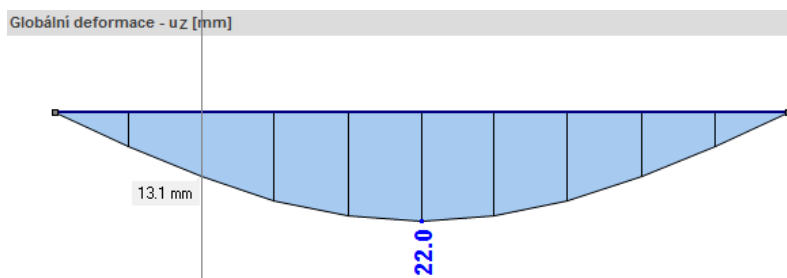
MSÚ – kombinace dle 6.10a



MSÚ – kombinace dle 6.10b

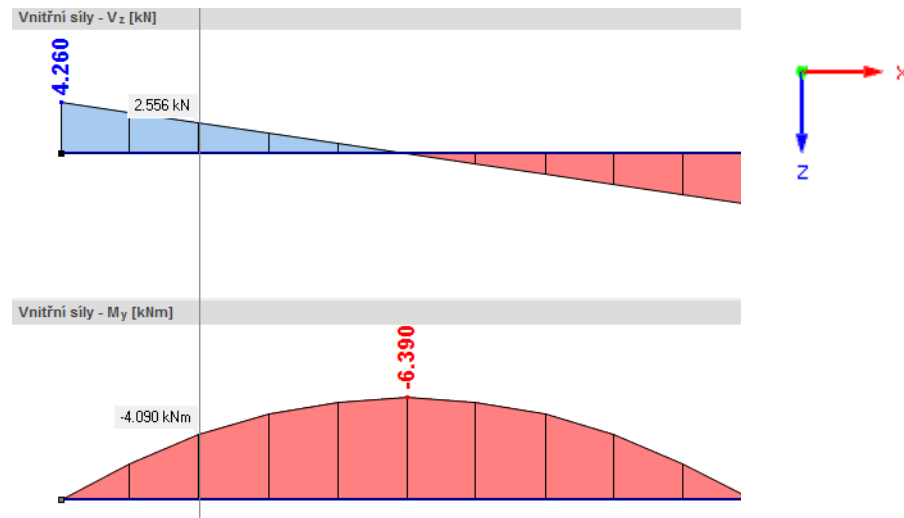


MSP – kombinace charakteristických hodnot dle 6.14b



Vnitřní síly při působení zatížení ve směru osy Z⁻ - sání větru

MSÚ – kombinace 6.10a



5.4.2.3. Posouzení

MSÚ

A – zatížení Z⁺ $M_{y,Ed} = 22,608$ kNm; $V_{Ed} = 15,072$ kN; $N_{Ed} = -11,510$ kN;

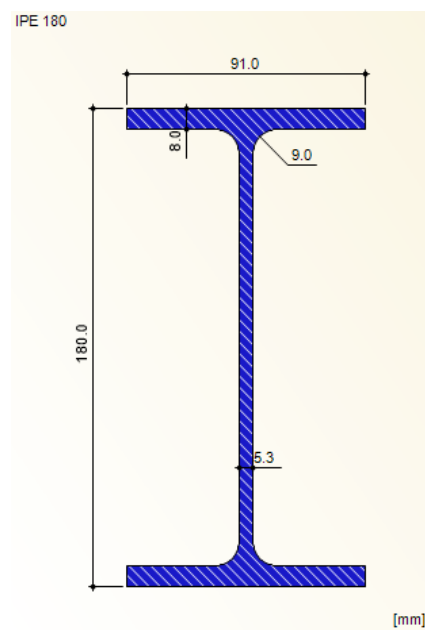
B – zatížení Z⁻ $M_{y,Ed} = -6,390$ kNm; $V_{Ed} = 4,260$ kN; $N_{Ed} = 0$ kN;

MSP

A – zatížení Z⁺ $u_z = 22,0$ mm

$$w_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,0 \text{ mm} \geq w_z = 22,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

IPE 180



$$A = 2,395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,317 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,009 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_t = 4,790 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_{pl,y} = 1,664 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 3,460 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Zatřídění průřezu IPE 180**Pásnice - tlačená část**

$$c = 33,8 \text{ mm}; t = 8,0 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{33,8}{8,0} = 4,230 \leq 9 \cdot 0,814 = 7,326 \Rightarrow \text{TŘÍDA Č. 1}$$

Stojina – ohýbaná část

$$c = 146 \text{ mm}; t = 5,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{146}{5,3} = 27,55 \leq 72 \cdot 0,814 = 58,608 \Rightarrow \text{TŘÍDA Č. 1}$$

Posouzení na ohybový moment a osovou tlakovou sílu

Střešní plášť je považován za tuhý => při zatížení ve směru osy Z^+ nevzniká ztráta stability klopením.

Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,510 \cdot 10^3}{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3} + 0,966 \cdot \frac{22,608 \cdot 10^3 + 0,0}{1,0 \cdot 59,072 \cdot 10^3} + k_{yz} \cdot \frac{0,0 + 0,0}{12,283 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$$0,039 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{11,510 \cdot 10^3}{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3} + 0,580 \cdot \frac{22,608 \cdot 10^3 + 0,0}{1,0 \cdot 59,072 \cdot 10^3} + k_{yz} \cdot \frac{0,0 + 0,0}{12,283 \cdot 10^3} \leq 1,0$$

$$0,28 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

kde: M_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ jsou návrhové hodnoty tlakové síly a momentů k ose y-y a z-z, působící na prutu;

$M_{y,Ed}$, $\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ momenty v důsledku posunu těžišťové osy

χ_y a χ_z součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru

χ_{LT} součinitel klopení

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} součinitel interakce

$$N_{Rk} = A_i \cdot f_y = 2,395 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6 = 850,225 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,664 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 59,072 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 3,460 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6 = 12,283 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0,0 \text{ kNm}; \Delta M_{z,Ed} = 0,0 \text{ kNm}$$

je zabráněno klopení $\Rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Y-Y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,317 \cdot 10^{-5}}{6,0^2} = 758,232 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,395 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{758,232 \cdot 10^3}} = 1,059$$

$$\Phi_y = 0,5[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,5[1 + 0,21 \cdot (1,059 - 0,2) + 1,059^2]$$

$$\Phi_y = 1,151$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,151 + \sqrt{1,151^2 - 1,059^2}} = 0,624$$

Z-Z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-5}}{3,0^2} = 232,363 \text{ kN}$$

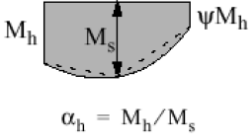
$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,395 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{232,363 \cdot 10^3}} = 1,913$$

$$\Phi_z = 0,5[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,5[1 + 0,34 \cdot (1,913 - 0,2) + 1,913^2]$$

$$\Phi_z = 2,621$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{2,621 + \sqrt{2,621^2 - 1,913^2}} = \mathbf{0,227}$$

k_{yy}



$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{22,608} = \mathbf{0,0}$$

rovnoměrné zatížení – $C_{my} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,0 = \mathbf{0,95}$

$$C_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$0,95 \cdot \left(1 + (1,059 - 0,2) \frac{11,510 \cdot 10^3}{\frac{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \leq$$

$$0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \frac{11,510 \cdot 10^3}{\frac{0,624 \cdot 850,225 \cdot 10^3}{1,0}} \right)$$

$$0,968 \leq 0,966 \Rightarrow \mathbf{k_{yy} = 0,966}$$

k_{zy}

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,966 = \mathbf{0,580}$$

Posouzení na ohybový moment od sání větru

Při zatížení ve směru osy Z vzniká ve spodních vláknech tlakové napětí => nutno posoudit na ztrátu stability klopením.

Únosnost na klopení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,390}{13,114} = 0,49 \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

kde: M_{Ed} – návrhová hodnota momentu

$M_{b,Rd}$ – návrhový moment únosnosti nosníku při klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,222 \cdot 1,664 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1,0} = \mathbf{13,114 \text{ kNm}}$$

kde: χ_{LT} – součinitel klopení

W_y – příslušný průřezový modul, který se určí následovně

$W_y = W_{pl,y}$ pro průřezy třídy 1. a 2.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{2,517 + \sqrt{2,517^2 - (0,75 \cdot 2,123^2)}} = \mathbf{0,24}$$

$$\text{ale } \left\{ \chi_{LT} \leq 1,0; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = \frac{1}{2,123^2} = 0,222 \right\} \Rightarrow \chi_{LT} = \mathbf{0,222}$$

$$\text{kde: } \phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,340 \cdot (2,123 - 0,2) + 0,75 \cdot 2,123^2] = \mathbf{2,517}$$

kde: α_{LT} - součinitel imperfekt

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,664 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{13,103 \cdot 10^3}} = \mathbf{2,123}$$

M_{cr} – pružný kritický moment při klopení

Křivka klopení válcovaných I průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,978 \leq 2 \Rightarrow \text{křivka klopení b- } \alpha_{LT} = 0,340$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \\ &= 0,138 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 1,009 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-7}}}{3,0} \\ &= \mathbf{13,103 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

kde bezrozměrný kritický moment μ_{cr} je

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{0,234}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,210^2 + (0,460 \cdot 0,222 - 0,530 \cdot 0)^2} - (0,460 \cdot 0,222 - 0,530 \cdot 0) \right] = \mathbf{0,138}$$

bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,43 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-9}}} = \mathbf{0,210}$$

$k_w = 1,0$ není bráněno deplanaci

bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,09}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,43 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-9}}} = \mathbf{0,222}$$

bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0,0}{1,0 \cdot 3,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,43 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 10^9 \cdot 4,790 \cdot 10^{-9}}} = \mathbf{0}$$

přičemž:

k_z a k_w jsou součinitelé vzpěrné délky

$k_z = 1,0$ – kloubově uloženo

$k_w = 1,0$ – kloubově uloženo

L je délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny

$L = 3,0$ m

C_1, C_2, C_3 – součinitelé závisející na zatížení a podmínkách uložení konců

(viz. tab.)

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,210 = 0,234$$

$$C_2 = 0,460$$

$$C_3 = 0,530$$

z_g souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = 0,09 \text{ m}$$

z_j pro průřezy symetrické k ose y-y je $z_j = 0$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} \Rightarrow \psi_f = 0$$

$$I_{fc} = I_{ft} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,008 \cdot 0,091^3 = \mathbf{5,020 \cdot 10^{-7} m^4}$$

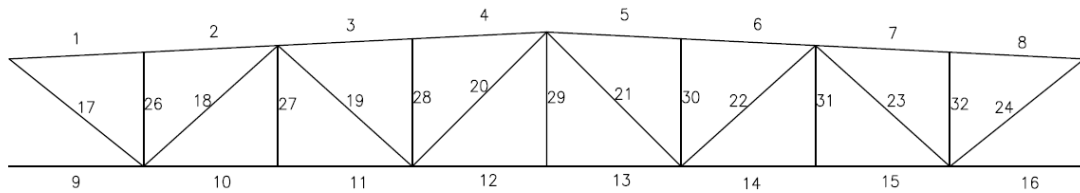
$$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot I_z \cdot \left(\frac{h_s}{2}\right)^2 = (1 - 0^2) \cdot 1,009 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,172}{2}\right)^2 = \mathbf{7,43 \cdot 10^{-9} m^6}$$

5.4.3. Posouzení prutů na osově síly

Vnitřní síly pro posudek jsou převzaty z obálky vnitřních sil z kombinace výsledků KV1.

KV1 – viz. příloha

číslování prutů



5.4.3.1. Průřezové charakteristiky

č. prutu		profil	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	A [mm ²]
Horní pás	1,8	CHS 114.3x4.0	2110000	2110000	1390
	2,7	CHS 114.3x4.0	2110000	2110000	1390
	3,6	CHS 139.7x6.3	5640000	5640000	2520
	4,5	CHS 139.7x6.3	5640000	5640000	2520
Dolní pás	9,16	CHS 114.3x5.0	2570000	2570000	1720
	10,15	CHS 114.3x5.0	2570000	2570000	1720
	11,14	CHS 114.3x5.0	2570000	2570000	1720
	12,13	CHS 114.3x5.0	2570000	2570000	1720
Diagonály	17,24	CHS 76.1x4.0	591000	591000	906
	18,23	CHS 88.9x6.0	1350000	1350000	1560
	19,22	CHS 76.1x4.0	591000	591000	906
	20,21	CHS 76.1x4.0	591000	591000	906
Svislice	26,32	CHS 60.3x4.0	282000	282000	707
	27,31	CHS 48.3x4.0	138000	138000	557
	28,3	CHS 60.3x4.0	282000	282000	707
	29	CHS 48.3x4.0	138000	138000	557

5.4.3.2. Zatřídění průřezů

ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZŮ DO TŘÍD										
č. prutu	profil	d [mm]	t [mm]	d/t						
Horní pás	1,8	CHS 114.3x4.0	114,3	4,0	28,575	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	2,7	CHS 114.3x4.0	114,3	4,0	28,575	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	3,6	CHS 139.7x6.3	139,7	6,3	22,1746	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	4,5	CHS 139.7x6.3	139,7	6,3	22,1746	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
Dolní pás	9,16	CHS 114.3x5.0	114,3	5,0	22,86	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	10,15	CHS 114.3x5.0	114,3	5,0	22,86	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	11,14	CHS 114.3x5.0	114,3	5,0	22,86	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
	12,13	CHS 114.3x5.0	114,3	5,0	22,86	≤	$70 \epsilon^2$	≤	45,927	2. třída
Diagonály	17,24	CHS 76.1x4.0	76,1	4,0	19,03	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	18,23	CHS 88.9x6.0	88,9	6,0	14,82	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	19,22	CHS 76.1x1.0	76,1	4,0	19,03	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	20,21	CHS 76.1x4.0	76,1	4,0	19,03	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
Svislice	26,32	CHS 60.3x4.0	60,3	4,0	15,075	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	27,31	CHS 48.3x4.0	48,3	4,0	12,075	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	28,3	CHS 60.3x4.0	60,3	4,0	15,075	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída
	29	CHS 48.3x4.0	48,3	4,0	12,075	≤	$50 \epsilon^2$	≤	32,805	1. třída

5.4.3.3. Ověření mezní štíhlosti

$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$; posudek proveden na měkkou osu (z – z) s většími vzpěrnými délkami

osa y – y automaticky **VYHOVÍ**

č. prutu	profil	$L_{cr,z}$ [m]	i_z [mm]	λ_z	λ_{lim}
Horní pás	1,8	CHS 114.3x4.0	3,004	39,0	77,0256
	2,7	CHS 114.3x4.0	3,004	39,0	77,0256
	3,6	CHS 139.7x6.3	3,004	47,2	63,6441
	4,5	CHS 139.7x6.3	3,004	47,2	63,6441
Dolní pás	9,16	CHS 114.3x5.0	6,000	38,7	155,039
	10,15	CHS 114.3x5.0	6,000	38,7	155,039
	11,14	CHS 114.3x5.0	6,000	38,7	155,039
	12,13	CHS 114.3x5.0	6,000	38,7	155,039
Diagonály	17,24	CHS 76.1x4.0	3,842	25,5	150,667
	18,23	CHS 88.9x5.0	4,036	29,4	137,279
	19,22	CHS 76.1x4.0	4,036	25,5	158,275
	20,21	CHS 76.1x4.0	4,243	25,5	166,392
Svislice	26,32	CHS 60.3x4.0	2,550	20,0	127,5
	27,31	CHS 48.3x4.0	2,700	15,70	171,975
	28,3	CHS 60.3x4.0	2,850	20,0	142,5
	29	CHS 48.3x4.0	3,000	15,70	191,083

≤ 200

≤ 300

5.4.3.4. Posouzení na vzpěr

- hodnoty návrhových sil z kombinace výsledků KV1

$\alpha =$	0,21	-
$E =$	210	GPa
$f_y =$	355	Mpa
γ_{M1}	1,0	-

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot \varepsilon \cdot I}{L_{cr}^2}; \lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}; \alpha = 0,21 - \text{křivka vzpěrné pevnosti "a"}$$

POSOUZENÍ TLAČENÝCH PRUTŮ NA VZPĚR						
č. prutu	N_{ed} [kN]	$L_{cr,y}$ [m]	$L_{cr,z}$ [m]	$N_{cr,y}$ [kN]	$N_{cr,z}$ [kN]	
Horní pás	1,8	-122,804	3,004	3,004	484,620	484,620
	2,7	-122,788	3,004	3,004	484,620	484,620
	3,6	-233,321	3,004	3,004	1295,386	1295,386
	4,5	-233,277	3,004	3,004	1295,386	1295,386
Dolní pás	9,16	0,000	6,000	6,000	147,962	147,962
	10,15	-11,904	6,000	6,000	147,962	147,962
	11,14	-12,904	6,000	6,000	147,962	147,962
	12,13	0,000	6,000	6,000	147,962	147,962
Diagonály	17,24	-13,246	3,842	3,842	82,984	82,98
	18,23	-101,246	4,0360	4,036	171,771	171,771
	19,22	-2,356	4,036	4,036	75,198	75,198
	20,21	-29,218	4,243	4,243	75,198	75,198
Svislice	26,32	-30,380	2,550	2,550	89,885	89,885
	27,31	-0,025	2,700	2,700	39,235	39,235
	28,3	-30,136	2,85	2,85	71,958	71,958
	29	0,000	3,000	3,000	31,780	31,780

POSOUZENÍ TLAČENÝCH PRUTŮ NA VZPĚR											
č. prutu	λ_y	λ_z	ϕ_y	ϕ_z	χ_y	χ_z	$N_{b,Rd}$	$N_{ed}/N_{b,Rd}$			
Horní pás	1,8	1,001	1,001	1,085	1,085	0,390	0,390	192,456	-0,638	≤1,0	VYHOVUJE
	2,7	1,001	1,001	1,085	1,085	0,390	0,390	192,456	-0,638		
	3,6	0,831	0,831	0,912	0,912	0,466	0,466	416,884	-0,560		
	4,5	0,831	0,831	0,912	0,912	0,466	0,466	416,884	-0,560		
Dolní pás	9,16	2,031	2,031	2,755	2,755	0,162	0,162	98,917	0,000		
	10,15	2,031	2,031	2,755	2,755	0,162	0,162	98,917	-0,120		
	11,14	2,031	2,031	2,755	2,755	0,162	0,162	98,917	-0,130		
	12,13	2,031	2,031	2,755	2,755	0,162	0,162	98,917	0,000		
Diagonály	17,24	1,969	1,969	2,624	2,624	0,169	0,169	54,36	-0,244		
	18,23	1,795	1,795	2,278	2,278	0,193	0,193	106,883	-0,947		
	19,22	2,068	2,068	2,834	2,834	0,158	0,158	50,818	-0,046		
	20,21	2,068	2,068	2,834	2,834	0,158	0,158	50,818	-0,575		
Svislice	26,32	1,671	1,671	2,060	2,060	0,212	0,212	53,209	-0,571		
	27,31	2,245	2,245	3,235	3,235	0,139	0,139	27,49	-0,001		
	28,3	1,868	1,868	2,419	2,419	0,183	0,183	45,930	-0,656		
	29	2,494	2,494	3,851	3,851	0,118	0,118	23,333	0,000		

5.4.3.5. Posouzení na tah

hodnoty návrhových sil z kombinace výsledků KV1

$$N_{cr} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

POSOUZENÍ PRUTU NA TAH						
č. prutu	profil	N _{Ed} [kN]	A [mm ²]	N _{t,Rd} [kN]	N _{Ed} /N _{t,Rd}	
Horní pás	1,8	CHS 114.3x4.0	10,302	1390	493,450	0,02
	2,7	CHS 114.3x4.0	10,298	1390	493,450	0,02
	3,6	CHS 139.7x6.3	6,970	2520	894,600	0,01
	4,5	CHS 139.7x6.3	6,970	2520	894,600	0,01
Dolní pás	9,16	CHS 114.3x5.0	0,000	1720	610,600	0,00
	10,15	CHS 114.3x5.0	196,897	1720	610,600	0,32
	11,14	CHS 114.3x5.0	196,897	1720	610,600	0,32
	12,13	CHS 114.3x5.0	236,630	1720	610,600	0,39
Diagonály	17,24	CHS 60.3x5.0	157,144	906	321,630	0,49
	18,23	CHS 88.9x5.0	2,3140	1320	468,600	0,00
	19,22	CHS 60.3x5.0	53,042	906	321,630	0,16
	20,21	CHS 60.3x5.0	16,435	906	321,630	0,05
Svislice	26,32	CHS 60.3x4.0	8,120	707	250,985	0,03
	27,31	CHS 48.3x4.0	0,340	557	197,735	0,00
	28,3	CHS 60.3x4.0	4,841	707	250,985	0,02
	29	CHS 48.3x4.0	0,738	557	197,735	0,00

≤ 1,0

VYHOVUJE

5.4.4. Mezní stav použitelnosti

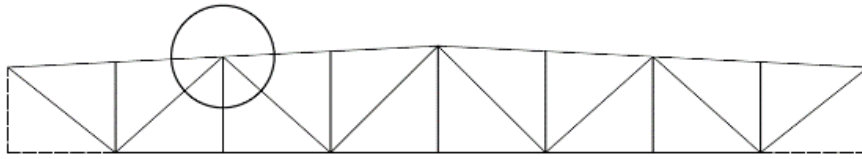
Výsledky posouzení na mezní stav použitelnosti viz. příloha

$$w_{lim} = \frac{L}{200} = 96 \text{ mm}$$

$$w_z = 25,0 \text{ mm}$$

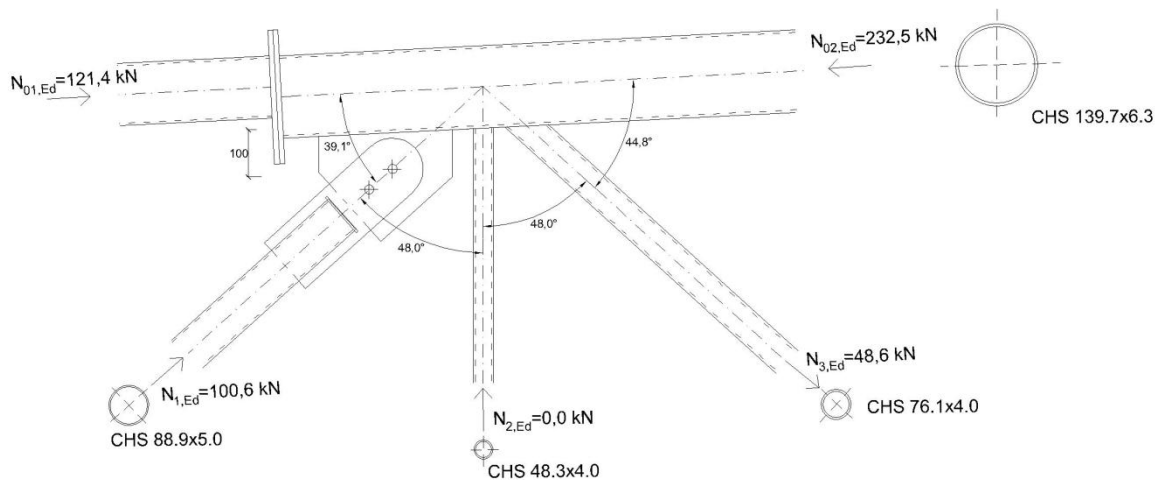
$$\frac{w_z}{w_{lim}} = \frac{25,0}{96,0} = 0,26 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.5. Styčník č. 5



5.4.5.1. Geometrie

Vnitřní síly z kombinace KZ40



$$d_0 = 139,7 \text{ mm}; t_0 = 6,3 \text{ mm}; d_1 = 88,9 \text{ mm}; t_1 = 5,0 \text{ mm}$$

$$d_2 = 48,3 \text{ mm}; t_2 = 4,0 \text{ mm}; d_3 = 76,1 \text{ mm}; t_3 = 4,0 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 39,12^\circ; \theta_2 = 87,12^\circ; \theta_3 = 44,85^\circ$$

$$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = f_{y3} = 355 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,0$$

5.4.5.2. Návrhové vnitřní síly

$$N_{01,Ed} = -121,4 \text{ kN}; M_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{02,Ed} = -232,5 \text{ kN}; M_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = -100,6 \text{ kN}; M_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = 48,6 \text{ kN}; M_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

5.4.5.3. Tabulka 7.1 – Rozsah platnosti pro svařované styčníku mezipásových prutů a pásů z CHS

Poměr		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq d_2/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 48,3/139,7 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 0,346 \leq 1,0 \dots$ SPLNĚNO
		$0,2 \leq d_2/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 76,1/139,7 \leq 1,0$
Pásy	tah	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$
		$10 \leq 139,7/6,3 \leq 50$
		$10 \leq 22,175 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
	tlak	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$
		$10 \leq 139,7/6,3 \leq 50$
		$10 \leq 22,175 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
		<i>TŘÍDA 1</i>
Mezipásové pruty	tah	$d_i/t_i \leq 50$
		$d_2/t_2 \leq 50$
		$48,3/4,0 \leq 50$
		$12,08 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
	tlak	$d_3/t_3 \leq 50$
		$76,1/4,0 \leq 50$
$19,03 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO		
		<i>TŘÍDA 2</i>
Mezera		$g_{2,3} \geq t_1 + t_2$
		$22,0 \geq 5+4= 9,0 \dots$ SPLĚNO

5.4.5.4. 7.2. Porušení povrchu pásu od prutu č.3porušení povrchu pásu – styčník K s mezerou

$$N_{3,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{d_3}{d_0}\right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$N_{3,Rd} = \frac{1,33 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,0063^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{76,1}{139,7}\right)}{1,0} = \mathbf{195,469 \text{ kN}}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{74,87}{355}}{1,0} = 0,211 \Rightarrow k_p = 1,3 - 0,3 \cdot n_p(1 + n_p) = \mathbf{1,22}$$

$$k_p = 1,22 \text{ ale } k_p \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_p = 1,0}$$

$$\beta = \frac{d_2 + d_3}{2 \cdot d_0} = \frac{48,3 + 76,1}{2 \cdot 139,7} = \mathbf{0,445}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{188,66 \cdot 10^3}{2520 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{-74,87 \text{ MPa}}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos\theta_i =$$

$$N_{p,Ed} = -232,25 - (-100,6 \cdot \cos 39,12^\circ + 48,6 \cdot \cos 44,85^\circ) = \mathbf{-188,66 \text{ kN}}$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{139,7}{2 \cdot 6,3} = \mathbf{11,08}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5g}{t_0} - 1,33\right)} \right) = 11,08^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \cdot 11,08^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,522}{6,3} - 1,33\right)} \right)$$

$$\mathbf{k_g = 1,33}$$

porušení prolomením smykem

$$\text{Když : } d_i \leq d_0 - 2t_0$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin\theta_i}{2 \cdot \sin^2\theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$d_3 \leq d_0 - 2t_0$$

$$76,1 \leq 139,7 - 2 \cdot 6,3$$

$$76,1 \leq 127,1$$

$$N_{3,Rd} = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,0063 \cdot \pi \cdot 0,0761 \cdot \frac{1 + \sin 44,85}{2 \cdot \sin^2 44,85} / 1,0 = \mathbf{529,19 \text{ kN}}$$

volím $N_{3,Rd} = 195,469 \text{ kN}$

$$\frac{N_{3,Ed}}{N_{3,Rd}} = \frac{48,6}{195,469} = \mathbf{0,248 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

Posouzení:

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$100,6 \cdot \sin 39,12^\circ + 0,0 \cdot \sin 87,12^\circ \leq 195,469 \cdot \sin 39,12^\circ$$

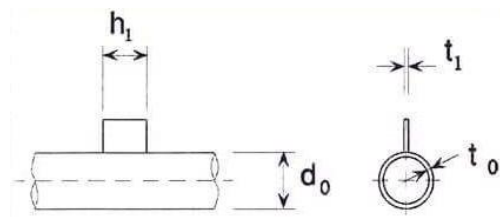
$$64,47 \text{ kN} \leq 123,33 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$48,6 \cdot \sin 39,12^\circ \leq 207,063 \cdot \sin 39,12^\circ$$

$$32,28 \text{ kN} \leq 123,33 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.5.5. 7.3. Návrhové únosnosti svařovaných styčnicků spojujících styčnickové plechy k prutům z CHS – porušení pásu od prutu č.1



$$h_i = 260 \text{ mm}; t_i = 10 \text{ mm}$$

$$N_1 = N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1 = 100,6 \cdot \sin 39,12 = \mathbf{63,470 \text{ kN}}$$

$$\eta \leq 4$$

$$\eta \leq \frac{h_i}{d_0} = \frac{260}{139,7} = \mathbf{1,86 \leq 4 \dots SPLNĚNO}$$

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,0063^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 1,86) / 1,0 = \mathbf{103,208 \text{ kN}}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{30,88}{355}}{1,0} = -0,09 \Rightarrow k_p = 1,3 - 0,3 \cdot n_p (1 + n_p) = \mathbf{1,32}$$

$$k_p = 1,32 \text{ ale } k_p \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_p = 1,0}$$

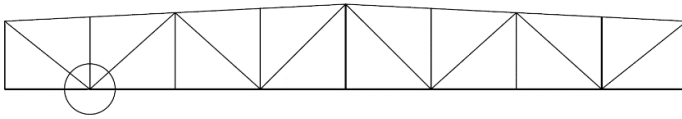
$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{77,807 \cdot 10^3}{2520 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{-30,88 \text{ MPa}}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_i =$$

$$N_{p,Ed} = -121,4 - (-100,6 \cdot \cos 39,12^\circ + 48,6 \cdot \cos 44,85^\circ) = \mathbf{-77,807 \text{ kN}}$$

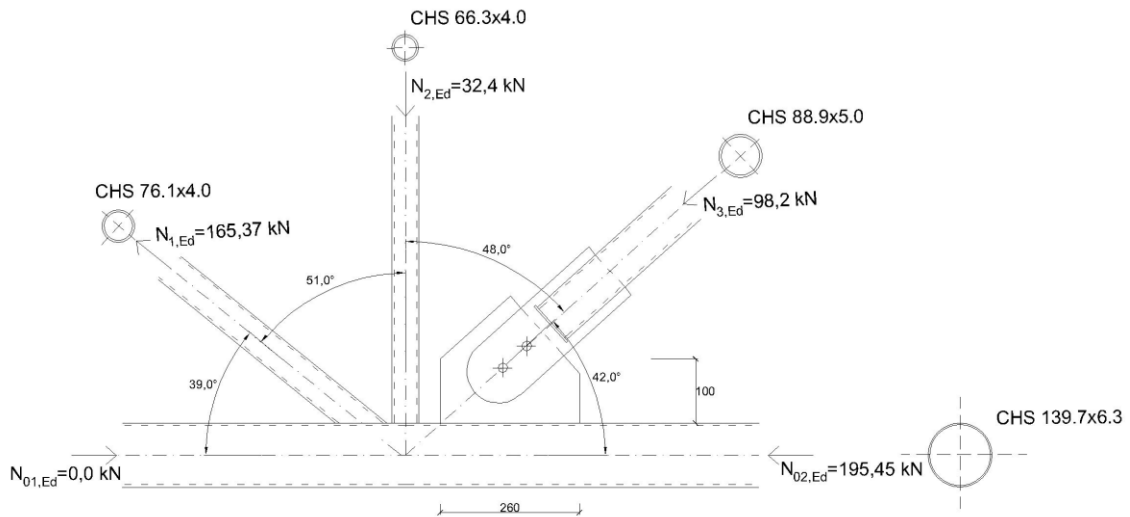
$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{63,473}{103,208} = \mathbf{0,61 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

5.4.6. STYČNÍK č. 12



5.4.5.1. Geometrie

Vnitřní síly z kombinace KZ46



$$d_0 = 114,3 \text{ mm}; t_0 = 5,0 \text{ mm}; d_1 = 76,1 \text{ mm}; t_1 = 4,0 \text{ mm}$$

$$d_2 = 66,3 \text{ mm}; t_0 = 4,0 \text{ mm}; d_3 = 88,9 \text{ mm}; t_3 = 5,0 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 38,66^\circ; \theta_2 = 90,00^\circ; \theta_3 = 41,99^\circ$$

$$f_{y0} = f_{y1} = f_{y2} = f_{y3} = 355 \text{ MPa}; \gamma_{M5} = 1,0$$

5.4.5.2. Návrhové vnitřní síly

$$N_{01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,01,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{02,Ed} = 195,45 \text{ kN}; M_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,02,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 165,37 \text{ kN}; M_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,1,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = -30,44 \text{ kN}; M_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,2,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed} = -98,72 \text{ kN}; M_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; M_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{y,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}; V_{z,3,Ed} = 0,0 \text{ kN}$$

5.4.6.3. Tabulka 7.1 – Rozsah platnosti pro svařované styčníku mezipásových prutů a pásů z CHS

Poměr		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq d_1/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 76,1/114,3 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 0,666 \leq 1,0 \dots$ SPLNĚNO
		$0,2 \leq d_2/d_0 \leq 1,0$
		$0,2 \leq 66,3/114,3 \leq 1,0$
Pásy		$0,2 \leq 0,580 \leq 1,0 \dots$ SPLNĚNO
	tah	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$
		$10 \leq 114,3/5,0 \leq 50$
		$10 \leq 22,86 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
	tlak	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$
		$10 \leq 114,3/5,0 \leq 50$
		$10 \leq 22,86 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
		<i>TŘÍDA 1</i>
Mezipásové pruty	tah	$d_i/t_i \leq 50$
		$d_1/t_1 \leq 50$
		$76,1/4,0 \leq 50$
		$19,03 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
		$d_2/t_2 \leq 50$
		$66,3/4,0 \leq 50$
		$16,575 \leq 50 \dots$ SPLNĚNO
	tlak	<i>TŘÍDA 2</i>
Mezera		$g_{1,2} \geq t_1 + t_2$
		$20,0 \geq 4+4= 8,0 \dots$ SPLĚNO

5.4.6.4. 7.2. Porušení povrchu pásu od prutu č.1 a 2porušení povrchu pásu – styčník K s mezerou

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0}\right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$N_{1,Rd} = \frac{1,86 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{76,1}{114,3}\right)}{\sin 38,66 \cdot 1,0} = \mathbf{230,679 \text{ kN}}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{d_2}{d_0}\right)}{\gamma_{M5}} =$$

$$N_{2,Rd} = \frac{1,86 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot \left(1,8 + 10,2 \frac{66,3}{114,3}\right)}{\sin 90,00 \cdot 1,0} = \mathbf{129,435 \text{ kN}}$$

 $k_p = 1,0$... *pro tah*

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{114,3}{2 \cdot 5} = \mathbf{11,43}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5g}{t_0} - 1,33\right)} \right) = 11,43^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \cdot 11,43^{1,2}}{1 + \exp\left(\frac{0,5 \cdot 20}{5,0} - 1,33\right)} \right)$$

 $k_g = \mathbf{1,89}$ porušení prolomením smykem

$$\text{Když : } d_i \leq d_0 - 2t_0 \qquad N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_i \cdot \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \cdot \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0$$

$$d_2 \leq d_0 - 2t_0$$

$$76,1 \leq 114,3 - 2 \cdot 5$$

$$66,3 \leq 114,3 - 2 \cdot 5$$

$$76,1 \leq 104,3$$

$$66,3 \leq 104,3$$

$$N_{1,Rd} = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,005 \cdot \pi \cdot 0,0761 \cdot \frac{1 + \sin 38,66}{2 \cdot \sin^2 38,66} / 1,0 = \mathbf{510,01 \text{ kN}}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot 0,005 \cdot \pi \cdot 0,0663 \cdot \frac{1 + \sin 90,00}{2 \cdot \sin^2 90,00} / 1,0 = \mathbf{213,45 \text{ kN}}$$

volím $N_{1,Rd} = \mathbf{230,679 \text{ kN}}$ volím $N_{2,Rd} = \mathbf{129,45 \text{ kN}}$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{165,37}{230,679} = \mathbf{0,717 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}}$$

$$\frac{N_{2,Ed}}{N_{2,Rd}} = \frac{30,44}{129,45} = \mathbf{0,235 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}}$$

Posouzení:

$$N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \cdot \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$98,72 \cdot \sin 41,99^\circ + 30,44 \cdot \sin 90,00^\circ \leq 230,679 \cdot \sin 38,66^\circ$$

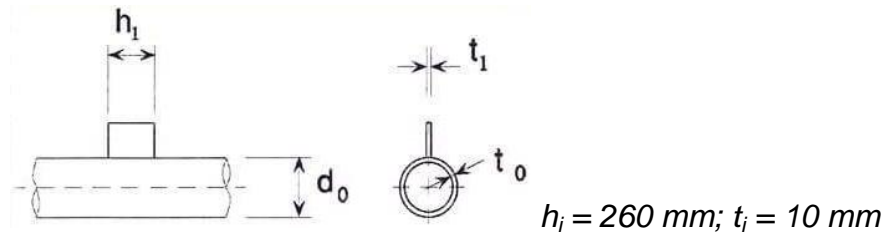
$$90,463 \text{ kN} \leq 144,105 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

$$N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \cdot \sin \theta_1$$

$$98,72 \cdot \sin 39,12^\circ \leq 230,679 \cdot \sin 38,66^\circ$$

$$61,670 \text{ kN} \leq 144,105 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.4.6.5. 7.3. Návrhové únosnosti svařovaných styčnicků spojujících styčnickové plechy k prutům z CHS – porušení pásu od prutu č.3



$$N_3 = N_{3,Ed} \cdot \sin \theta_3 = 98,72 \cdot \sin 41,99^\circ = \mathbf{66,04 \text{ kN}}$$

$$\eta \leq 4$$

$$\eta \leq \frac{h_i}{d_0} = \frac{260}{114,37} = \mathbf{2,27 \leq 4 \dots \text{SPLNĚNO}}$$

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = 5 \cdot 1,0 \cdot 355 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 2,27) / 1,0 = \mathbf{69,558 \text{ kN}}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{81,198}{355}}{1,0} = 0,229 \Rightarrow k_p = 1,3 - 0,3 \cdot n_p (1 + n_p) = \mathbf{1,22}$$

$$k_p = 1,22 \text{ ale } k_p \leq 1,0 \Rightarrow \mathbf{k_p = 1,0}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} = \frac{139,66 \cdot 10^3}{1720 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,0}{W_{el,0}} = \mathbf{81,198 \text{ MPa}}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum N_{i,Ed} \cdot \cos \theta_i =$$

$$N_{p,Ed} = 195,45 - (165,37 \cdot \cos 38,66^\circ - 30,44 \cdot \cos 90,00^\circ - 98,72 \cdot \cos 41,99^\circ) =$$

$$\mathbf{N_{p,Ed} = 139,69 \text{ kN}}$$

$$\frac{N_1}{N_{1,Rd}} = \frac{66,04}{69,558} = \mathbf{0,95 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}}$$

5.4.6.6. Posouzení svaru diagonály 1 na dolní pás

$$N_{1,Ed} = 165,37 \text{ kN}; \text{ CHS } 76.1 \times 4.0; \theta_1 = 38,66^\circ$$

$$f_u = 490 \text{ MPa}; \beta_w = 0,9; \gamma_{M2} = 1,25$$

$$a_{min} \leq a \leq a_{max}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 4 = \mathbf{4,4 \text{ mm}}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm} \leq a_{max} = 4,4 \text{ mm}$$

$$L = 4 \cdot d_0 = 4 \cdot 76,1 = 304,4 \text{ mm}$$

$$A = L \cdot a = 304,4 \cdot 3 = 913,2 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \sin \theta_1}{a \cdot \sqrt{2}} = \frac{165,37 \cdot 10^3 \cdot \sin 38,66^\circ}{913,2 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2}} = \mathbf{79,992 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} \cdot \cos \theta_1}{A} = \frac{165,37 \cdot 10^3 \cdot \cos 38,66^\circ}{913,2 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{141,406 \text{ MPa}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{79,992^2 + 3 \cdot 79,992^2 + 3 \cdot 141,406^2} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$\mathbf{292,544 \text{ MPa} \leq 435,556 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

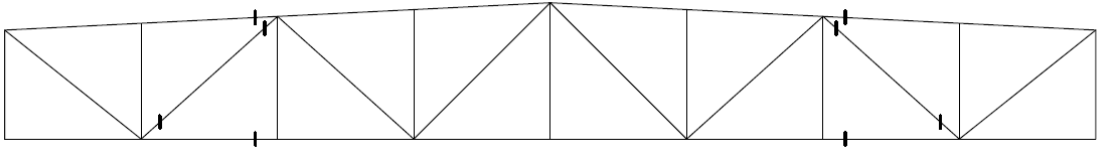
$$79,992 \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25}$$

$$\mathbf{79,992 \text{ MPa} \leq 352,8 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}}$$

5.5. Tabulka hmotnosti použitých prutů

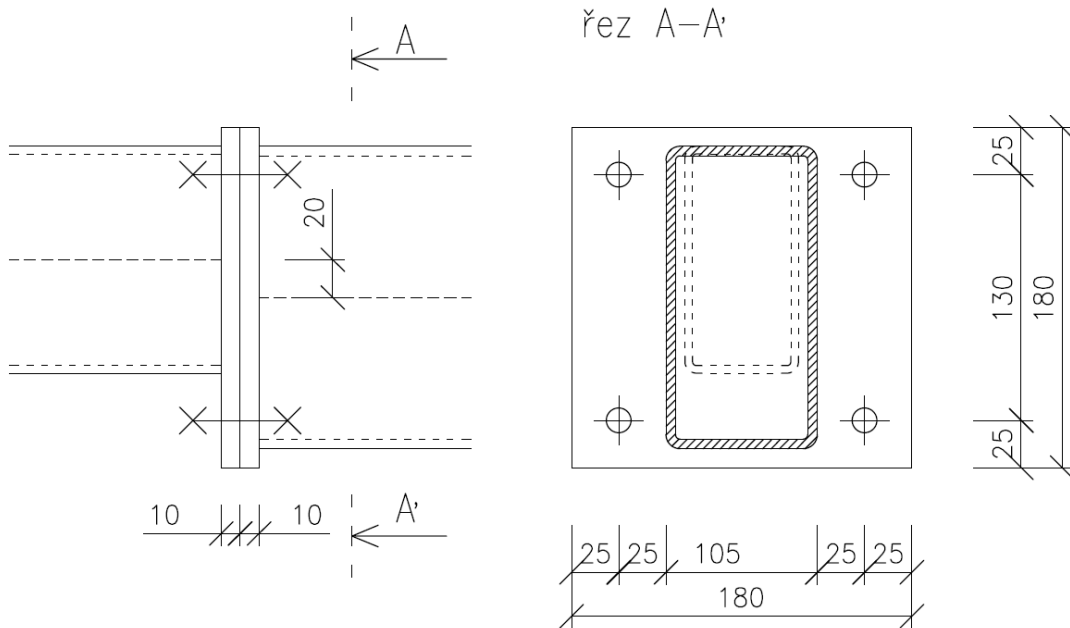
č. prutu	normálová síla N_{ed} [kN]		navržený průřez	celková délka prutu [m]	hmotnost [t]	
	tlak	tah				
Horní pás	1,8	-122,804	10,302	CHS 114.3x4.0	6,01	0,066
	2,7	-122,788	-10,298	CHS 114.3x4.0	6,01	0,066
	3,6	-233,321	6,970	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
	4,5	-233,277	6,790	CHS 139.7x6.3	6,01	0,124
Dolní pás	9,16	0,000	0,000	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	10,15	-11,904	196,897	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	11,14	-12,904	196,879	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
	12,13	0,000	236,630	CHS 114.3x5.0	6,00	0,081
Diagonály	17,24	-13,246	157,144	CHS 76.1x4.0	7,68	0,055
	18,23	-101,246	2,314	CHS 88.9x5.0	8,07	0,084
	19,22	-2,356	53,042	CHS 76.1x4.0	8,07	0,057
	20,21	-29,218	16,435	CHS 76.1x4.0	8,47	0,061
Svislice	26,32	-30,380	8,120	CHS 60.3x4.0	5,10	0,028
	27,31	-0,025	0,340	CHS 48.3x4.0	5,40	0,024
	28,3	-30,136	4,841	CHS 60.3x4.0	5,70	0,031
	29	0,000	0,738	CHS 48.3x4.0	3,00	0,013
					celková hmotnost	1,057

5.6. Montážní spoj



5.6.1. Montážní spoj horního pásu

Vnitřní síly z kombinace KZ86



4 x šrouby M12 4.6.

Vnitřní síly

$N_{Ed} = 10,70 \text{ kN}$; $M_{Ed} = 0,0 \text{ kNm}$; $V_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 12 \text{ mm}$; $d_0 = 13 \text{ mm}$; $d_m = 20,5 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 400 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 240 \text{ MPa}$; $A = 113 \text{ mm}^2$; $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 130 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 13 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 130 \text{ mm}$$

Síla, kterou přenáší jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{10,70}{4} = 2,68 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_z \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 400 \cdot 84,3}{1,25} = 24,278 \text{ kN}$$

5.6.1.1. Posouzení na vliv páčení**1. způsob: úplná plastifikace pásnice**

$$\Sigma l_{eff,1} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}; n = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1,598 \text{ kNm}$$

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,598}{0,025} = 255,68 \text{ kN}$$

2. způsob: porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$\Sigma l_{eff,2} = 180 \text{ mm}; t_f = 10 \text{ mm}; m = 25 \text{ mm}; n = 25 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1,598 \text{ kNm}$$

$$\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 24,278 = 97,112 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,598 + 0,025 \cdot 97,112}{0,025 + 0,025} = 112,476 \text{ kN}$$

3. způsob: porušení šroubu

$$\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 24,278 = 97,112 \text{ kN}$$

$$F_{t,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 97,112 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{10,70}{4} = 2,68 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = F_{t,2,Rd} = 97,112 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{2,68}{97,112} = 0,03 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

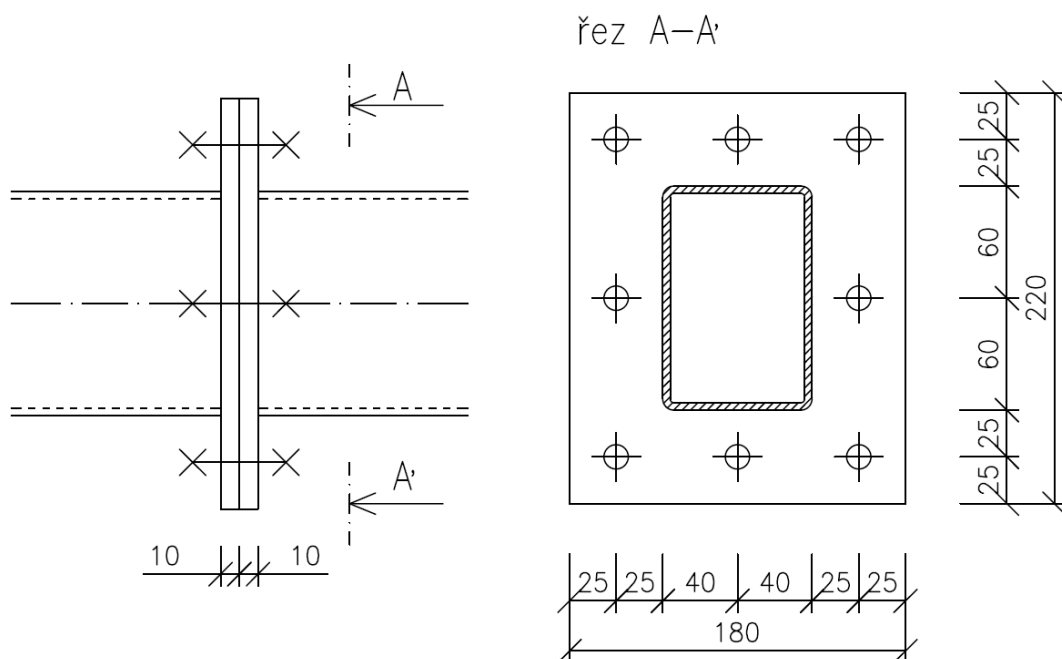
5.6.1.2. Posouzení na protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = 151,475 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{B_{p,Rd}} = \frac{2,68}{151,475} = 0,02 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.6.2. Montážní spoj dolního pásu

Vnitřní síly z kombinace KZ40



8 x šrouby M16 5.8.

Vnitřní síly

$N_{Ed} = 196,2 \text{ kN}$; $M_{Ed} = 0,0 \text{ kNm}$; $V_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $d_m = 25,9 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 400 \text{ MPa}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 65 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 25 \text{ mm}$

$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 85 \text{ mm}$

Síla, kterou přenáší jeden šroub

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{196,2}{8} = \mathbf{24,53 \text{ kN}}$$

Únosnost jednoho šroubu na přetržení

$$F_{t,Rd} = \frac{k_z \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = \mathbf{56,520 \text{ kN}}$$

5.6.2.1. Posouzení na vliv páčení

1. způsob: úplná plastifikace pásnice

$\Sigma l_{eff,1} = 180 \text{ mm}$; $t_f = 10 \text{ mm}$; $m = 25 \text{ mm}$; $n = 25 \text{ mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = \mathbf{1,598 \text{ kNm}}$$

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 1,598}{0,025} = \mathbf{255,68 \text{ kN}}$$

2. způsob: porušení šroubu s plastifikací pásnice

$\Sigma l_{eff,2} = 180 \text{ mm}$; $t_f = 10 \text{ mm}$; $m = 25 \text{ mm}$; $n = 25 \text{ mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \Sigma l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,180 \cdot 0,010^2 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = \mathbf{1,598 \text{ kNm}}$$

$\Sigma F_{t,Rd} = 8 \cdot F_{t,Rd} = 8 \cdot 24,278 = \mathbf{452,160 \text{ kN}}$

$$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1,598 + 0,025 \cdot 452,16}{0,025 + 0,025} = \mathbf{119,432 \text{ kN}}$$

3. způsob: porušení šroubu

$$\Sigma F_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 8 \cdot 56,52 = \mathbf{452,160 \text{ kN}}$$

$$F_{t,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = \mathbf{452,160 \text{ kN}}$$

POSOUZENÍ:

$$F_{t,Ed,1} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{196,2}{8} = \mathbf{24,53 \text{ kN}}$$

$$F_{t,Rd} = F_{t,2,Rd} = \mathbf{119,432 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{F_{t,Rd}} = \frac{24,53}{119,432} = \mathbf{0,21 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

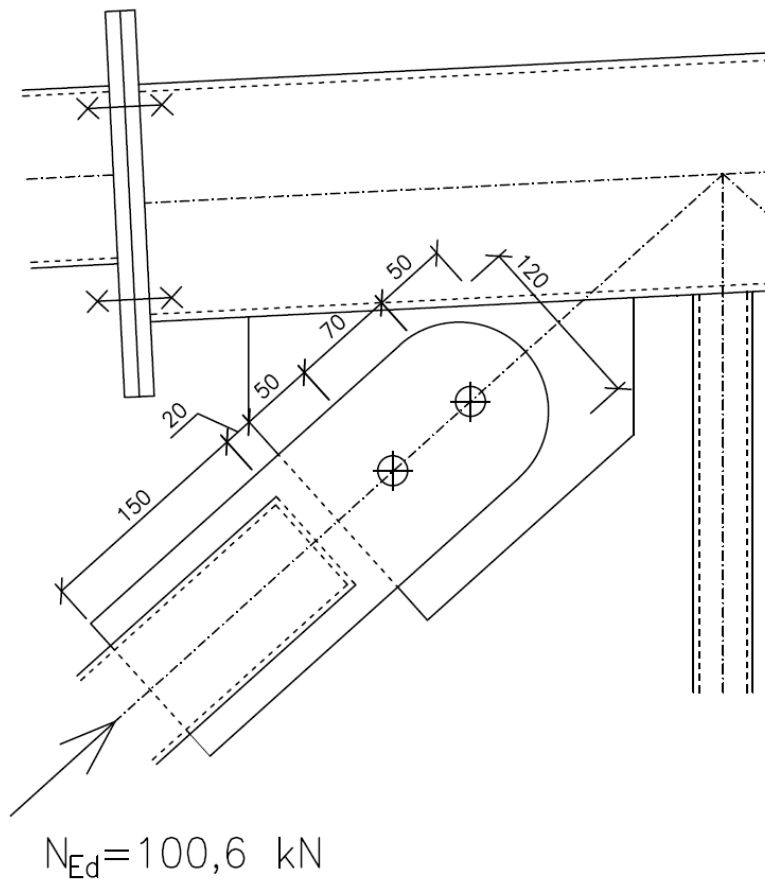
5.6.2.2. Posouzení na protlačení

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} = \mathbf{191,38 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{t,Ed,1}}{B_{p,Rd}} = \frac{24,53}{191,38} = \mathbf{0,13 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

5.6.3. Montážní spoj diagonály vazníku

Vnitřní síly z kombinace KZ40



2 x šrouby M16 8.8

Vnitřní síly

$N_{Ed} = 100,6 \text{ kN}$

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $d_m = 25,9 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $f_u = 490 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 50 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 70 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm}$

Posouzení na stříh

$$F_{v,1,Rd} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{100,6}{2} = \mathbf{50,30 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = \mathbf{60,288 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,1,Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{50,3}{60,288} = \mathbf{0,83 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

Posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{f_{ub}}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(9,33; -; 2,5) = \mathbf{2,5}$$

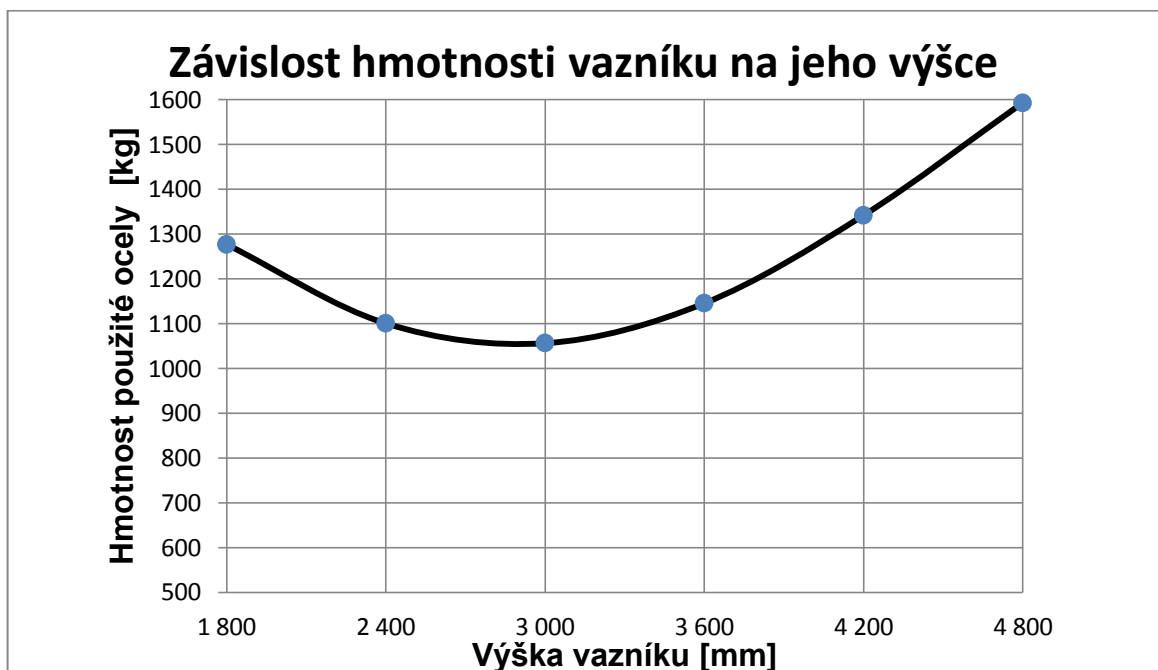
$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,93; 1,05; 1,63; 1) = \mathbf{0,93}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot d}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 490 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} = \mathbf{145,83 \text{ kN}}$$

$$\frac{F_{v,1,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{50,3}{145,83} = \mathbf{0,35 \leq 1,0 \dots VYHOVUJE}$$

6. Graf závislosti hmotnosti vazníků na jeho výšce

výška [mm]	hmotnost [kg]
1800	1277
2400	1101
3000	1057
3600	1146
4200	1342
4800	1593



Odborná literatura udává interval pro volbu výšky vazníku $1/6 - 1/10$ délky vazníku. Z naší optimalizace vyplývá, že nejvýhodnější volba výšky vazníku je $1/8$, která odpovídá střední hodnotě intervalu z odborné literatury.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Velká písmena

A	plná průřezová plocha šroubu
A	průřezová plocha
A_s	plocha šroubu účinná v tahu
$B_{P,Rd}$	návrhová smyková únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu
C_{dir}	součinitel směru
C_e	součinitel expozice
C_{mLT}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
C_{my}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
$C_o(z)$	součinitel orografie
$C_{pe,10}$	součinitel tlaku
$C_r(z)$	součinitel drsnosti
C_{season}	součinitel ročního období
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v tlaku
F_{Ed}	návrhová působící síla
$F_{t,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v tahu
$F_{V,Ed}$	návrhová smyková síla ve šroubu v mezním stavu únosnosti
$F_{V,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve stříhu
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
I_t	moment setrvačnosti v kroucení
$I_v(z)$	intenzita turbulence
I_w	výsečový moment setrvačnosti
I_y	moment setrvačnosti průřezu k ose y
I_z	moment setrvačnosti průřezu k ose z
L	délka svaru
$L_{cr,T}$	vzpěrná délka při vybočení zkroucením
$L_{cr,y}$	kritická vzpěrná délka kolmo k ose y
$L_{cr,z}$	kritická vzpěrná délka kolmo k ose z
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu
M_{Ed}	návrhový ohybový moment

M_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu
$N_{b,Rd}$	vzpěrná únosnost
N_{cr}	kritická síla
$N_{cr,y}$	pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y
$N_{cr,z}$	pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z
N_{Ed}	návrhová hodnota osově síly
N_{Rk}	charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnost v tahu
V_{Ed}	návrhová smyková síla
$W_{el,y}$	elastický průřezový modul k ose y
$W_{el,z}$	elastický průřezový modul k ose z
$W_{pl,y}$	plastický průřezový modul k ose y
$W_{pl,z}$	plastický průřezový modul k ose z

Malá písmena

a	účinná výška svaru
b	šířka průřezu
d	hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)
d	výška rovné části stojiny
d	jmenovitý průměr šroubu
d_0	průměr otvoru pro šroub
e	vzdálenost šroubu od okraje
f_y	mez kluzu
f_u	mez pevnosti
f_{ub}	mez pevnosti materiálu šroubu
h	výška průřezu
i_0	polární poloměr setrvačnosti
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z
k_r	součinitel terénu
k_w	součinitel vzpěrné délky
k_{yy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
k_z	součinitel vzpěrné délky

k_{zy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
k_{τ}	součinitel napětí
l_{eff}	efektivní délka
n	počet stříhovových rovin
$q_p(z)$	maximální hodnota dynamického tlaku větru
s	charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojitě zatížení)
s_k	základní tíha sněhu
t	tloušťka
u	průhyb
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
v_m	střední rychlost větru
w_{max}	maximální hodnota průhybu
w	tlak větru (rovnoměrné spojitě zatížení)
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu
z	výška nad zemí
z_{min}	minimální výška

Velká řecká písmena

Φ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
Φ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti

Malá řecká písmena

α	součinitel
α_{LT}	součinitel imperfekt pro klopení
β	součinitel vzpěrné délky
β_w	korelační součinitel pro svaryzávislý na druhu oceli
γ_{M0}	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
γ_{M2}	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
ε	součinitel závisející na f_y
κ_{wt}	bezrozměrný parametr kroucení
λ	štíhlost

λ_y	štíhlost k ose y
λ_z	štíhlost k ose z
λ_T	poměrná štíhlost při klopení
λ	poměrná štíhlost při vybočení zkroucením
λ_w	poměrná štíhlost stěny
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
μ_i	tvarový součinitel zatížení sněhem
π	Ludolfovo číslo
ρ	měrná hmotnost vzduchu
τ	smykové napětí
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_T	součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru
χ_y	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y
χ_z	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z

Seznam příloh:

1. příloha C – programový výstup
2. příloha D – výkresová dokumentace

Seznam použitých zdrojů:

1. MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8; navrhování hliníkových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1999 -1. 1.* vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009 , 180 s. Technická knižnice. ISBN 978-80-87093-86-3.
2. ČSN ISO 12 944. *Nátěrové hmoty*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
4. ČSN EN 1993-1-2. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
5. ČSN EN 1993-1-8. *Navrhování ocelových konstrukcí: navrhování styčnicků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
6. ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
7. ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004
8. ČSN EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004
9. ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
10. ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná pravidla – zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
11. MELCHCER, Jindřich a Bohumil STRAKA. *Kovové konstrukce 2.*, nezn. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
12. MAREK, Pavel. *Kovové konstrukce pozemních staveb*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985
13. HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT)

vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT).
ISBN 978-80-87093-89-4.

14. HAYWARD, Alan, Frank. WEARE a Anthony OAKHILL. *Steel detailers' manual*. 2ns ed. / revised by Anthony Oakhill. Malden, MA: Blackwell Science, 2001.
ISB 0632055723
15. WANKE, Josef a Luděk SPAL. *Ocelové trubkové konstrukce určeno [také] studentům vysokých technických škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.
Řada stavební literatury.
16. *Kingspan* [online]. 2016 [cit. 2016-01-23]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/>
17. *Ferona* [online]. 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>
18. *Ocel* [online]. 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.ocel.cz/>