



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

02 STATICKÝ VÝPOČET

STEEL STRUCTURE OF FOOTBAL GRANDSTAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ KLOSS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ HRON

BRNO 2014

Obsah

OBSAH	3
SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK.....	11
1 KONSTRUKČNÍ SYSTÉM A GEOMETRIE	13
1.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	13
1.2 PŮDORYSNÉ SCHÉMA.....	14
1.3 PŘÍHRADOVÉ KONSTRUKCE	14
1.4 ZTUŽIDLA	15
1.5 PODPORY	15
1.6 KLOUBY	16
1.7 NELINEARITY	16
2 ZATÍŽENÍ.....	17
2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	17
2.1.1 Vlastní tíha.....	17
2.1.2 Ostatní stálé zatížení	17
2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	20
2.2.1 Užité zatížení	20
2.2.2 Zatížení sněhem.....	20
2.2.3 Zatížení větrem	23
2.2.4 Zatížení teplotou	49
3 ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	50
4 KOMBINACE.....	51
4.1 KOMBINACE MSÚ	51
4.2 KOMBINACE MSP.....	53
5 GLOBÁLNÍ EXTRÉMY SIL.....	56
5.1 SLOUPY	56
5.2 TÁHLA.....	56
5.3 VZPĚRY	56
5.4 PODÉLNÁ ZTUŽIDLA.....	57

5.5	DOLNÍ PÁSY VAZNÍKŮ.....	57
5.6	HORNÍ PÁSY VAZNÍKŮ	57
5.7	SVISLICE VAZNÍKŮ.....	58
5.8	DIAGONÁLY VAZNÍKŮ	58
5.9	DOLNÍ PÁSY VAZNIC	59
5.10	HORNÍ PÁSY VAZNIC	59
5.11	SVISLICE VAZNIC	59
5.12	DIAGONÁLY VAZNIC	60
5.13	STABILIZAČNÍ PRVKY VAZNIC.....	60
5.14	PODÉLNÁ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA	61
5.15	PŘÍČNÁ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA	61
6	POSOUZENÍ ZÁKLADNÍCH KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ.....	62
6.1.	SLOUPY	63
6.1.1	Posudek pevnosti	64
6.1.2	Posudek stability	66
6.2	TÁHLA	69
6.2.1	Posudek pevnosti	70
6.2.3	Posudek stability	71
6.3	VZPĚRY	73
6.3.2	Posudek pevnosti	74
6.3.2	Posudek stability	75
6.4	PODÉLNÁ ZTUŽIDLA.....	78
6.4.2	Posudek pevnosti	79
6.4.3	Posudek stability	80
6.5	DOLNÍ PÁSY VAZNÍKŮ.....	83
6.5.1	Posudek pevnosti	85
6.5.2	Posudek stability	86
6.6	HORNÍ PÁSY VAZNÍKŮ	92
6.6.1	Posudek pevnosti	93
6.6.2	Posudek stability	95
6.7	SVISLICE VAZNÍKŮ.....	97
6.7.1	Posudek pevnosti	98
6.7.2	Posudek stability	99
6.8	DIAGONÁLY VAZNÍKŮ	100

6.8.1	Posudek pevnosti	101
6.8.2	Posudek stability	102
6.9	DOLNÍ PÁSY VAZNIC	103
6.9.1	Posudek pevnosti	104
6.9.2	Posudek stability	105
6.10	HORNÍ PÁSY VAZNIC	109
6.10.1	Posudek pevnosti	110
6.10.2	Posudek stability	112
6.11	SVISLICE VAZNIC	115
6.11.2	Posudek pevnosti	116
6.11.3	Posudek stability	117
6.12	DIAGONÁLY VAZNIC	119
6.12.1	Posudek pevnosti	120
6.12.2	Posudek stability	121
6.13	STABILIZAČNÍ PRVKY VAZNIC	122
6.13.2	Posudek pevnosti	123
6.13.3	Posudek stability	124
6.14	PODÉLNÁ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA	127
6.14.2	Posudek pevnosti	128
6.14.3	Posudek stability	129
6.15	PŘÍČNÁ STŘEŠNÍ ZTUŽIDLA	130
6.15.2	Posudek pevnosti	131
6.15.3	Posudek stability	132
7	NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ VYBRANÝCH STYČNÍKŮ	133
7.1	PŘÍPOJ VAZNÍKU NA SLOUP POMOCÍ ČEPOVÉHO SPOJE	133
7.1.1	Posouzení čepu	133
7.1.2	Posouzení svarů čepového spoje	135
7.1.3	Posouzení plechů čepu	137
7.2	PŘIPOJENÍ SLOUPU A PATKY	140
7.2.1	Kotevní šrouby	140
7.2.2	Patní plech	142
7.2.3	Svary kolem sloupu	145
7.3	PŘÍPOJ VZPĚRY KE SLOUPU	147
7.3.1	Svarový spoj mezi vzpěrrou a plechem	147
7.3.2	Šroubový spoj mezi vzpěrrou a plechem	148

7.3.3	Svarový spoj mezi plechem a sloupem	149
7.4	PŘÍPOJ VAZNICE K VAZNÍKU	152
7.4.1	Svarový spoj mezi diagonálou a styčnickovým plechem	152
7.4.2	Svarový spoj mezi horním pásem vaznice a čelní deskou	153
7.4.3	Svarový spoj mezi horním pásem vaznice a čelní deskou	154
7.4.4	Šroubový spoj přes čelní desku	157
8	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	161
8.1	SVISLÉ PRŮHYBY	161
8.2	VODOROVNÉ PRŮHYBY	162
	LITERATURA	163

SEZNAM OBRÁZKŮ

Kapitola 1

Obr. 1.1: Výsledná nosná konstrukce zastřešení fotbalové tribuny.....	13
Obr. 1.2: Rozdělení konstrukce na segmenty	14
Obr. 1.3: Model příhradového vazníku	14
Obr. 1.4: Ztužidlo se zkříženými diagonálami	15

Kapitola 2

Obr. 2.1: Schéma roznosu zatížení $gk_{střešní plášť}$ na segment č. 4.....	18
Obr. 2.2: Schéma roznosu zatížení $gk_{podhled,v1}$ na segment č. 4.....	18
Obr. 2.3: Schéma roznosu plošného zatížení podhledu 1 na spojitě zatížení.....	19
Obr. 2.4: Schéma roznosu zatížení $gk_{podhled,v2}$ na segment č. 4.....	19
Obr. 2.5: Průmět zatížení sněhem na šikmou rovinu střechy	21
Obr. 2.6: Schéma roznosu zatížení sněhem na segment č. 4.....	22
Obr. 2.7: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 5 - plný.....	22
Obr. 2.8: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 6 – levá	23
Obr. 2.9: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 7 – pravá	23
Obr. 2.10: Určení referenční výšky objektu	25
Obr. 2.11: Půdorysné schéma konstrukce pro určení referenční výšky objektu	25
Obr. 2.12: Schéma uvažovaných výšek průřezů pod přístřeškem.....	29
Obr. 2.13: Půdorysné schéma oblasti výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3] pro směr větru zepředu a zezadu.....	30
Obr. 2.14: Půdorysné schéma oblasti výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3] pro směr větru zleva a zprava	30
Obr. 2.15: Půdorysné schéma idealizovaných oblasti výsledného tlaku $w_{p,net,max}$	32
Obr. 2.16: Půdorysné schéma idealizovaných oblasti výsledného sání $w_{p,net,\varphi}$	32
Obr. 2.17: Schéma roznosu zatížení větrem od výsledného tlaku $w_{p,net,max}$ na segment č. 4	33
Obr. 2.18: Schéma roznosu zatížení větrem od výsledného sání $w_{p,net,max}$ na segment č. 4	34
Obr. 2.19: Umístění působíště síly pro pultové stěny (převzato z [3]).....	34
Obr. 2.20: Schéma roznosu zatížení větrem zepředu od vnější síly $F_{f,\varphi,max}$ na segment č. 4	35
Obr. 2.21: Schéma roznosu zatížení větrem zezadu od vnější síly $F_{f,\varphi,max}$ na segment č. 4	36
Obr. 2.22: Schéma roznosu zatížení větrem zepředu od vnější síly $F_{f,\varphi}$ na segment č. 4 .	37

Obr. 2.23: Schéma roznosu zatížení větrem zezadu od vnější síly $F_{f,\varphi}$ na segment č. 4	37
Obr. 2.24: Schéma přední oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]	38
Obr. 2.25: Schéma roznosu zatížení větrem od volné stěny zepředu na segment č. 4	39
Obr. 2.26: Schéma zadní oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]	40
Obr. 2.27: Schéma roznosu zatížení větrem od volné stěny zezadu na segment č. 4	40
Obr. 2.28: Schéma boční oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]	41
Obr. 2.29: Schéma plošného zatížení větrem na levou boční stěnu, segment č. 1	41
Obr. 2.30: Schéma roznosu zatížení větrem na levou boční stěnu, segment č. 1	42
Obr. 2.31: Schéma plošného zatížení větrem na pravou boční stěnu, segment č. 7	42
Obr. 2.32: Schéma roznosu zatížení větrem na pravou boční stěnu, segment č. 7	43
Obr. 2.33: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru zepředu	44
Obr. 2.34: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru zepředu	45
Obr. 2.35: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru zezadu	46
Obr. 2.36: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru zezadu	46
Obr. 2.37: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru z pravé strany	47
Obr. 2.38: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru z pravé strany	47
Obr. 2.39: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru z levé strany	48
Obr. 2.40: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru z levé strany.	48
Obr. 2.41: Rozdělení konstrukce na dilatační úseky	49
Kapitola 6	
Obr. 6.1: Posouzené prvky nosné konstrukce	62
Obr. 6.2: Zvýrazněný posuzovaný sloup SL2	63
Obr. 6.3: Vnitřní síly na posuzovaném sloupu SL2	63
Obr. 6.4: Průřez TR KR 355.6X25	64
Obr. 6.5: Zvýrazněný posuzované táhlo T4	69
Obr. 6.6: Vnitřní síly na posuzovaném táhle T4	69
Obr. 6.7: Průřez TR KR 355.6X10	70
Obr. 6.8: Zvýrazněná posuzovaná vzpěra Z63	73
Obr. 6.9: Vnitřní síly na posuzované vzpěře Z63	73
Obr. 6.10: Průřez TR KR 152.4X8	74
Obr. 6.11: Zvýrazněné posuzované ztužidlo Z140	78
Obr. 6.12: Vnitřní síly na posuzovaném ztužidle Z140	78
Obr. 6.13: Průřez TR KR 127X8	79

Obr. 6.14: Náběhovaná střední část vazníku	83
Obr. 6.15: Zvýrazněný posuzovaný dolní pás vazníku	83
Obr. 6.16: Vnitřní síly na posuzovaném dolním pásu	84
Obr. 6.17: Složený průřez.....	84
Obr. 6.18: Průběh smykového napětí složeného průřezu	85
Obr. 6.19: Zvýrazněný posuzovaný horní pás vazníku	92
Obr. 6.20: Vnitřní síly na posuzovaném horním pásu H15	92
Obr. 6.21: Průřez T 350X350	93
Obr. 6.22: Zvýrazněná posuzovaná svislice vazníku S22	97
Obr. 6.23: Vnitřní síly na posuzované svislice vazníku S22	97
Obr. 6.24: Průřez TR KR 219.1X12.5	97
Obr. 6.25: Zvýrazněná posuzovaná diagonála vazníku D34	100
Obr. 6.26: Vnitřní síly na posuzované diagonále vazníku D34.....	100
Obr. 6.27: Průřez TR KR 193.7X10.....	101
Obr. 6.28: Zvýrazněný dolní pás vaznice VB22	103
Obr. 6.29: Vnitřní síly na posuzovaném dolním pásu vaznice VB22	103
Obr. 6.30: Průřez TR 4HR 100/100/6	104
Obr. 6.31: Zvýrazněný posuzovaný horní pás vaznice VH44.....	109
Obr. 6.32: Vnitřní síly na posuzovaném horním pásu vaznice VH44.....	109
Obr. 6.33: Průřez TR 4HR 100/100/6	110
Obr. 6.34: Zvýrazněná svislice vaznice VS324.....	115
Obr. 6.35: Vnitřní síly na posuzované svislici vaznice VS324	115
Obr. 6.36: Průřez TR KR 76.1X6.....	116
Obr. 6.37: Zvýrazněná posuzovaná diagonála vazníku VD371	119
Obr. 6.38: Vnitřní síly na posuzované diagonále VD371	119
Obr. 6.39: Průřez TR KR 76.1X6.....	120
Obr. 6.40: Zvýrazněný posuzovaný stabilizační prvek ST21.....	122
Obr. 6.41: Vnitřní síly na posuzovaném stabilizačním prvku ST21	122
Obr. 6.42: Průřez TR 4HR 80/80/4	123
Obr. 6.43: Zvýrazněné posuzované podélně střešní ztužidlo Z23.....	127
Obr. 6.44: Vnitřní síly na posuzovaném podélném střešním ztužidle Z23	127
Obr. 6.45: Průřez KR30.....	128
Obr. 6.46: Zvýrazněné posuzované střešní ztužidlo.....	130
Obr. 6.47: Vnitřní síly na posuzovaném příčném střešním ztužidle Z124	130

Obr. 6.48: Průřez KR30	131
Kapitola 7	
Obr. 7.1: Přípoj vazníku na sloup pomoci čepového spoje	133
Obr. 7.2: Geometrie plechu	135
Obr. 7.3: Spodní plech.....	137
Obr. 7.4: Horní plech.....	138
Obr. 7.5: Připojení sloupu a patky.....	140
Obr. 7.6: Předpoklad efektivní plochy kruhového uzavřeného průřezu.....	143
Obr. 7.7: Plocha svaru	145
Obr. 7.8: Vyznačené posuzované místa	146
Obr. 7.9: Přípoj vzpěry ke sloupu.....	147
Obr. 7.10: Svarový přípoj mezi plechem a sloupem	149
Obr. 7.11: Vyznačený svar	152
Obr. 7.12: Vyznačení svarového spoje.....	153
Obr. 7.13: Vyznačení svarového spoje.....	154
Obr. 7.14: Šroubový spoj.....	157
Obr. 7.15: Pohled na čelní desku.....	158
Kapitola 8	
Obr. 8.1: Maximální svislé posuny u_z	Chyba! Záložka není definována.

SEZNAM TABULEK

Kapitola 1

Tab. 1.1: Tuhost podpor.....	15
-------------------------------------	----

Kapitola 2

Tab. 2.1: Konstrukce střešního pláště.....	17
Tab. 2.2: Konstrukce podhledu, varianta 1	18
Tab. 2.3: Konstrukce podhledu, varianta 2	19
Tab. 2.4: Doporučené hodnoty součinitele pro různé typy krajín (převzato z normy [2]).	20
Tab. 2.5: Doporučené hodnoty součinitele pro různé typy krajín (převzato z normy [2]).	21
Tab. 2.6: Zatížení sněhem.....	21
Tab. 2.7: Tabulka výchozí základní rychlostí větru v_{b0} (převzato z normy [3])	24
Tab. 2.8: Kategorie terénu a jejich parametry (převzato z [3])	26
Tab. 2.9: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro směr větru zepředu a zezadu	29
Tab. 2.10: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro směr zleva a zprava	29
Tab. 2.11: Hodnoty součinitelů tlaku $c_{p,net}$ pro volně stojící stěny	38
Tab. 2.12: Součinitel tření c_{fr} pro stěny, zábradlí a povrchy střech.....	44

Kapitola 3

Tab. 3.1: Zatěžovací stavy z programu Scia Engineer	50
Tab. 3.2: Skupina zatížení z programu Scia Engineer.....	50

Kapitola 4

Tab. 4.1: Výpis zadaných kombinací pro MSÚ z programu SCIA Engineer.....	51
Tab. 4.2: Výpis zadaných kombinací pro MSP z programu SCIA Engineer	53

Kapitola 5

Tab. 5.1: Vnitřní síly - globální extrémy sil, sloupy.....	56
Tab. 5.2: Vnitřní síly - globální extrémy sil, táhla.....	56
Tab. 5.3: Vnitřní síly - globální extrémy sil, vzpěry	56
Tab. 5.4: Vnitřní síly - globální extrémy sil, podélná ztužidla	57
Tab. 5.5: Vnitřní síly - globální extrémy sil, dolní pásy vazníků	57
Tab. 5.6: Vnitřní síly - globální extrémy sil, horní pásy vazníků	57
Tab. 5.7: Vnitřní síly - globální extrémy sil, svislice vazníků.....	58
Tab. 5.8: Vnitřní síly - globální extrémy sil, diagonály vazníků	58
Tab. 5.9: Vnitřní síly - globální extrémy sil, dolní pásy vaznic	59
Tab. 5.10: Vnitřní síly - globální extrémy sil, horní pásy vaznic	59

Tab. 5.11: Vnitřní síly - globální extrémy sil, svislice vaznic	59
Tab. 5.12: Vnitřní síly - globální extrémy sil, diagonály vaznic	60
Tab. 5.13: Vnitřní síly - globální extrémy sil, stabilizační prvky vaznic	60
Tab. 5.14: Vnitřní síly - globální extrémy sil, podélná střešní ztužidla.....	61
Tab. 5.15: Vnitřní síly - globální extrémy sil, příčná ztužidla.....	61

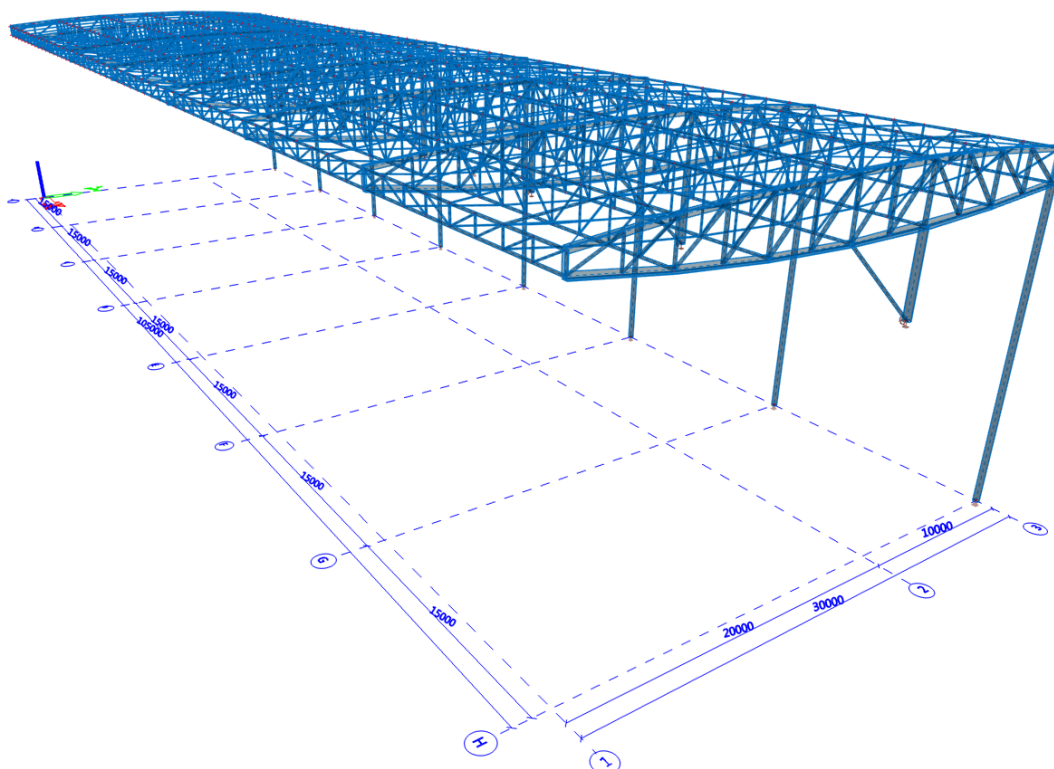
1 Konstrukční systém a geometrie

1.1 Základní údaje

Půdorysné rozměry nosné konstrukce:	105 x 30 m
Výška nosné konstrukce:	20,5 m
Celková výška konstrukce:	28,9 m

Nosná konstrukce zastřešení fotbalové tribuny byla modelována v programu Scia Engineer 2013.1 jako konstrukce prostorově spolupůsobící složená z příhradových vazníků, příhradových vaznic, střešních a stěnových ztužidel, vzpěr, sloupů a táhel. Hlavním konstrukčním prvkem jsou vazníky, které určují kapkovitý tvar příčného řezu střechy. Střecha je podpírána sloupy a vzpěrami. Tahové reakce vazníků přejímají ocelová táhla ukotvená do pilot.

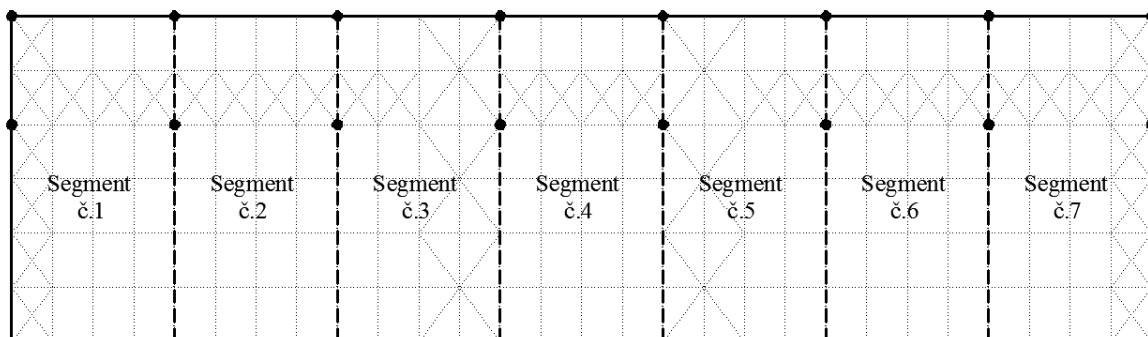
Osové schéma příhradových konstrukcí bylo vytvořeno v programu Autodesk Autocad 2012 a následně importováno do programu Scia Engineer. Modelovány a posuzovány byly pouze prvky hlavní nosné konstrukce.



Obr. 1.1: Výsledná nosná konstrukce zastřešení fotbalové tribuny

1.2 Půdorysné schéma

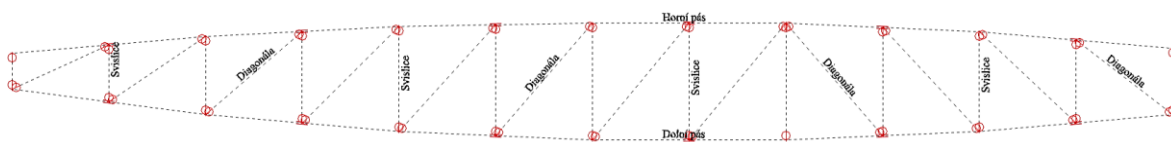
Půdorys je tvořen ze 7 segmentů (modulů), které jsou s ohledem na nosný systém spodní stavby osově vzdáleny po 15 metrech. Přední, vyložená část je dlouhá 20 metrů, zadní část 10 metrů.



Obr. 1.2: Rozdělení konstrukce na segmenty

1.3 Příhradové konstrukce

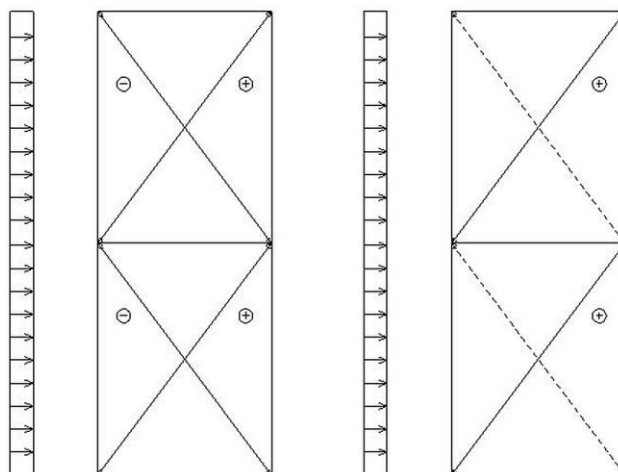
Při stanovení vnitřních sil jsou zanedbány podružné momenty od tuhých styčníků. Příhradová konstrukce je modelována s průběžnými pásovými pruty s kloubově připojenými svislicemi a diagonálami (**Obr. 1.3**).



Obr. 1.3: Model příhradového vazníku

1.4 Ztužidla

Pro zvýšení tuhosti celé konstrukce byla použita střešní a stěnová ztužidla. Střešní ztužidla využívají soustavu zkřížených diagonál. Vodorovná zatížení vyvolávají v diagonálách tahové i tlakové síly. Všechny střešní diagonály jsou navrženy jako tažené a to za předpokladu, že subtilní a tlačené diagonály vybočí a nepůsobí (**Obr. 1.4**).



Obr. 1.4: Ztužidlo se zkříženými diagonálami

1.5 Podpory

Podpory sloupů, které nesou střešní konstrukci, jsou modelovány jako vetknuté. Podpory táhel jsou ve výpočtovém modelu stanoveny jako kloubové.

Tab. 1.1: Tuhost podpor

Jméno	Uzel	X	Y	Z	R _x	R _y	R _z
1	N27	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
2	N55	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
3	N209	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
4	N335	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
5	N461	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
6	N587	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
7	N713	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
8	N839	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Tuhý
9	N28	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
10	N56	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
11	N210	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
12	N336	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
13	N462	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
14	N588	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný

Jméno	Uzel	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
15	N714	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
16	N840	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
17	N939	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný
18	N940	Tuhý	Tuhý	Tuhý	Volný	Volný	Volný

1.6 Klouby

Klouby jsou v modelu umístěny na střešních a stěnových ztužidlech, svislicích a diagonálách příhradových konstrukcí a vzpěrách. Klouby jsou na obou koncích prvku a umožňují pootočení kolem osy Y a Z lokální souřadné soustavy prvku.

1.7 Nonlinearity

Ve výpočtovém modelu byly použity nelinearity pro vyloučení působení tlaků u střešních podélných i příčných ztužidel. Nelineární kombinace byla vytvořena z lineární kombinace, která vyvozovala na ztužidlech největší namáhání.

2 Zatížení

2.1 Stálé zatížení

2.1.1 Vlastní tíha

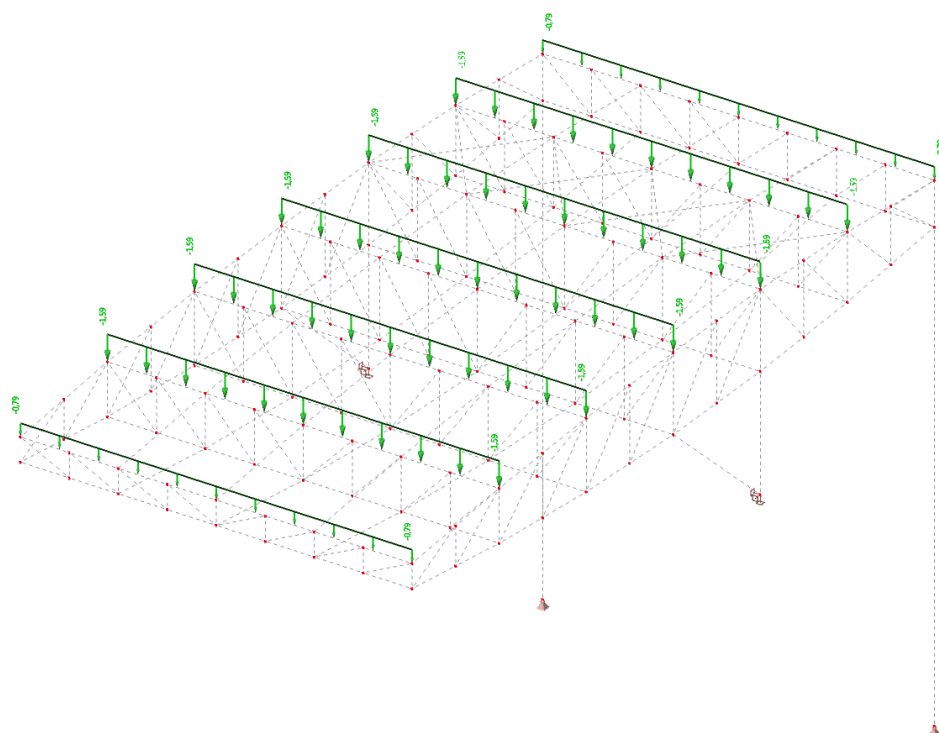
Vlastní tíha konstrukce byla automaticky spočítána programem Scia Engineer 2013.1.

2.1.2 Ostatní stálé zatížení

Plošné zatížení od konstrukce střešního pláště, působící na jednotlivé horní pásy vaznice v místě uložení, je modelováno jako spojitě zatížení (obr. 2.1). Hodnota zatížení závisí na roznášecí šířce, která danému prvku náleží.

Tab. 2.1: Konstrukce střešního pláště

Popis	Plošná hmotnost	$g_{k\text{střešní plášť}}$
Krytina z PVC-p folie Sikaplan 12G	$1,5 \text{ kg/m}^2$	$0,015 \text{ kN/m}^2$
1 x OSB deska tl. 18 mm, 600 kg/m^3	$10,8 \text{ kg/m}^2$	$0,108 \text{ kN/m}^2$
Trapézový plech CB 135/310 tl. 1,25 mm	$19,4 \text{ kg/m}^2$	$0,194 \text{ kN/m}^2$
? $g_{k\text{střešní plášť}} =$		$0,317 \text{ kN/m}^2$

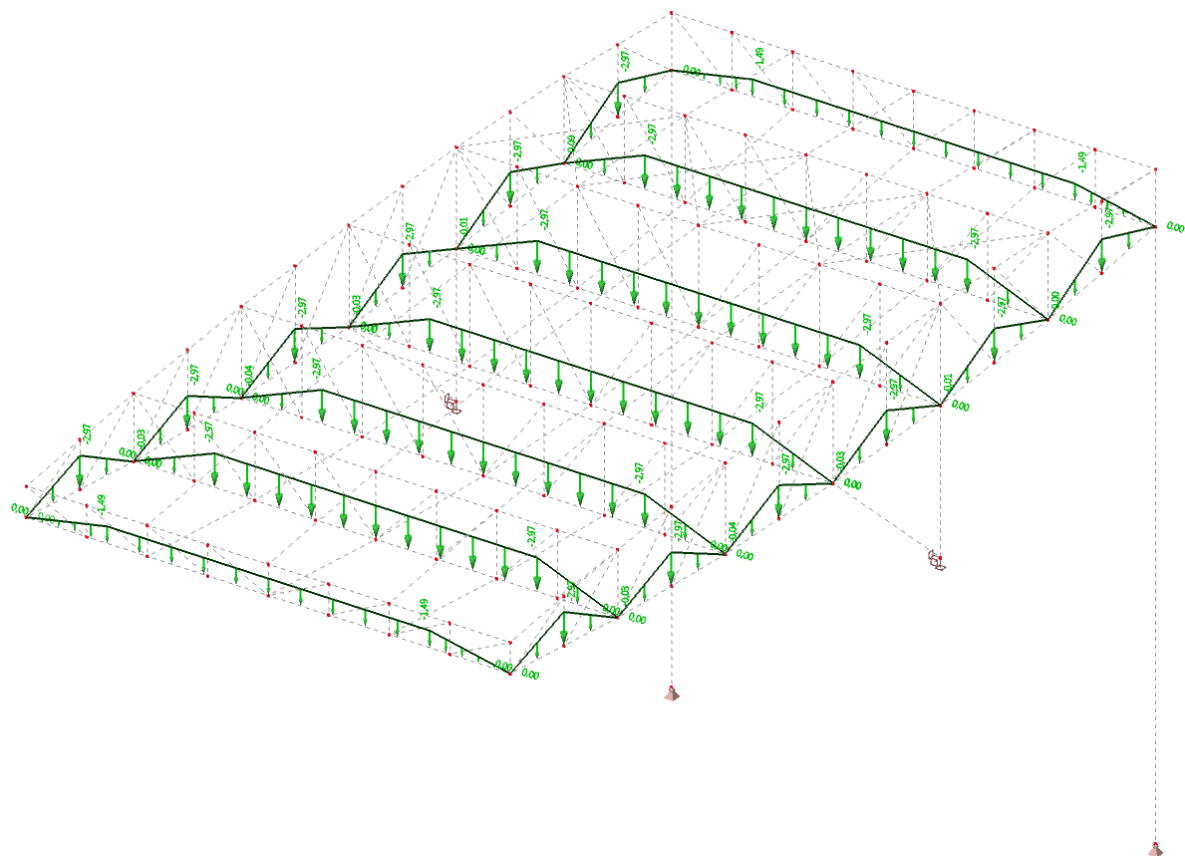


Obr. 2.1: Schéma roznosu zatížení $g_{k\text{střešní plášť}}$ na segment č. 4

Plošné zatížení od konstrukce podhledu varianty 1, působící na jednotlivé spodní pásy vaznice a na spodní pásy vazníků, je modelováno jako spojité zatížení (obr. 2.2). Rozklad plošného zatížení na spojité bylo generováno pomocí programu Scia Engineer 2013 (obr. 2.3).

Tab. 2.2: Konstrukce podhledu, varianta 1

Popis	Plošná hmotnost	$g_{k\text{podhled},v1}$
Ocelová nosný systém	50 kg/m ²	0,5 kN/m ²
Dřevěný obklad z cedrového dřeva tl. 20 mm, 470 kg/m ³	9,4 kg/m ²	0,094 kN/m ²
? $g_{k\text{podhled},v1} =$		0,594 kN/m ²



Obr. 2.2: Schéma roznosu zatížení $g_{k\text{podhled},v1}$ na segment č. 4

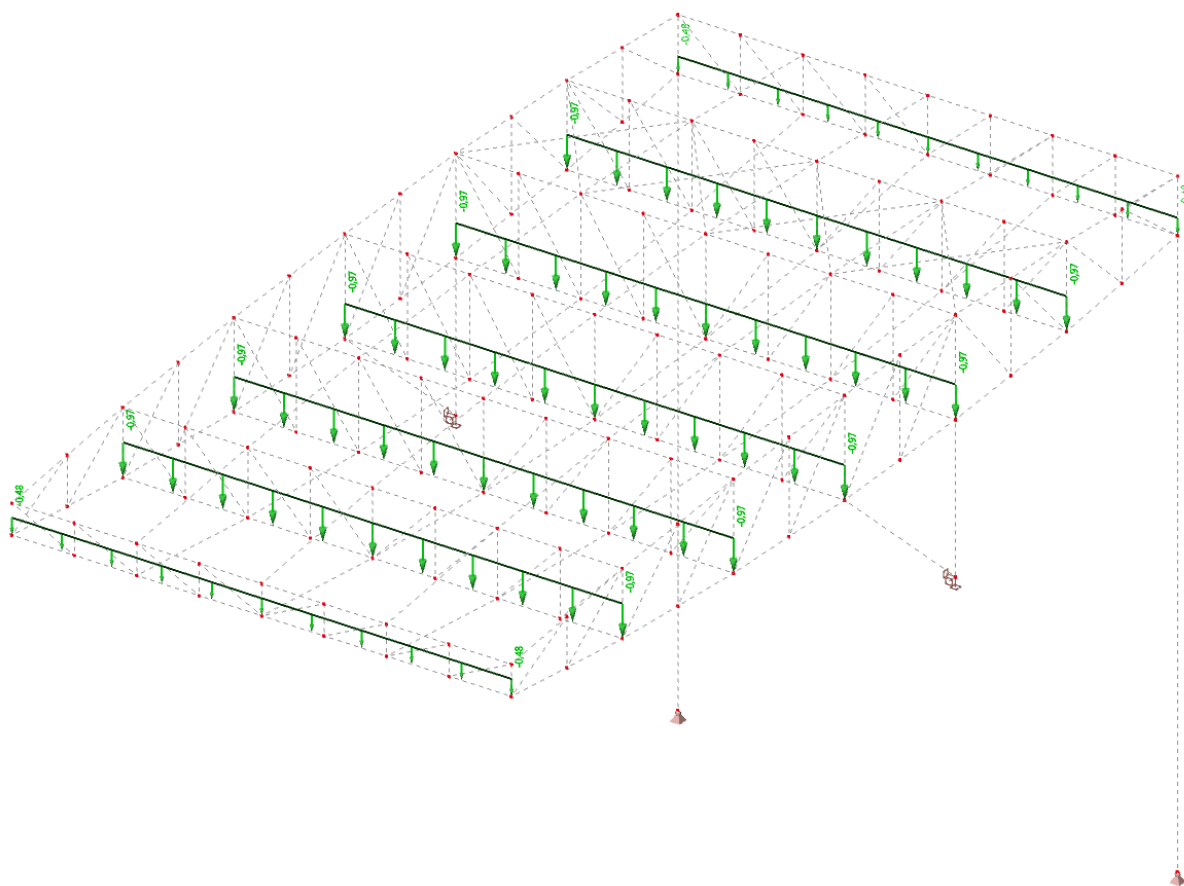


Obr. 2.3: Schéma roznosu plošného zatížení podhledu 1 na spojitě zatížení

Na rozdíl od varianty 1, kde plošné zatížení působí na spodní pásy vaznic a vazníků, u varianty 2 působí zatížení pouze na vaznice a to v místě uložení. Plošné zatížení je modelováno jako spojitě. Hodnota zatížení závisí na roznášecí šířce, která danému prvku náleží.

Tab. 2.3: Konstrukce podhledu, varianta 2

Popis	Plošná hmotnost	$g_{k_{podhled,v1}}$
Trapézový plech CB 135/310 tl. 1,25 mm	19,4 kg/m ²	0,194 kN/m ²
	? $g_{k_{podhled,v2}} =$	0,194 kN/m ²



Obr. 2.4: Schéma roznosu zatížení $g_{k_{podhled,v2}}$ na segment č. 4

2.2 Proměnné zatížení

2.2.1 Užité zatížení

Střešní konstrukce je navržena jako nepřístupná s výjimkou běžné údržby a oprav, kategorie zatížení H. Hodnota zatížení $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ je menší než hodnota od zatížení sněhem $s = 0,8 \text{ kN/m}^2$ a proto není ve statickém výpočtu uvažována podle ČSN EN 1991-1-1 [1], čl. 3.3.2.

2.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je stanoveno podle normy ČSN EN 1991-1-3 [2]. Pro trvalé/dočasné návrhové situace:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (2.1)$$

kde je μ_i tvarový součinitel zatížení sněhem,
 C_e součinitel expozice,
 C_t tepelný součinitel,
 s_k charakteristická hodnota zatížení sněhem v místě staveniště.

Parametry pro výpočet:

Sklon střechy $\alpha = 0^\circ$ (idealizovaná hodnota).

Součinitel zatížení sněhem $\mu_1 = 0,8$ (uvažováno pro idealizovanou hodnotu $\alpha = 0^\circ$).

Tab. 2.4: Doporučené hodnoty součinitele pro různé typy krajín (převzato z normy [2])

Sklon střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	-

Místo stavby Ostrava (sněhová oblast II).

Charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ (sněhová oblast II).

Tab. 2.5: Doporučené hodnoty součinitele pro různé typy krajín (převzato z normy [2])

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
kN/m^2	0,7	1	1,5	2	2,5	3	4	$> 4,0$
kg/m^2	70	100	150	200	250	300	400	> 480

Součinitel expozice $C_e = 1,0$ (doporučená hodnota).

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$ (doporučená hodnota).

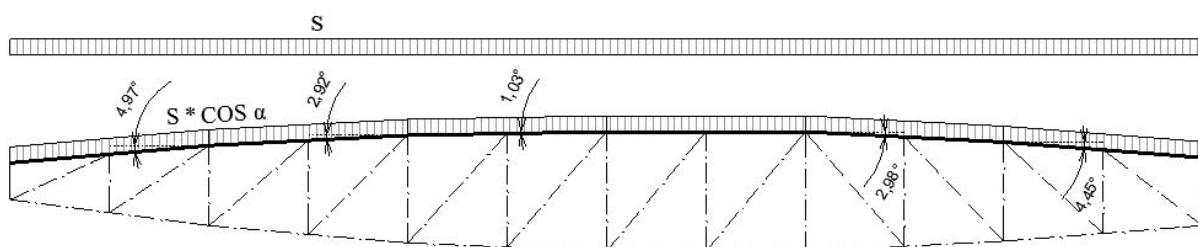
Dosažením do vzorce (2.1) bylo spočteno plošné zatížení sněhem:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2.$$

Tab. 2.6: Zatížení sněhem

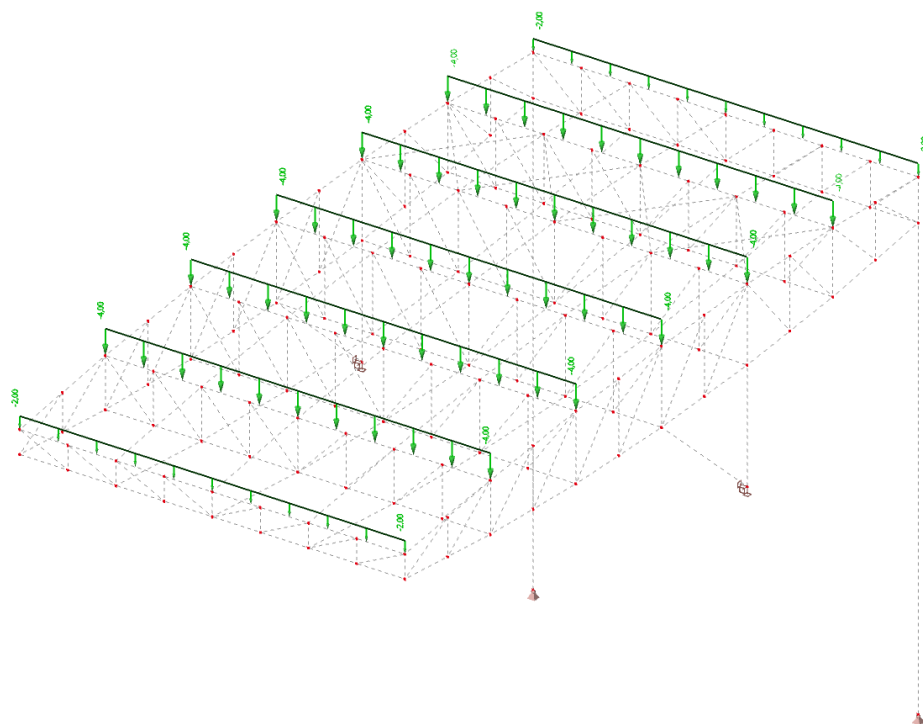
Popis	s	
Zatížení sněhem	$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 =$	$0,8 \text{ kN/m}^2$
	$? s =$	$0,8 \text{ kN/m}^2$

Norma ČSN EN 1991-1-3 [2] předpokládá působení sněhu jako zatížení vztažené na půdorysnou plochu střechy. Vzhledem k tomu, že se střešní plášť v řezu skládá z polygonu, který má jednotlivé části od sebe vychýlené nanejvýše o $4,97^\circ$ a $\cos(4,97^\circ) = 0,9963 \sim 1,0$, počítá se s plným zatížením i ve svislém průmětu na šikmou rovinu střechy (obr. 2.6).



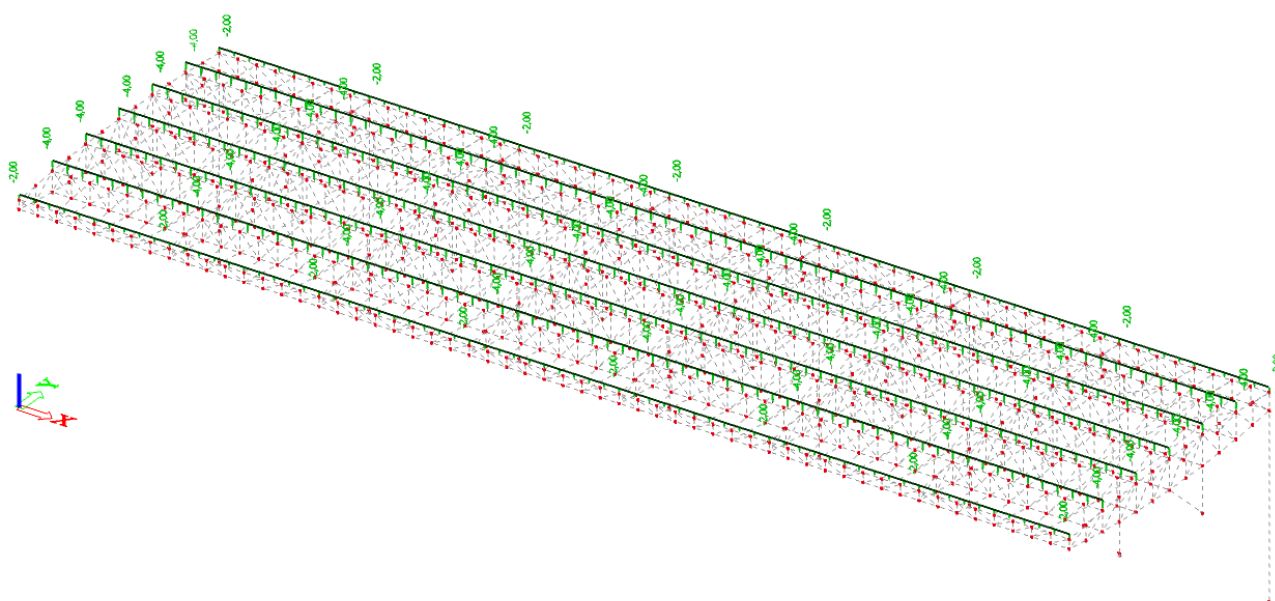
Obr. 2.5: Průmět zatížení sněhem na šikmou rovinu střechy

Plošné zatížení od sněhu je modelováno jako spojité zatížení, které působí na podpory střešního pláště a to na horní pásy vaznic (Obr. 2.7).

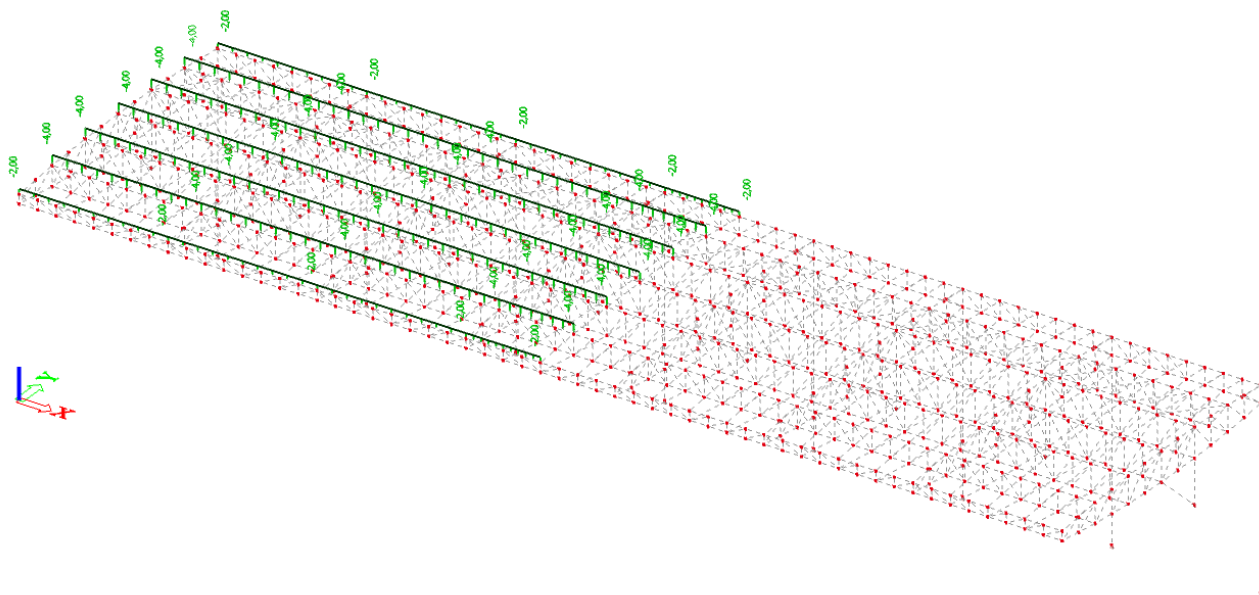


Obr. 2.6: Schéma roznosu zatížení sněhem na segment č. 4

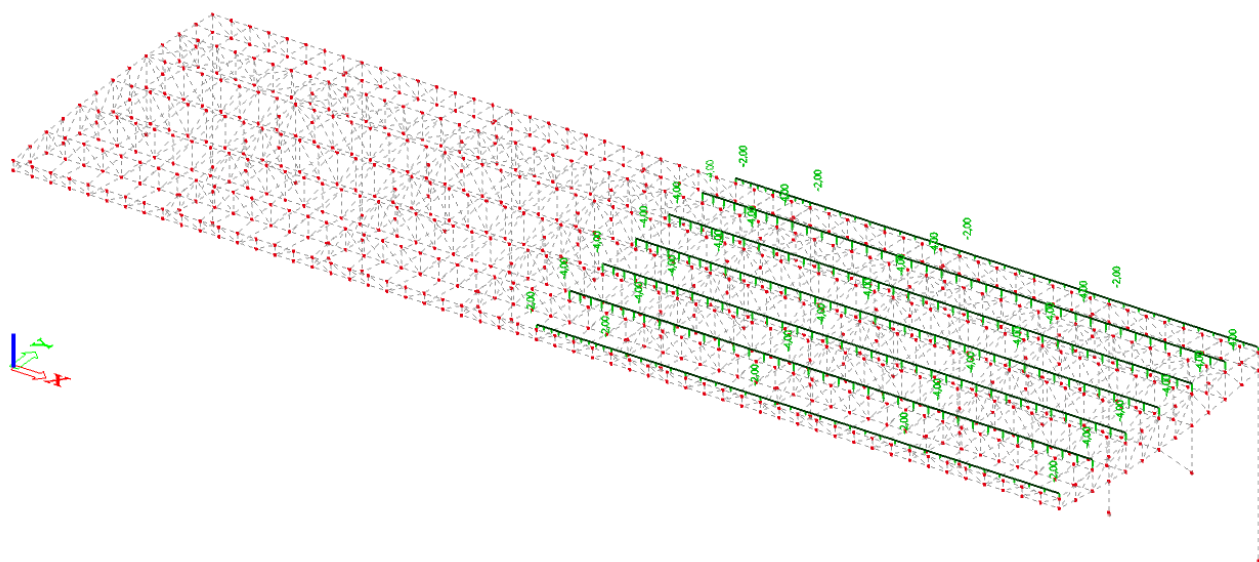
Zatížení sněhem je ve statickém výpočtu rozděleno do tří zatěžovacích stavů. LC 5 - sníh plný, kde je konstrukce zatížena v celé půdorysné ploše (obr. 2.8). LC 6 - sníh - levá, kde je zatížena levá polovina konstrukce (obr. 2.9). LC 7 - sníh - pravá, kde je zatížena pravá polovina konstrukce (obr. 2.10).



Obr. 2.7: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 5 - plný



Obr. 2.8: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 6 – levá



Obr. 2.9: Schéma roznosu zatížení sněhu v zatěžovacím stavu LC 7 – pravá

2.2.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem je spočítána podle normy ČSN EN 1991-1-4 [3]. Jedním ze základních parametrů pro určení zatížení konstrukcí větrem je maximální dynamický tlak q_p , který závisí na střední rychlosti větru v_b a krátkodobé turbulenční složce I_v . Maximální

tlak je dále ovlivněn povětrnostními podmínkami zadané lokality, místními vlivy (např. drsnost terénu $c_r(z)$ a orografie oblasti $c_o(z)$), a výškou nad terénem z_e . Pro tlak větru na konstrukci jsou dále spočítány vnější součinitele tlaku c_{pe} a součinitele výsledného tlaku $c_{p,net}$.

Základní rychlost větru

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b0}, \quad (2.2)$$

kde je C_{dir} součinitel směru větru,
 C_{season} součinitel ročního období,
 v_{b0} základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v terénu kategorie II, definována jako funkce směru větru ročního období.

Součinitel směru větru $C_{dir} = 1,0$ (doporučená hodnota)
 Součinitel ročního období $C_{season} = 1,0$ (doporučená hodnota)
 Základní rychlost větru $v_{b0} = 25$ m/s (větrná oblast II)

Tab. 2.7: Tabulka výchozí základní rychlostí větru v_{b0} (převzato z normy [3])

Oblast	I	II	III	IV	V
Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$	22,5	25	27,5	30	36

Dosazením do vzorce (2.2) byla spočítaná hodnota základní rychlosti větru:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}.$$

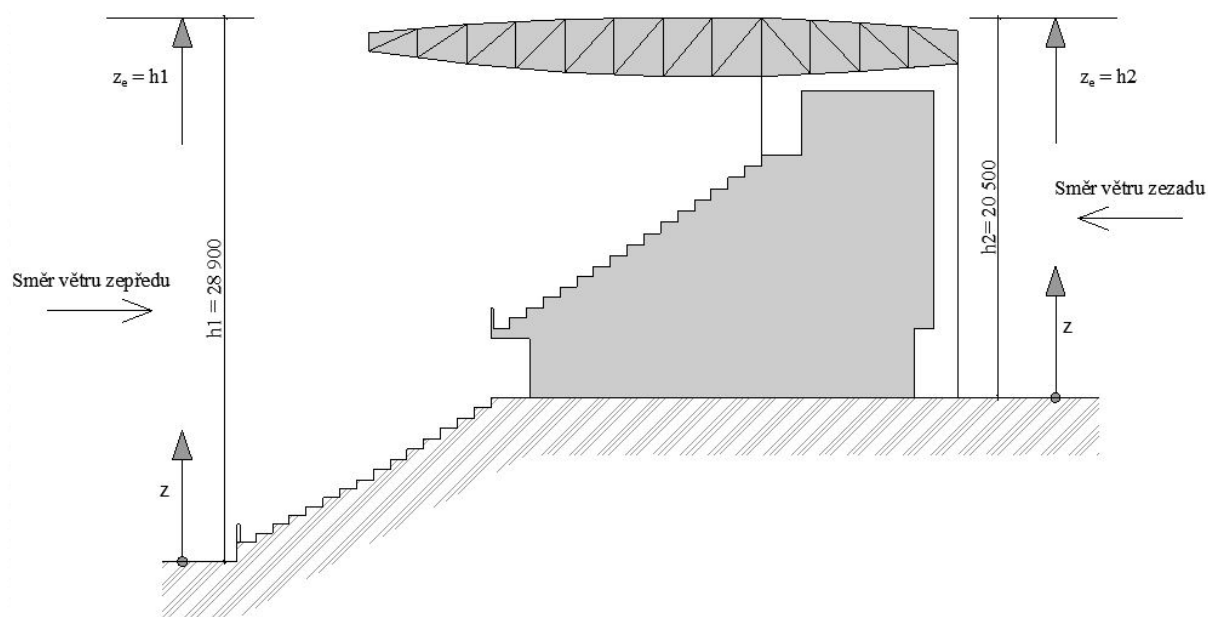
Referenční výška objektu

Norma [3] stanovuje, že referenční výška z_e pro návětrné stěny pozemních staveb závisí na poměru stran h/b a výšce h odpovídající hornímu okraji příslušné strany stěny. Pokud je výška objektu h rovna nebo menší než strana kolmá na směr větru b , tak se referenční výška z_e rovná výšce objektu h .

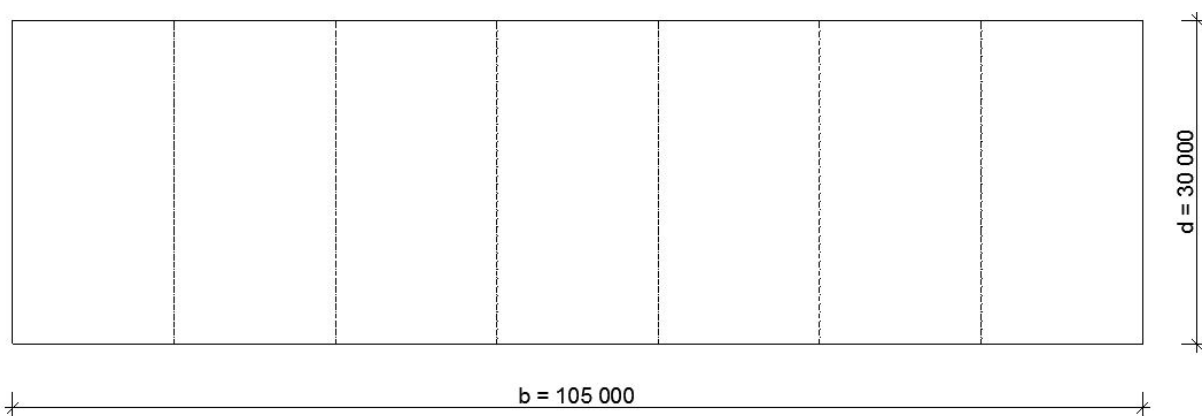
$$h_1 = 28,9 \text{ m} \leq b = 105 \text{ m}$$

$$h_2 = 20,5 \text{ m} \leq b = 105 \text{ m}$$

V našem případě se referenční výška ve směru větru zepředu $z_1 = 28,9$ m a ve směru větru zezadu $z_2 = 20,5$ m.



Obr. 2.10: Určení referenční výšky objektu



Obr. 2.11: Půdorysné schéma konstrukce pro určení referenční výšky objektu

Kategorie terénu

Z normové tabulky (tab. 2.7) je určena kategorii terénu číslo 3 - oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20ti násobek výšky překážky (vesnice, předměstský terén).

Tab. 2.8: Kategorie terénu a jejich parametry (převzato z [3])

Tabulka - hlavička	z_0 (m)	z_{min} (m)
0 - Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
1 - Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
2 - Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážky	0,05	2
3 - Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážky (vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
4 - Oblasti, ve kterých je nejméně 15% povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15m	1	10

Místo stavby se nachází v obci Ostrava a popis okolního terénu se nejvíce podobá vybrané kategorii terénu číslo 3.

Drsnost terénu

Součinitel drsnosti terénu lze zapsat pro $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ jako:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0), \quad (2.3)$$

kde je z referenční výška nad terénem (v tomto případě z_1 a z_2),
 z_0 parametr drsnosti terénu,
 z_{min} minimální výška,
 z_{max} maximální výška rovna 200 m,
 k_r součinitel terénu.

Součinitel terénu k_r závisí na parametru z_0 podle vztahu:

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}, \quad (2.4)$$

kde $z_{0,II} = 0,05$ m (terén kategorie II).

Dosazením hodnot uvedené v tab. 2.8 do vztahu (2.4) je součinitel drsnosti:

$$k_r = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215,$$

Získaná hodnota k_r se dosadí zpátky do vzorce (2.3):

pro směr větru zepředu: $c_r(z_1) = 0,215 \cdot \ln(28,9/0,3) = 0,984$,

pro směr větru zezadu: $c_r(z_2) = 0,215 \cdot \ln(20,5/0,3) = 0,910$.

Orografie terénu

Součinitel orografie terénu $c_o(z)$ se rovná 1,0, protože se místo stavby nenachází na izolovaném kopci, hřebenu, srazu nebo strmém kopci.

Střední rychlost větru

Střední rychlost větru $v_m(z)$ ve výšce $z_{1,2}$ nad terénem je ovlivněna součinitelem drsnosti terénu a součinitelem orografie.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b, \quad (2.5)$$

pro směr větru zepředu: $v_m(z_1) = 0,984 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,6 \text{ m/s}$,

pro směr větru zezadu: $v_m(z_2) = 0,910 \cdot 1,0 \cdot 25 = 22,7 \text{ m/s}$.

Intenzita turbulence

Intenzita turbulence $I_v(z)$ ve výšce z je definována jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru.

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)}, \quad (2.6)$$

kde je k_1 součinitel turbulence (doporučená hodnota 1,0),

$c_o(z)$ součinitel orografie podle referenční výšky z_e ,

pro směr větru zepředu:

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(28,9/0,3)} = 0,219$$

pro směr větru zezadu:

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(20,5/0,3)} = 0,237$$

Maximální dynamický tlak

Se stanoví ze vztahu

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \quad (2.7)$$

kde je $I_v(z)$ Intenzita turbulence,

ρ měrná hmotnost vzduchu ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$),

$v_m(z)$ střední rychlost větru,

pro směr větru zepředu: $q_p(z_1) = [1 + 7 \cdot 0,219] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24,6^2 = 958 \text{ Pa}$

pro směr větru zezadu: $q_p(z_2) = [1 + 7 \cdot 0,237] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,7^2 = 859 \text{ Pa}$

Tlak větru na opláštění střechy - přístřešek

Tlak působící směrem k povrchu je uvažován jako kladný, sání působící směrem od povrchu jako záporné. Tlak větru w_e se vypočte jako součin maximálního tlaku $q_p(z)$ a součinitele vnějšího tlaku c_{pe} podle vztahu:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (2.8)$$

kde je z_e referenční výška objektu

c_{pe} součinitel vnějšího tlaku

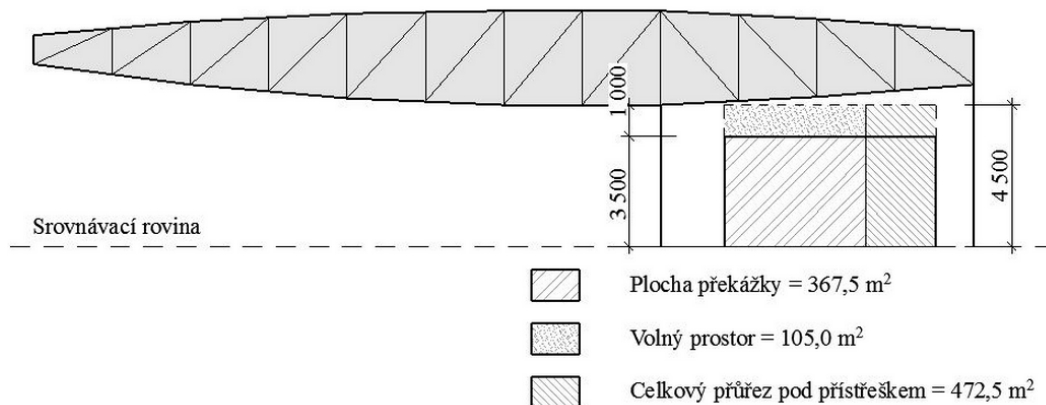
Hodnoty součinitele vnějšího tlaku c_{pe} ovlivňuje pro směr větru zepředu a zezadu součinitel plnosti φ , který se stanoví jako poměr plochy možných překážek pod přístřeškem a plochy průřezu pod přístřeškem, přičemž obě plochy jsou kolmé na směr větru. Pro zjednodušení je uvažována konstantní výška celkového průřezu pod přístřeškem.

$$\varphi = A_{\text{překážka}} / A_{\text{celková}} \quad (2.9)$$

Řez konstrukcí přístřešku je znázorněn na obr. 2.12. Celkové plochy dílčích částí jsou výsledkem součinu vyznačených výšek a celkovou šířkou konstrukce rovnou 105 m.

Dosazením vypočtených hodnot do vztahu (2.9) je spočteno:

$$\varphi = 367,5 / 472,5 = 0,778.$$



Obr. 2.12: Schéma uvažovaných výšek průřezů pod přístřeškem

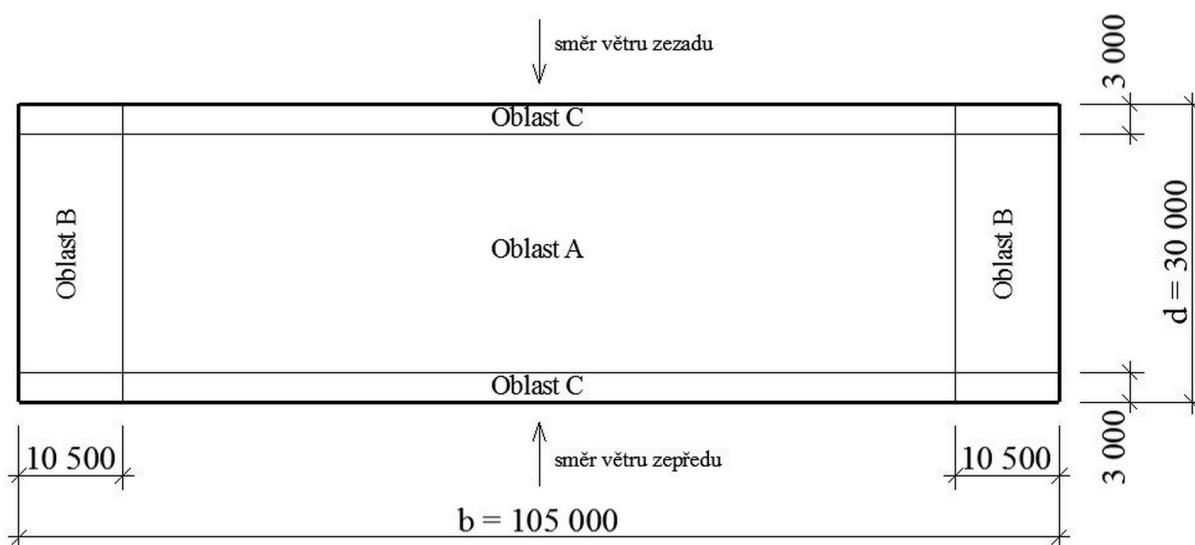
Součinitele celkové síly c_f a výsledného tlaku $c_{p,net}$ jsou uvedené v normě [3] pro $\varphi = 0$ a $\varphi = 1,0$. Mezilehlé hodnoty se určí interpolací (tab. 2.9). Pro zjednodušení výpočtu je idealizován sklon střechy na $\alpha = 0^\circ$.

Tab. 2.9: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro směr větru zepředu a zezadu

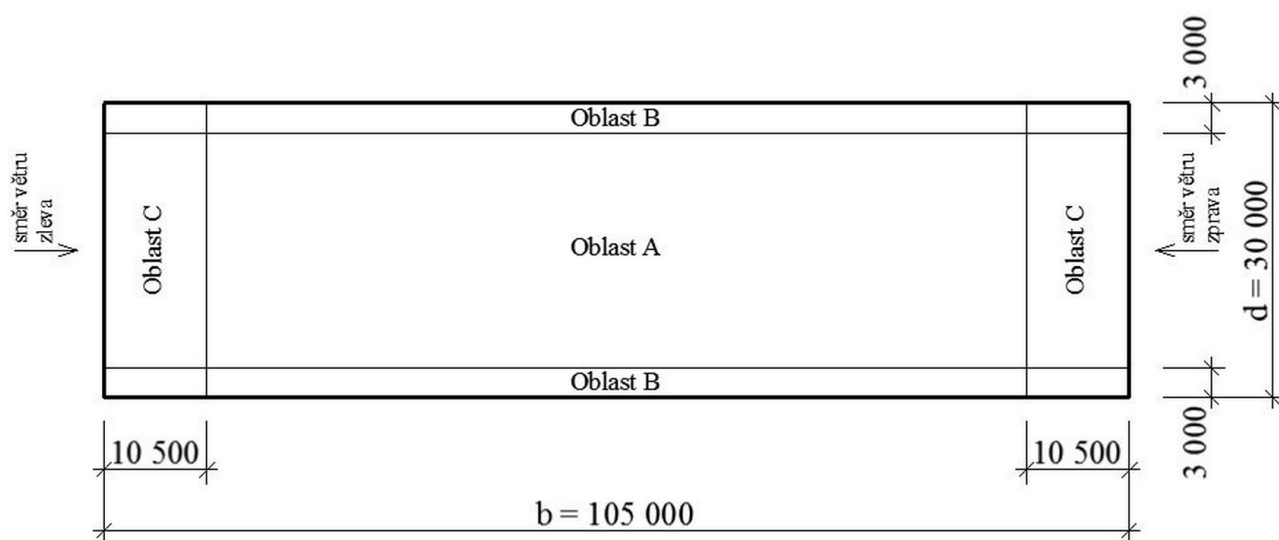
Úhel sklonu střechy α	Součinitel plnosti φ	Součinitel celkové síly c_f	Součinitel výsledného tlaku $c_{p,net}$		
			Oblast A	Oblast B	Oblast C
0°	Maximum všech φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	$\varphi = 0,778$	- 1,12	- 1,3	- 1,69	- 2,02
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2

Tab. 2.10: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a c_f pro směr zleva a zprava

Úhel sklonu střechy α	Součinitel plnosti φ	Součinitel celkové síly c_f	Součinitel výsledného tlaku $c_{p,net}$		
			Oblast A	Oblast B	Oblast C
0°	Maximum všech φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2



Obr. 2.13: Půdorysné schéma oblasti výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3] pro směr větru zepředu a zezadu



Obr. 2.14: Půdorysné schéma oblasti výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3] pro směr větru zleva a zprava

Norma [3] stanovuje pro přístřešky referenční výšku z_e rovnou největší vzdálenosti horního okraje střechy přístřešku od úrovně terénu. Pro výpočet je referenční výška stanovena podle směru větru. Pro směr větru zepředu, zleva a zprava se $z_e = h_1 = 28,9 \text{ m}$ (obr. 2.10) a z ní vyplývající dynamický tlak $q_p = 958 \text{ Pa}$, pro směr větru zezadu se $z_e = h_2 = 20,5 \text{ m}$ (obr. 2.10) a z ní vyplývající dynamický tlak $q_p = 859 \text{ Pa}$.

Dosažením do vzorce (2.8) je vypočteno plošné zatížení v jednotlivých oblastech přístřešku. Hodnoty pro směr větru zepředu:

$$w_{p,net,max,A} = c_{p,net,max,A} \cdot q_p(z) = 0,5 \cdot 958 = 479 \text{ N/m}^2 = 0,479 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,max,B} = c_{p,net,max,B} \cdot q_p(z) = 1,8 \cdot 958 = 1724 \text{ N/m}^2 = 1,724 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,max,C} = c_{p,net,max,C} \cdot q_p(z) = 1,1 \cdot 958 = 1054 \text{ N/m}^2 = 1,054 \text{ kN/m}^2.$$

$$w_{p,net,\varphi,A} = c_{p,net,\varphi,A} \cdot q_p(z) = -1,30 \cdot 958 = -1245 \text{ N/m}^2 = -1,245 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,\varphi,B} = c_{p,net,\varphi,B} \cdot q_p(z) = -1,69 \cdot 958 = -1619 \text{ N/m}^2 = -1,619 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,\varphi,C} = c_{p,net,\varphi,C} \cdot q_p(z) = -2,02 \cdot 958 = -1935 \text{ N/m}^2 = -1,935 \text{ kN/m}^2.$$

Hodnoty pro směr větru zezadu:

$$w_{p,net,max,A} = c_{p,net,max,A} \cdot q_p(z) = 0,5 \cdot 895 = 430 \text{ N/m}^2 = 0,430 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,max,B} = c_{p,net,max,B} \cdot q_p(z) = 1,8 \cdot 859 = 1546 \text{ N/m}^2 = 1,546 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,max,C} = c_{p,net,max,C} \cdot q_p(z) = 1,1 \cdot 859 = 945 \text{ N/m}^2 = 0,945 \text{ kN/m}^2.$$

$$w_{p,net,\varphi,A} = c_{p,net,\varphi,A} \cdot q_p(z) = -1,30 \cdot 859 = -1117 \text{ N/m}^2 = -1,117 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,\varphi,B} = c_{p,net,\varphi,B} \cdot q_p(z) = -1,69 \cdot 859 = -1451 \text{ N/m}^2 = -1,451 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,\varphi,C} = c_{p,net,\varphi,C} \cdot q_p(z) = -2,02 \cdot 859 = -1735 \text{ N/m}^2 = -1,735 \text{ kN/m}^2.$$

Hodnoty pro směr větru zleva a zprava:

$$w_{p,net,max,A} = c_{p,net,max,A} \cdot q_p(z) = 0,5 \cdot 958 = 479 \text{ N/m}^2 = 0,479 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,max,B} = c_{p,net,max,B} \cdot q_p(z) = 1,8 \cdot 958 = 1724 \text{ N/m}^2 = 1,724 \text{ kN/m}^2,$$

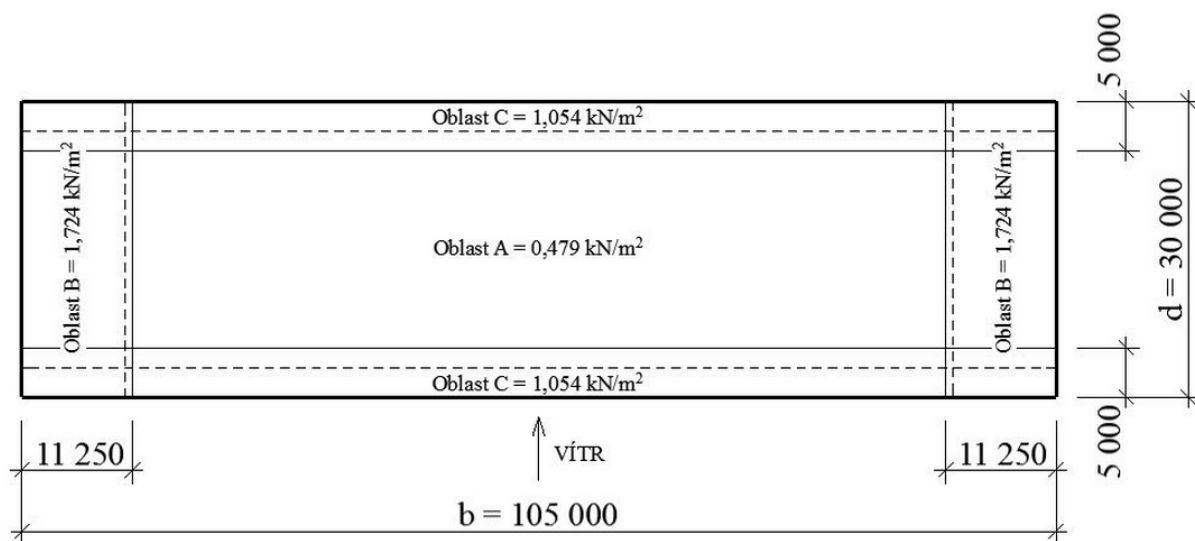
$$w_{p,net,max,C} = c_{p,net,max,C} \cdot q_p(z) = 1,1 \cdot 958 = 1054 \text{ N/m}^2 = 1,054 \text{ kN/m}^2.$$

$$w_{p,net,\varphi,A} = c_{p,net,\varphi,A} \cdot q_p(z) = -0,6 \cdot 958 = -575 \text{ N/m}^2 = -0,575 \text{ kN/m}^2,$$

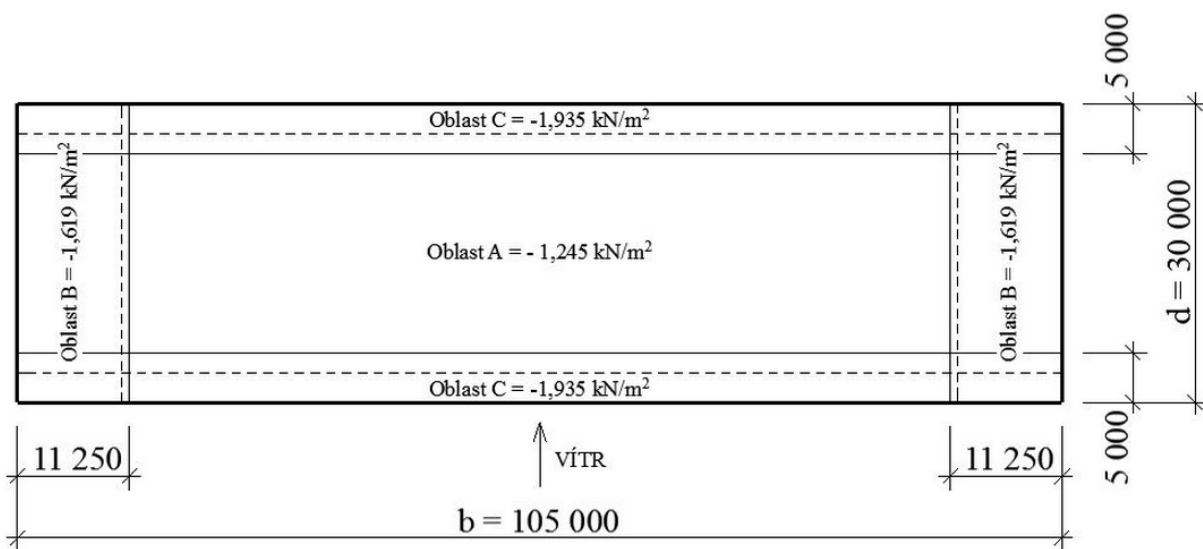
$$w_{p,net,\varphi,B} = c_{p,net,\varphi,B} \cdot q_p(z) = -1,3 \cdot 958 = -1245 \text{ N/m}^2 = -1,245 \text{ kN/m}^2,$$

$$w_{p,net,\varphi,C} = c_{p,net,\varphi,C} \cdot q_p(z) = -1,4 \cdot 958 = -1341 \text{ N/m}^2 = -1,341 \text{ kN/m}^2.$$

Oblasti výsledného působení tlaků a sání jsou idealizovány pro zjednodušení roznosu zatížení. Srovnání působení normových a idealizovaných oblastí jsou na obr. 2.15 a obr. 2.16. Idealizace oblasti byla provedena u všech směru a působení větru.

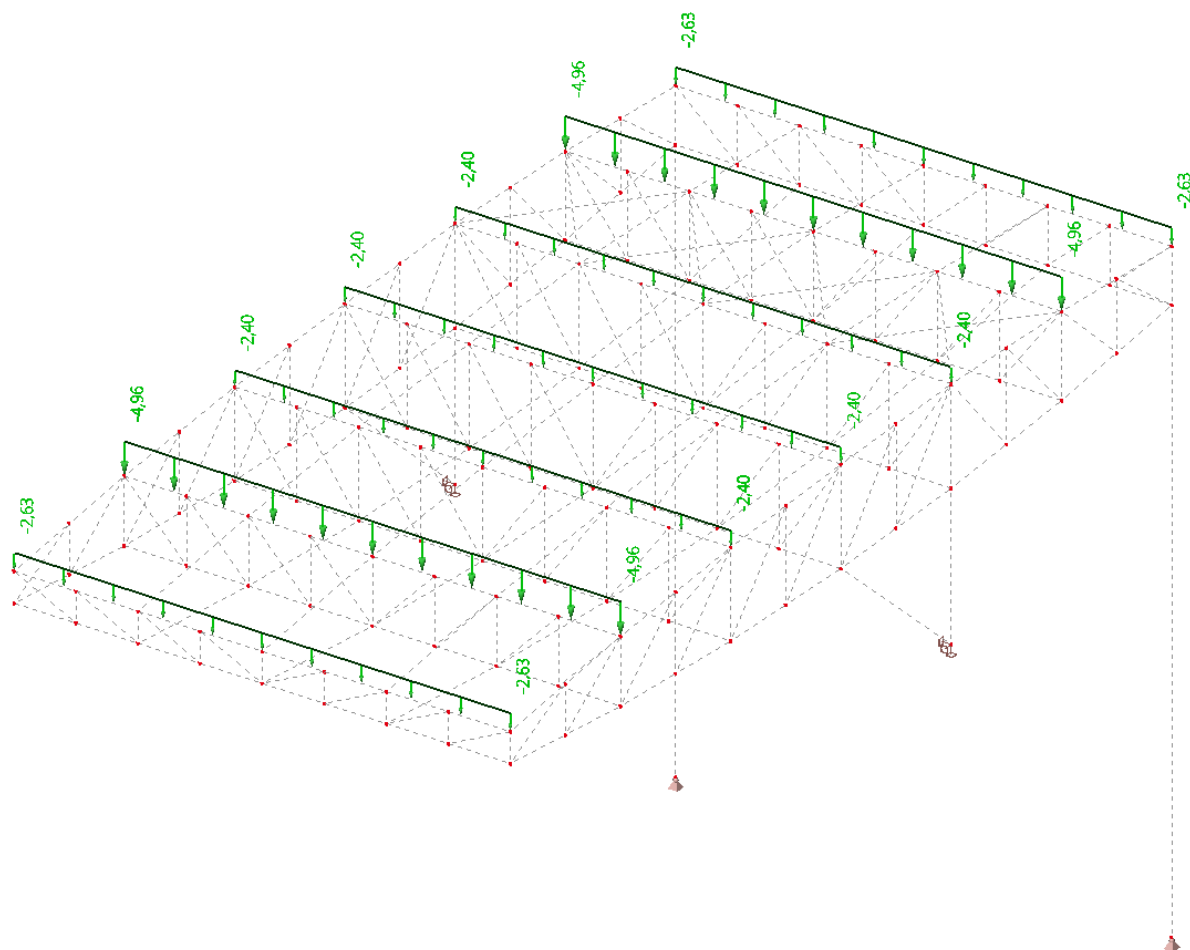


Obr. 2.15: Půdorysné schéma idealizovaných oblastí výsledného tlaku $w_{p,net,max}$



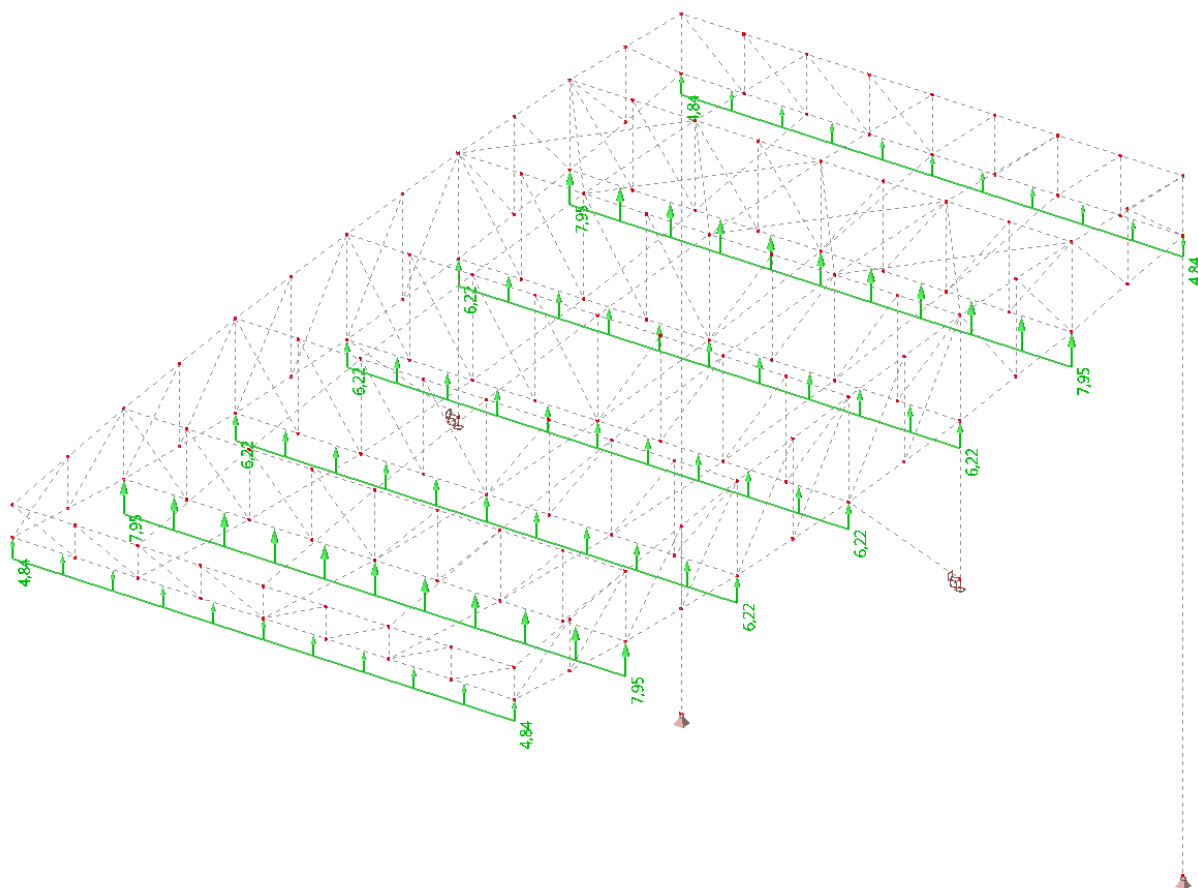
Obr. 2.16: Půdorysné schéma idealizovaných oblastí výsledného sání $w_{p,net,\varphi}$

Plošné zatížení větrem od výsledného tlaku $w_{p,net,max}$, působící na jednotlivé horní pásy vaznice v místě uložení, je modelováno jako spojité zatížení (obr. 2.17). Hodnota zatížení závisí na roznášecí šířce, která danému prvku náleží.



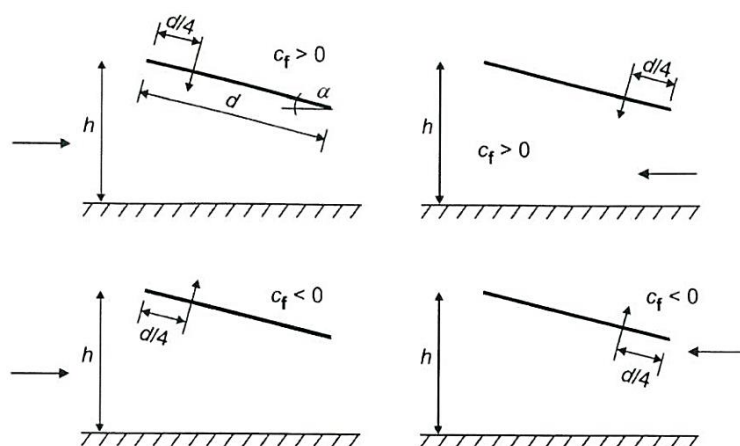
Obr. 2.17: Schéma roznosu zatížení větrem od výsledného tlaku $w_{p,net,max}$ na segment č. 4

Plošné zatížení větrem od výsledného sání $w_{p,net, \varphi}$ působí na jednotlivé spodní pásy vaznic a vazníků podle varianty řešení podhledu. V případě varianty 1 působí na jednotlivé spodní pásy vaznic a zároveň i na spodní pásy vazníků. Při zvolení řešení podhledu variantou 2, působí zatížení pouze na spodní vaznice v místě uložení (obr. 2.18). Plošné zatížení je generováno na spojitě, hodnota spojitého zatížení závisí na roznášecí šířce, která danému prvku náleží.



Obr. 2.18: Schéma roznosu zatížení větrem od výsledného sání $w_{p,net,max}$ na segment č. 4

Každý přístřešek musí být schopen přenést i zatěžovací stav definovaný normou [3], kde u pultového přístřešku má být působiště tlaku ve vzdálenosti $d/4$ od návětrného okraje. Pro tento případ zatížení jsou vytvořeny ve statickém výpočtu 4 zatěžovací stavy. Podle obr. 2.19 je nadefinováno liniové zatížení na přístřešek.



Obr. 2.19: Umístění působiště síly pro pultové stěny (převzato z [3])

Celková vnější síla od zatížení tlakem větru na přístřešek se stanoví ze vztahu:

$$F_{f,\varphi, \max} = c_{f,\varphi, \max} \cdot q_p \cdot b \cdot d, \quad (2.10)$$

kde je $c_{f,\varphi, \max}$ součinitel celkové síly = + 0,2 (hodnota z tab. 2.8).

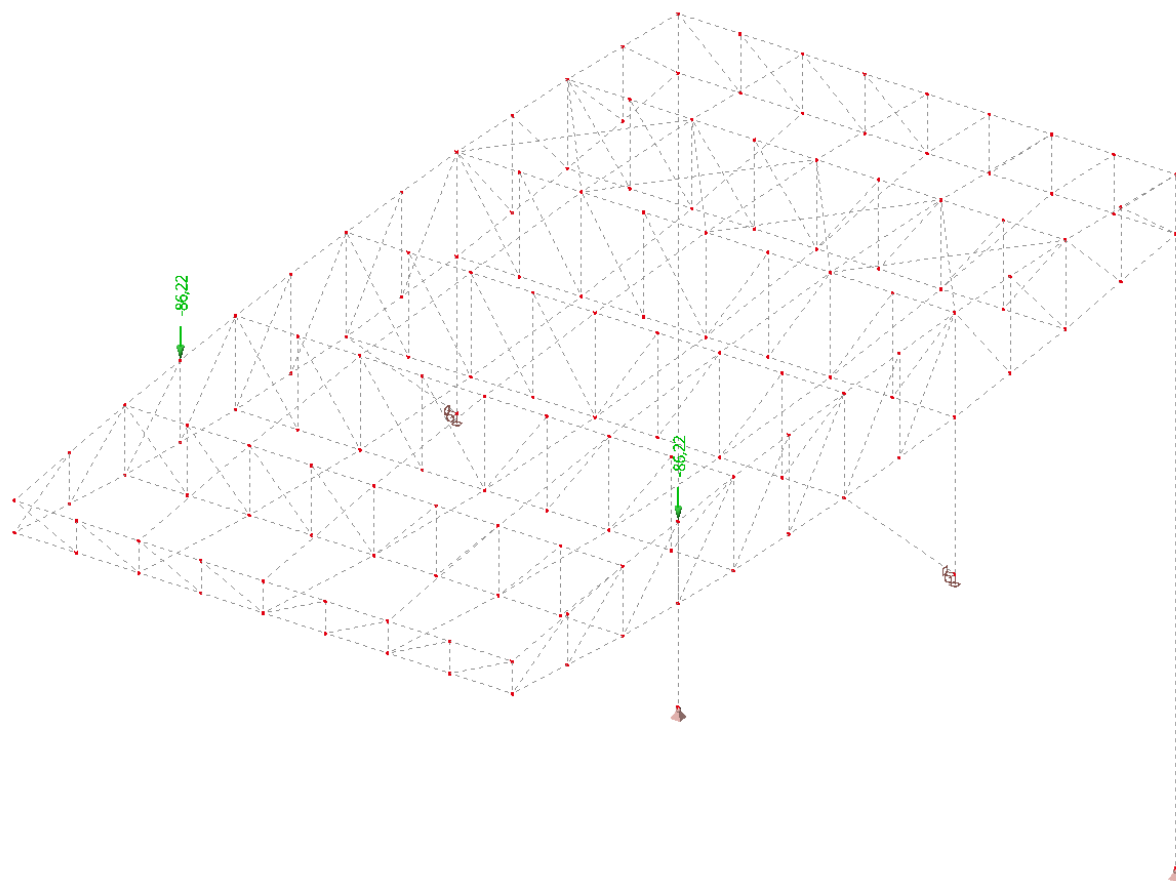
Dosazením do vztahu (2.10) se stanoví hodnota:

$$F_{f,\varphi, \max} = 0,2 \cdot 958 \cdot 105 \cdot 30 = 603\,540\,N = 603,54\,kN.$$

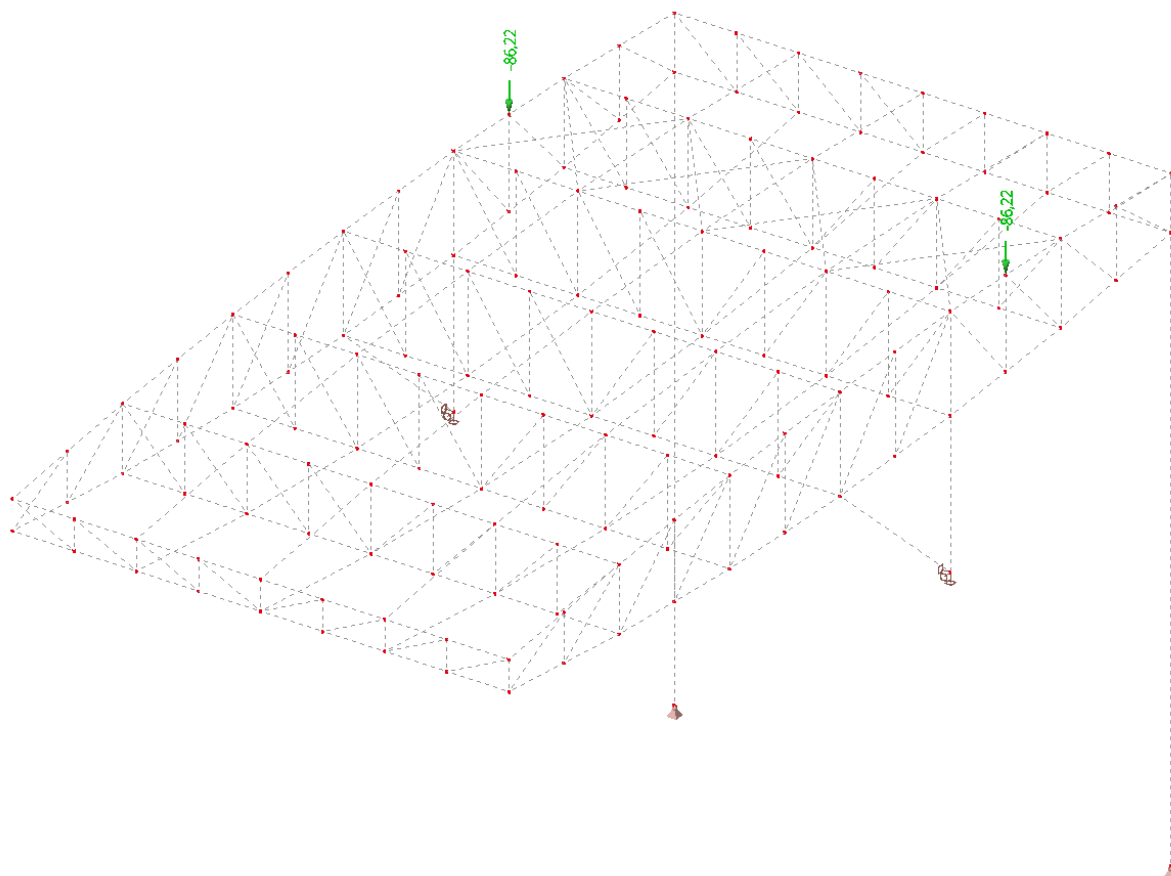
Po vydělením rozměrem kolmým na směr větru $b = 105\,m$, se stanoví hodnota liniového zatížení:

$$F_{f,\varphi, \max} = 603,54/105 = 5,748\,kN/m.$$

Ve výpočtovém modelu se liniové zatížení násobí vzdálenosti mezi rozpětím jednotlivých vazníků. Pro vnější sílu od zatížení tlakem větru na konstrukci jsou stanoveny dva zatěžovací stavy pro směr větru zepředu (obr. 2.20) a zezadu (obr.2.21).



Obr. 2.20: Schéma roznosu zatížení větrem zepředu od vnější síly $F_{f,\varphi, \max}$ na segment č. 4



Obr. 2.21: Schéma roznosu zatížení větrem zezadu od vnější síly $F_{f,\varphi,max}$ na segment č. 4

Celková vnější síla od zatížení sáním větru na přístřešek se stanoví ze vztahu:

$$F_{f,\varphi} = c_{f,\varphi} \cdot q_p \cdot b \cdot d, \quad (2.11)$$

kde je $c_{f,\varphi}$ součinitel celkové síly = - 1,12 (hodnota z tab. 2.8)

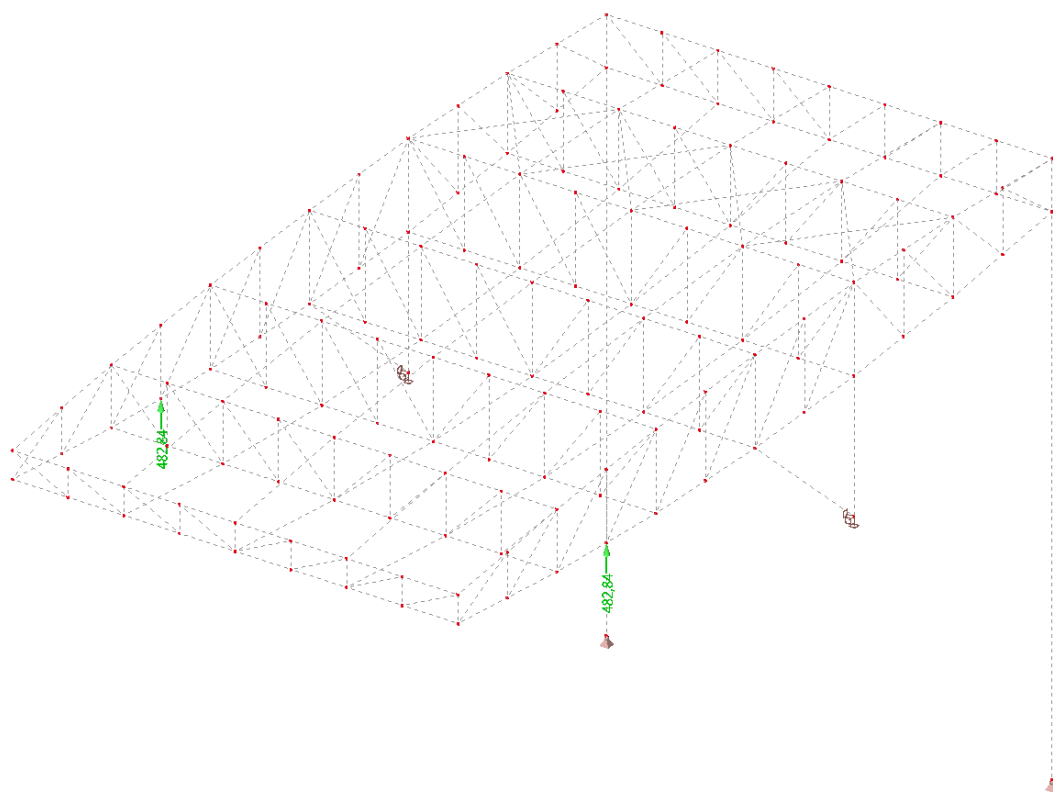
Dosazením do vztahu (2.11) se stanoví hodnota:

$$F_{f,\varphi} = - 1,12 \cdot 958 \cdot 105 \cdot 30 = -3\,379\,824\,N = -3\,379,824\,kN.$$

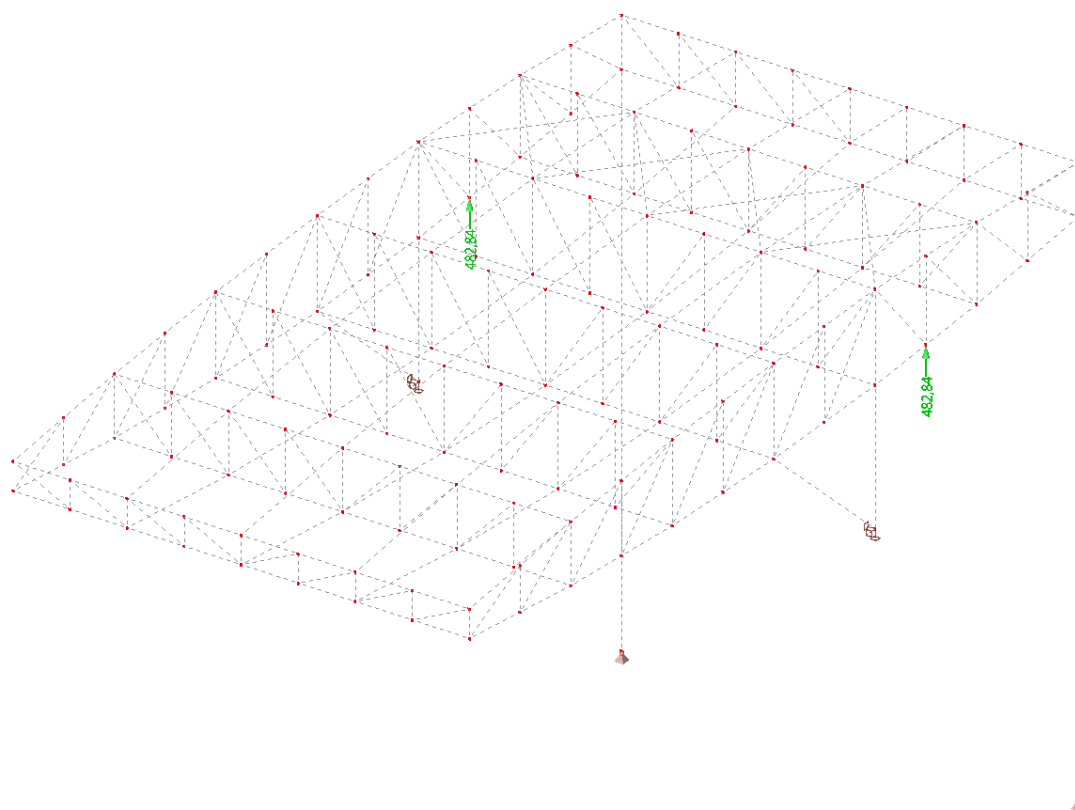
Po vydělením rozměrem kolmým na směr větru $b = 105\,m$, se stanoví hodnota liniového zatížení:

$$F_{f,\varphi} = -3\,379,824/105 = -32,189\,kN/m.$$

Ve výpočtovém modelu se liniové zatížení násobí vzdálenosti mezi rozpětím jednotlivých vazníků. Pro vnější sílu od zatížení sáním větru na konstrukci jsou stanoveny dva zatěžovací stavy pro směr větru zepředu (obr. 2.22) a zezadu (obr. 2.23).



Obr. 2.22: Schéma roznosu zatížení větrem zepředu od vnější síly $F_{f,\varphi}$ na segment č. 4



Obr. 2.23: Schéma roznosu zatížení větrem zezadu od vnější síly $F_{f,\varphi}$ na segment č. 4

Tlak větru na opláštění střechy – volná stěna

Zatížení větrem na svislé plochy konstrukce zastřešení je spočítáno podle normy [3] jako zatížení na volnou stěnu. Celá konstrukce se skládá ze čtyř bočních stěn, na které působí vnější tlak ovlivněný referenční výškou z_e , součinitelem tlaku $c_{p,net}$ a maximálním dynamickým tlakem $q_p(z)$.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{p,net} \quad (2.12)$$

Pro každou stranu je stanovena hodnota maximálního dynamického tlaku:

pro směr větru zepředu (přední stěna): $q_p(z_1) = 958 \text{ Pa}$,

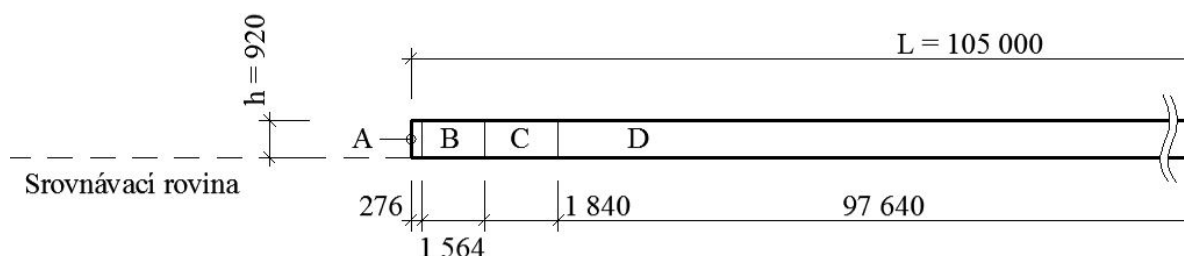
pro směr větru zezadu (zadní stěna): $q_p(z_2) = 859 \text{ Pa}$,

pro směr větru z boku (boční stěna): $q_p(z_b) = 958 \text{ Pa}$,

hodnota maximálního dynamického tlaku je pro směr větru z boku stanovena s referenční výškou objektu $z_b = z_1 = h_1 = 28,9 \text{ m}$. Svislé stěny opláštění jsou bez otvorů, proto součinitel plnosti $\phi = 1,0$. Modelová situace je zvolena jako volná stěna s průčelím pro všechny směry.

Tab. 2.11: Hodnoty součinitelů tlaku $c_{p,net}$ pro volně stojící stěny

Součinitel plnosti	Oblast	A	B	C	D
$\phi = 1,0$	S vedlejším průčelím s délkou $\geq h$	2,1	1,8	1,4	1,2



Obr. 2.24: Schéma přední oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]

Hodnoty vnějšího tlaku na přední stěnu se určí dosazením hodnot do vztahu (2.12):

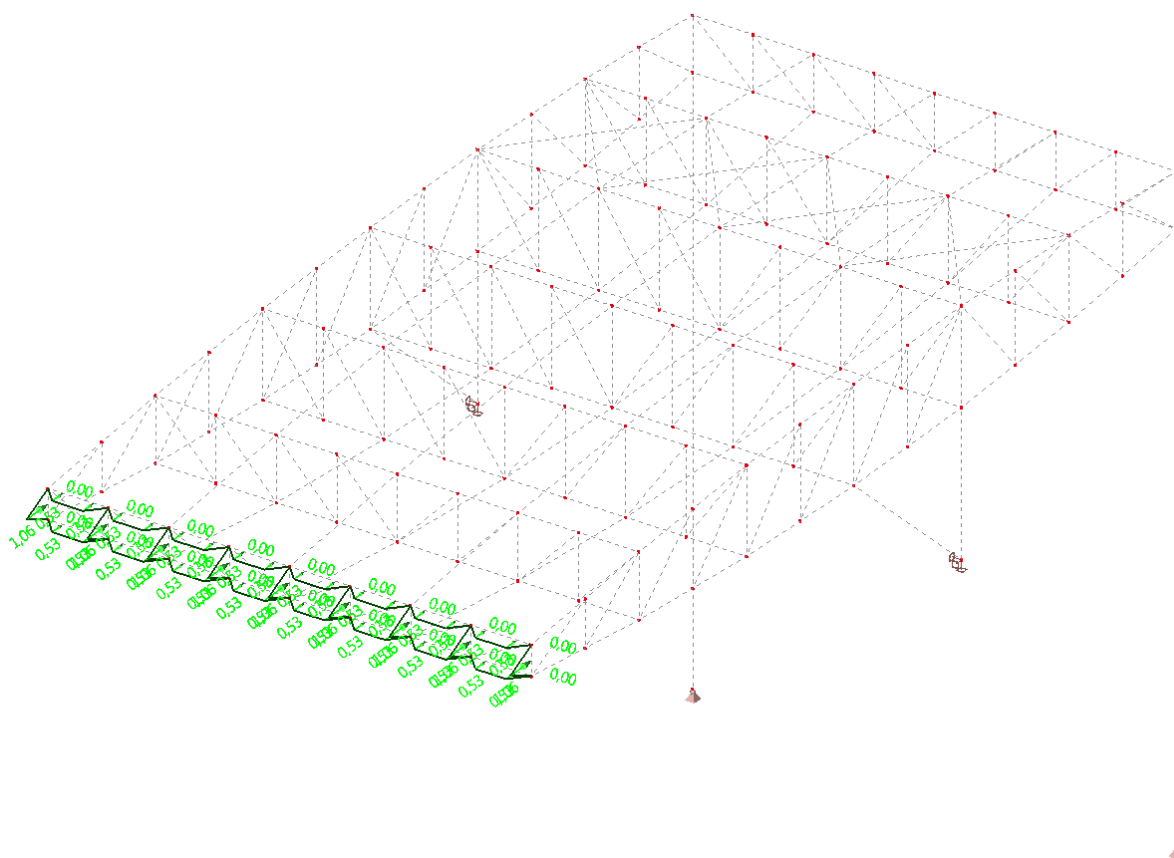
$$w_A = 958 \cdot 2,1 = 2\,011,8 \text{ Pa} = 2,012 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B = 958 \cdot 1,8 = 1\,724,4 \text{ Pa} = 1,724 \text{ kN/m}^2$$

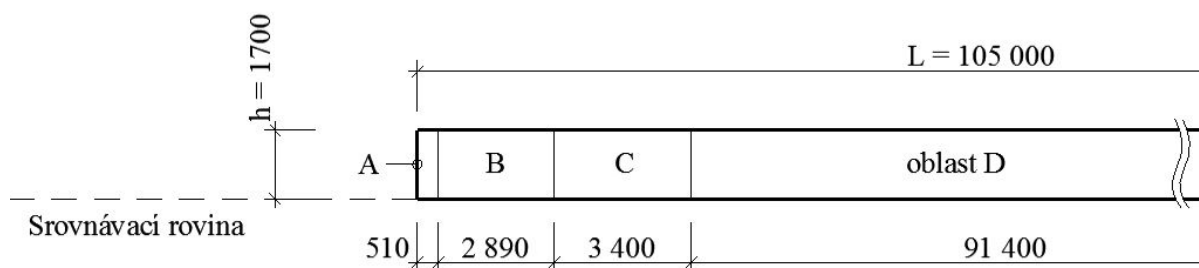
$$w_C = 958 \cdot 1,4 = 1\,341,2 \text{ Pa} = 1,341 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 958 \cdot 1,2 = 1\,149,6 \text{ Pa} = 1,150 \text{ kN/m}^2$$

Plošné zatížení ve výpočtovém modelu působí na pásnice a svislice krajní vaznice. Zatížení je generováno na spojitě přes roznášecí šířky daných prvků.



Obr. 2.25: Schéma roznosu zatížení větrem od volné stěny zepředu na segment č. 4



Obr. 2.26: Schéma zadní oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]

Hodnoty vnějšího tlaku na zadní stěnu se určí dosazením hodnot do vztahu (2.12):

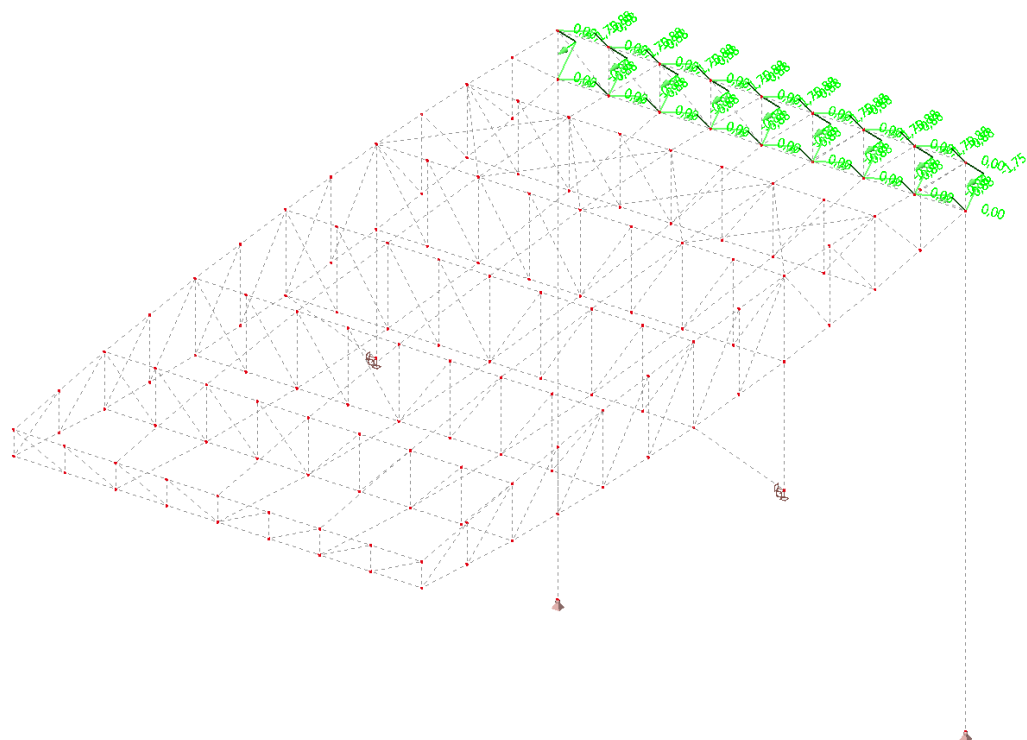
$$w_A = 859 \cdot 2,1 = 1\,803,9 \text{ Pa} = 1,804 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B = 859 \cdot 1,8 = 1\,546,2 \text{ Pa} = 1,546 \text{ kN/m}^2$$

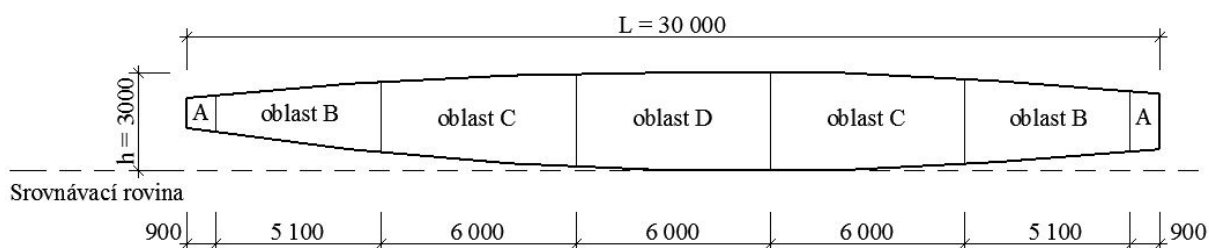
$$w_C = 859 \cdot 1,4 = 1\,202,6 \text{ Pa} = 1,203 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 859 \cdot 1,2 = 1\,030,8 \text{ Pa} = 1,030 \text{ kN/m}^2$$

Plošné zatížení ve výpočtovém modelu působí na pásnice a svislice krajní vaznice. Zatížení je generováno na spojitě přes roznášecí šířky daných prvků.



Obr. 2.27: Schéma roznosu zatížení větrem od volné stěny zezadu na segment č. 4



Obr. 2.28: Schéma boční oblastí volné stěny výsledného tlaku $c_{p,net}$ podle [3]

Hodnoty vnějšího tlaku na boční stěnu se určí dosazením hodnot do vztahu (2.12):

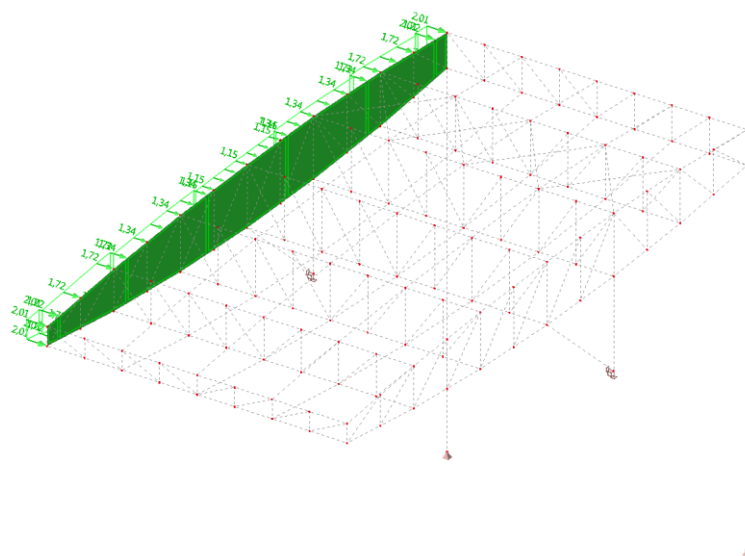
$$w_A = 958 \cdot 2,1 = 2\,011,8 \text{ Pa} = 2,012 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B = 958 \cdot 1,8 = 1\,724,4 \text{ Pa} = 1,724 \text{ kN/m}^2$$

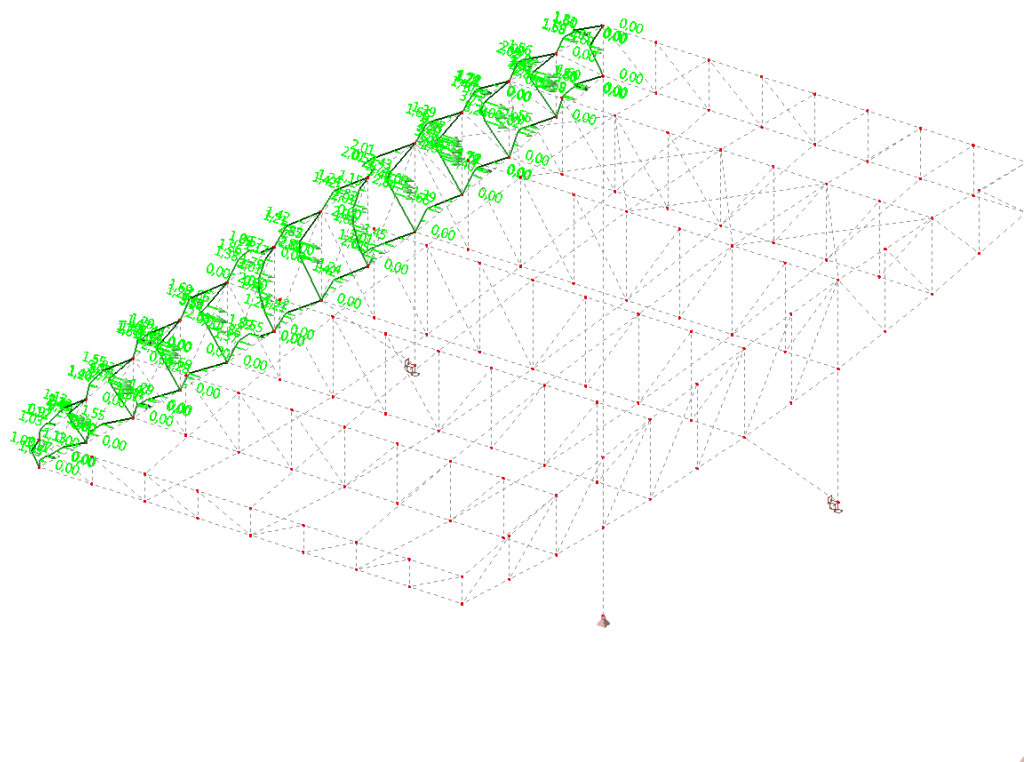
$$w_C = 958 \cdot 1,4 = 1\,341,2 \text{ Pa} = 1,341 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 958 \cdot 1,2 = 1\,149,6 \text{ Pa} = 1,150 \text{ kN/m}^2$$

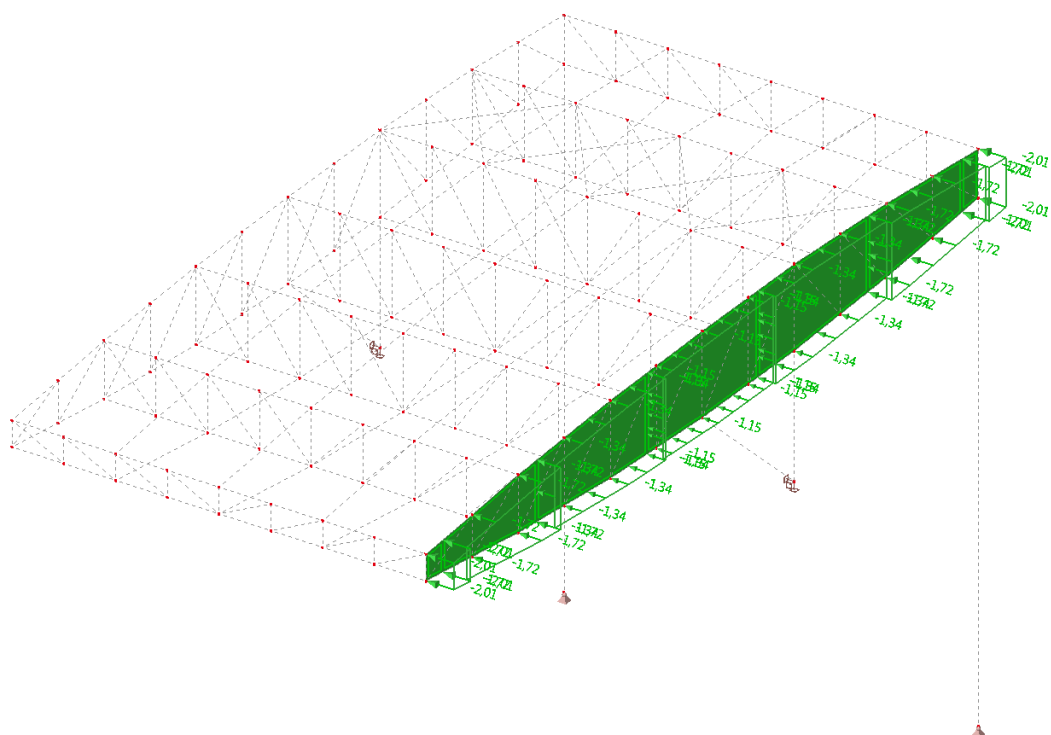
Plošné zatížení ve výpočtovém modelu působí na pásnice a svislice krajní vaznice. Zatížení je generováno na spojitě přes roznášecí šířky daných prvků.



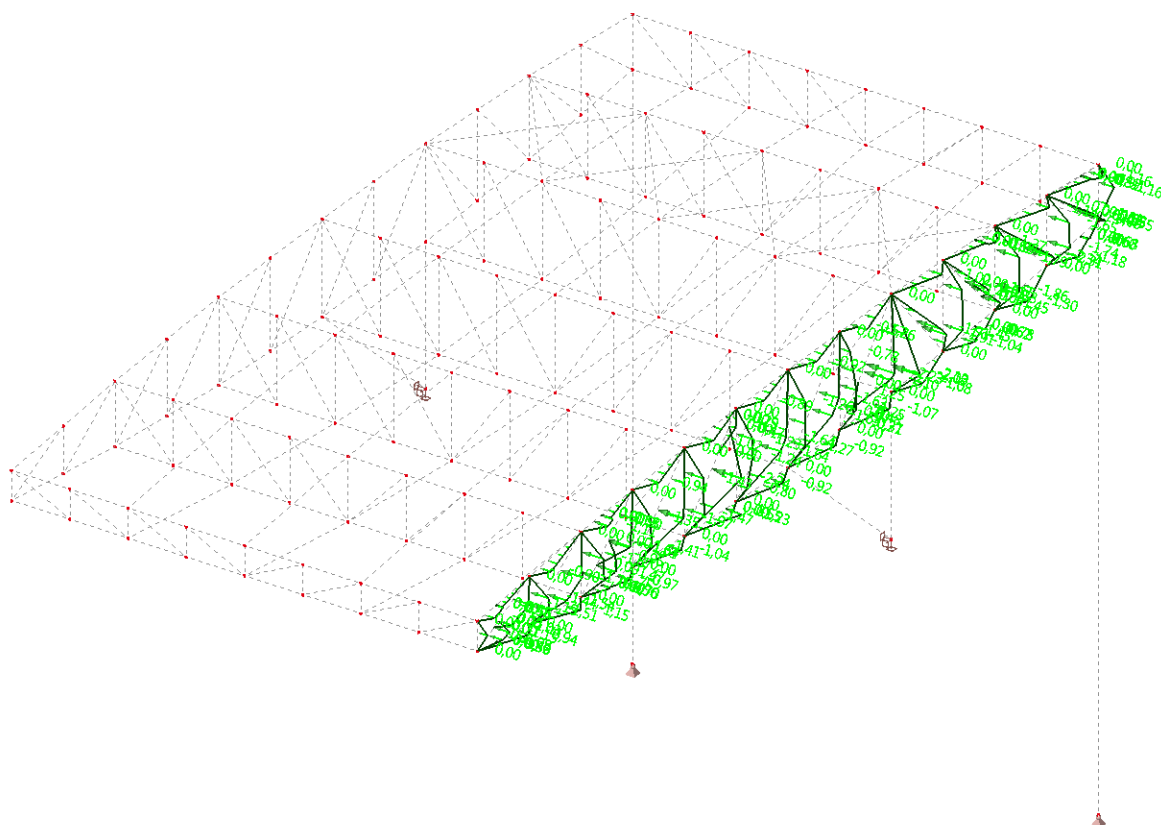
Obr. 2.29: Schéma plošného zatížení větrem na levou boční stěnu, segment č. 1



Obr. 2.30: Schéma roznosu zatížení větrem na levou boční stěnu, segment č. 1



Obr. 2.31: Schéma plošného zatížení větrem na pravou boční stěnu, segment č. 7



Obr. 2.32: Schéma roznosu zatížení větrem na pravou boční stěnu, segment č. 7

Síly od větru – třecí síly

Třecí síly se zavádí na část vnějších povrchů rovnoběžně se směrem větru, které se nachází za vzdálenosti rovnou z menších z hodnot $2b$ nebo $4h$ od návětrných okapů nebo nároží [3]. Pro výpočet třecí síly se uvažují součinitele tření pro stěny, zábradlí a povrchy střech podle normové tabulky (Tab. 2.12).

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}, \quad (2.13)$$

kde je c_{fr} součinitel tření,

$q_p(z_e)$ maximální dynamický tlak větru (pro zjednodušení výpočtu je uvažována nejvyšší hodnota maximálního tlaku $q_p(z_e) = 958 \text{ Pa}$),

A_{fr} referenční plocha.

Tab. 2.12: Součinitel tření c_{fr} pro stěny, zábradlí a povrchy střech

Povrch	Součinitel tření c_{fr}
Hladký (tj. ocel, hladký beton)	0,01
Hrubý (tj. drsný beton, asfaltový šindel)	0,02
Velmi hrubý (tj. vlnovky, žebra, drážky)	0,04

Pro směr větru zepředu:

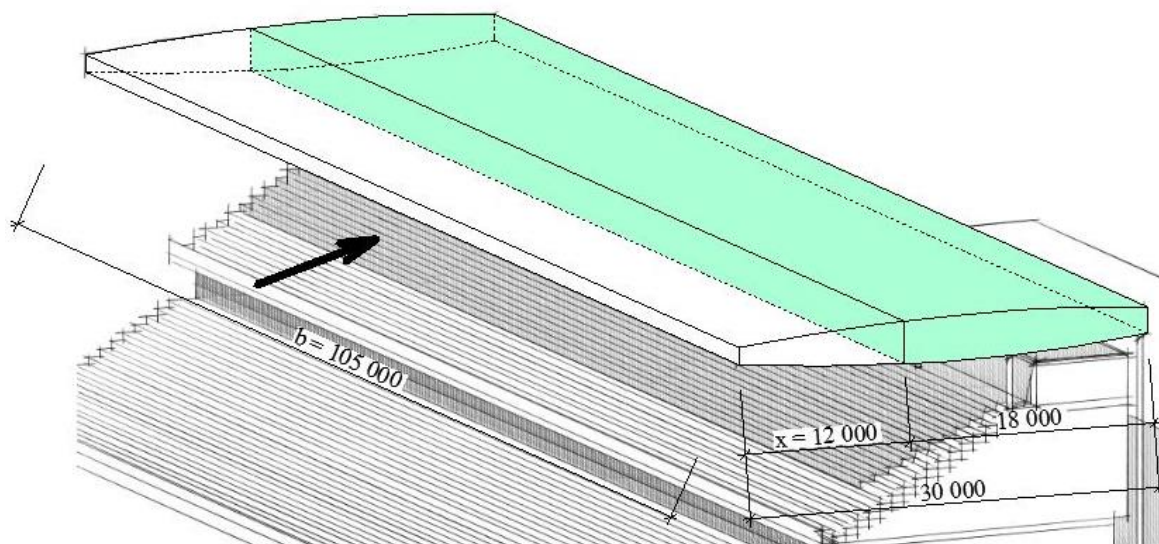
$$x = \min(2b; 4h) = \min(2 \cdot 105 = 210 \text{ m}; 4 \cdot 3 = 12 \text{ m}) = 12 \text{ m},$$

$$F_{fr} = 0,01 \cdot 958 \cdot 4410 = 42\,247,8 \text{ N} = 42,2 \text{ kN},$$

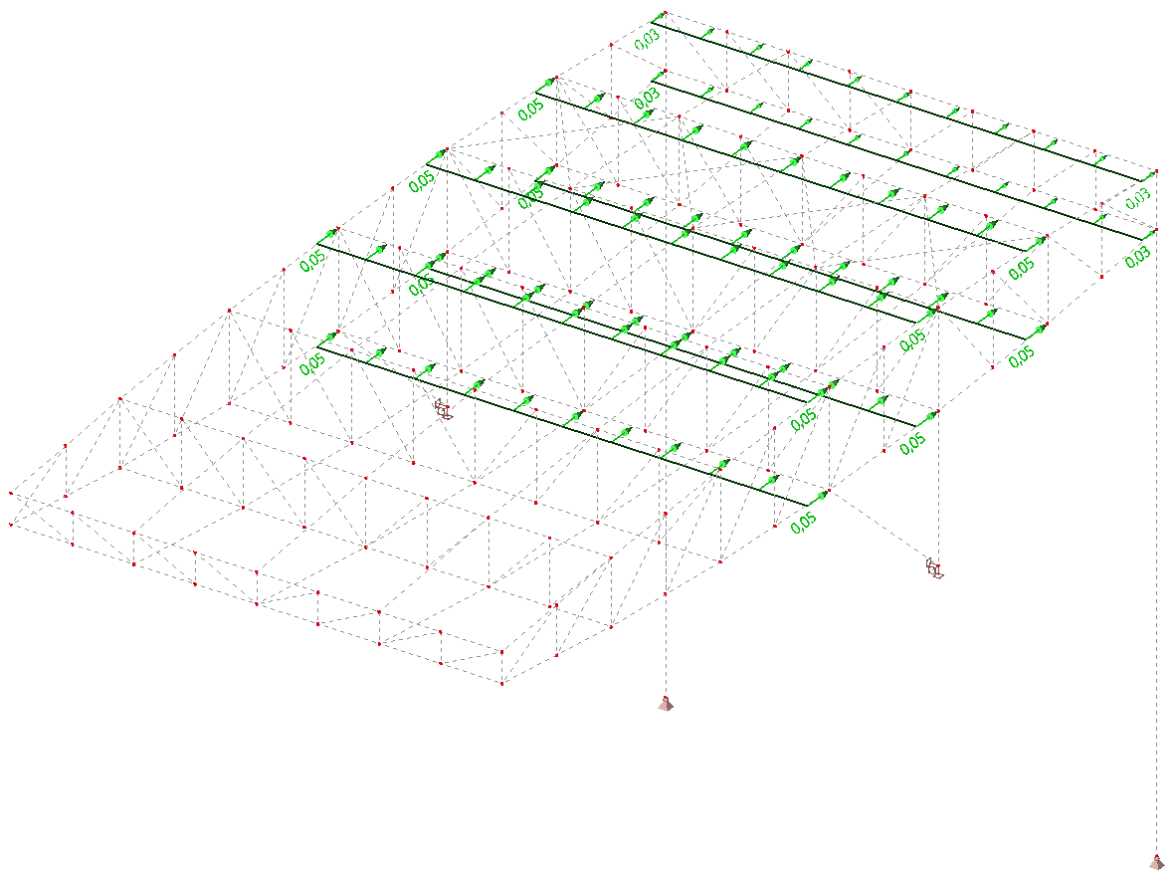
rozklad síly na plošné zatížení

$$q_{fr} = F_{fr}/A_{fr} = 42,2/4410 = 0,00957 \text{ kN/m}^2.$$

Referenční plocha pro směr větru zepředu je vyznačená na (obr. 2.33)



Obr. 2.33: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru zepředu



Obr. 2.34: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru zepředu

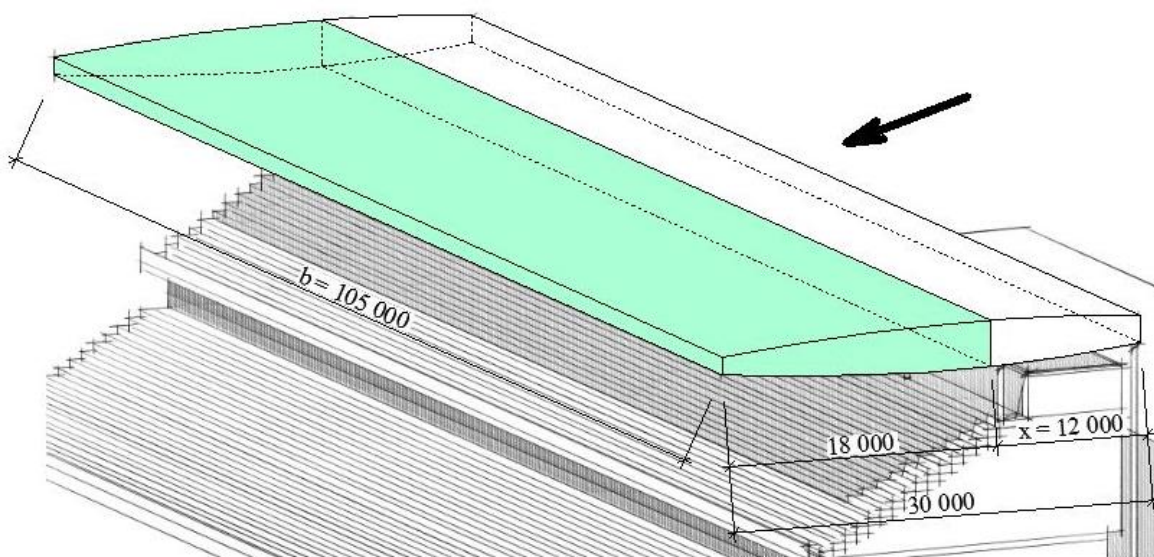
Pro směr větru zezadu:

$$x = \min(2b; 4h) = \min(2 \cdot 105 = 210 \text{ m}; 4 \cdot 3 = 12 \text{ m}) = 12 \text{ m},$$

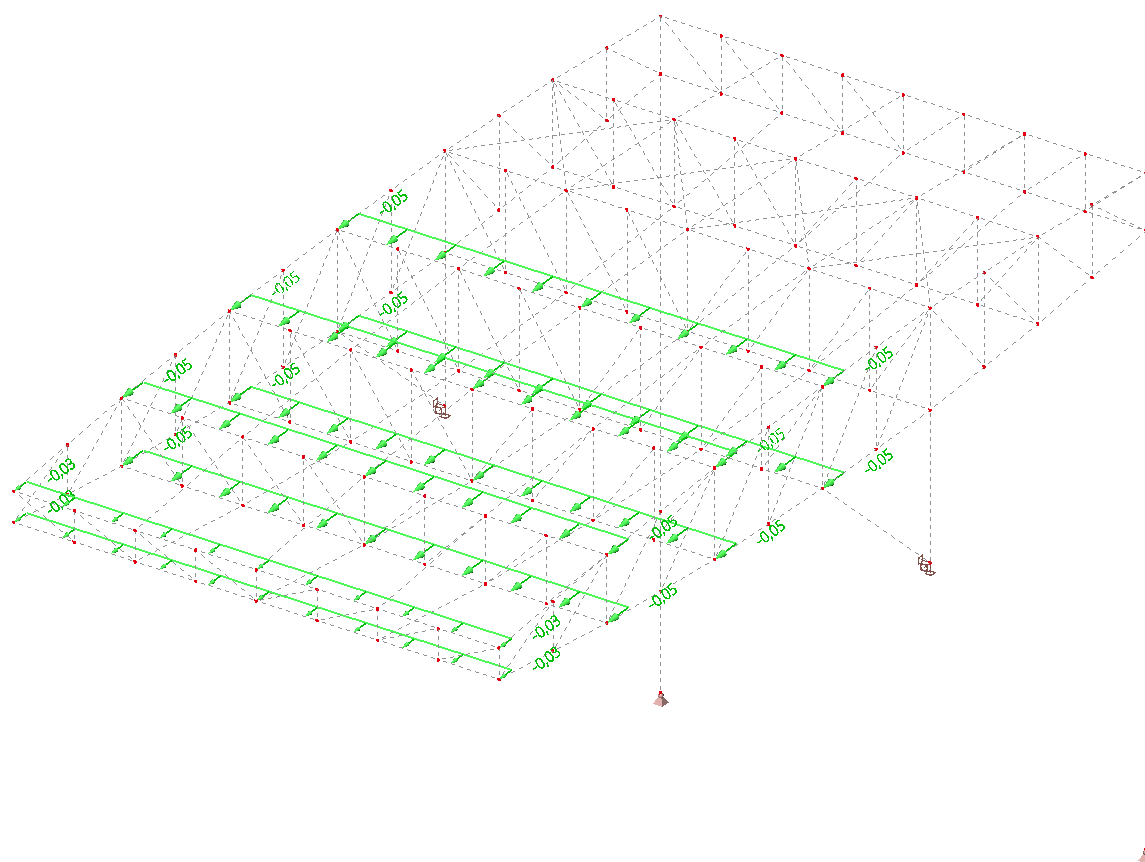
$$F_{fr} = 0,01 \cdot 958 \cdot 4410 = 42\,247,8 \text{ N} = 42,2 \text{ kN},$$

rozklad síly na plošné zatížení

$$q_{fr} = F_{fr}/A_{fr} = 42,2/4410 = 0,00957 \text{ kN/m}^2.$$



Obr. 2.35: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru zezadu



Obr. 2.36: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru zezadu

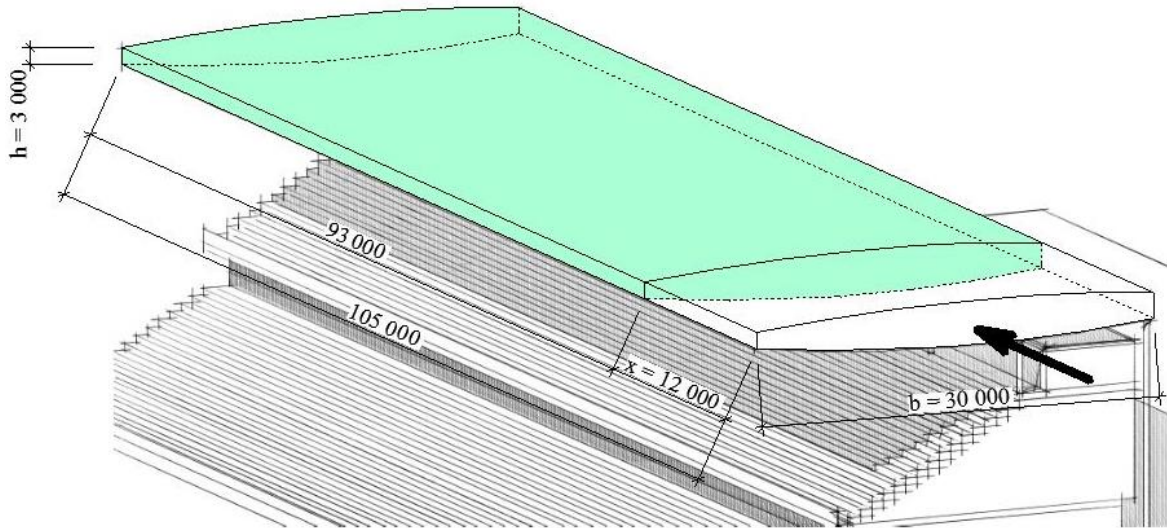
Pro směr větru zboku:

$$x = \min(2b; 4h) = \min(2 \cdot 30 = 60 \text{ m}; 4 \cdot 3 = 12 \text{ m}) = 12 \text{ m},$$

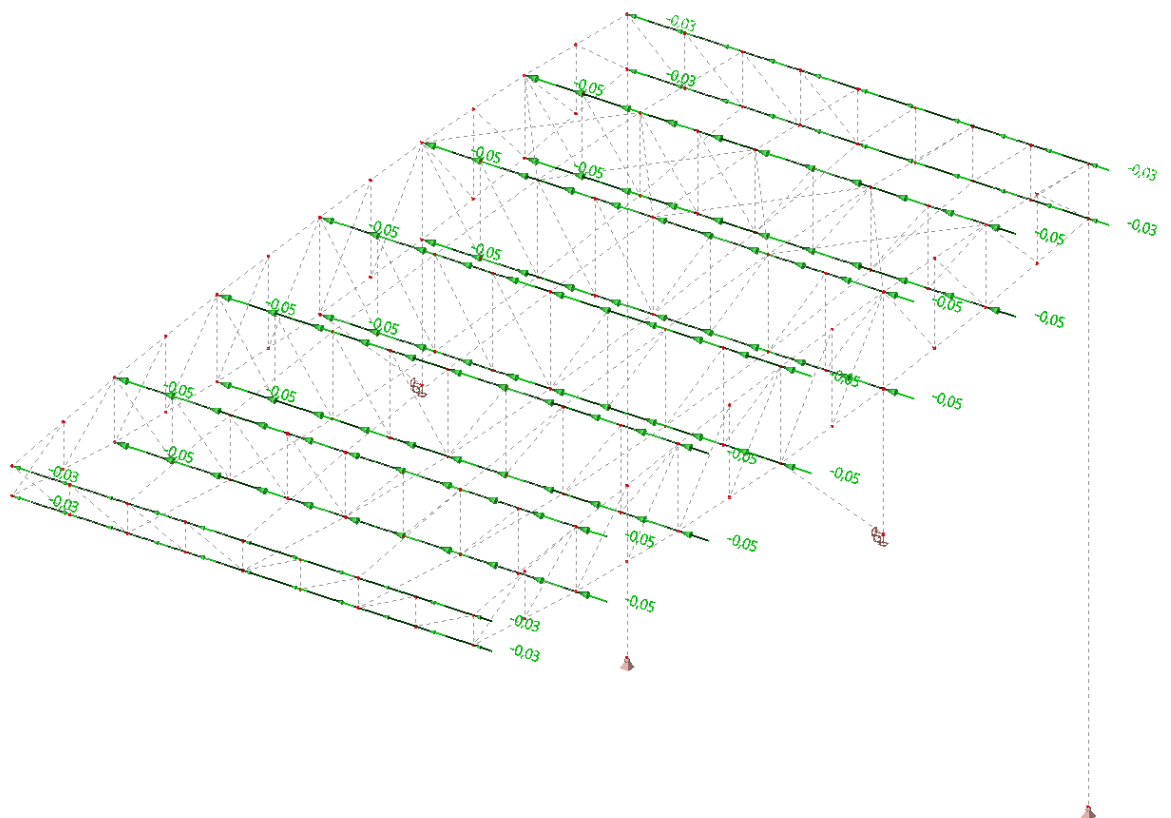
$$F_{fr} = 0,01 \cdot 958 \cdot 6138 = 58\,802,0 \text{ N} = 58,8 \text{ kN},$$

rozklad síly na plošné zatížení

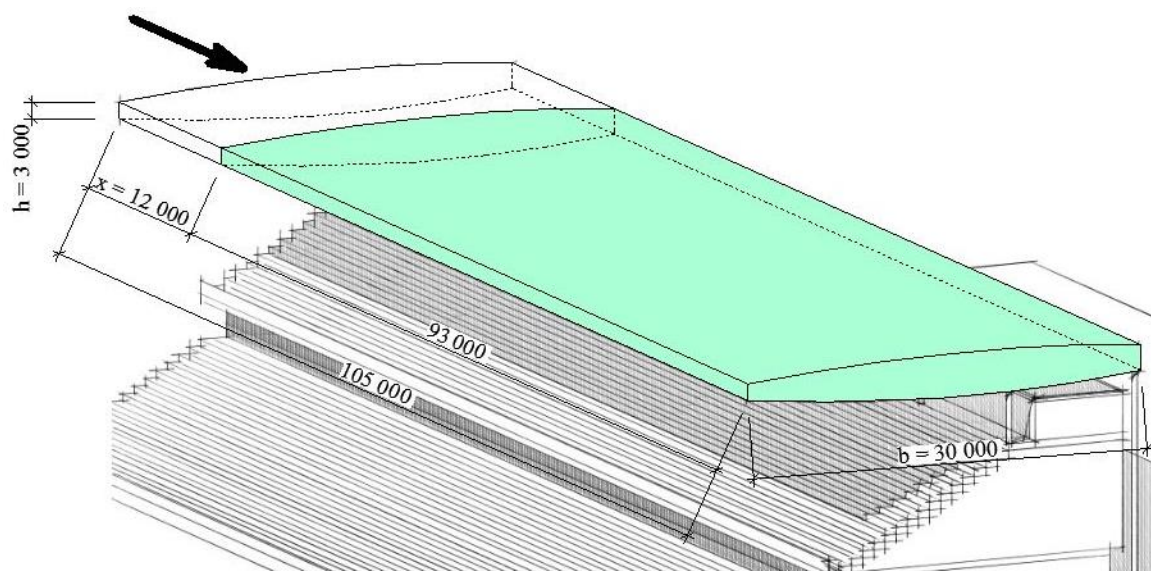
$$q_{fr} = F_{fr}/A_{fr} = 58,8/6138 = 0,00957 \text{ kN/m}^2.$$



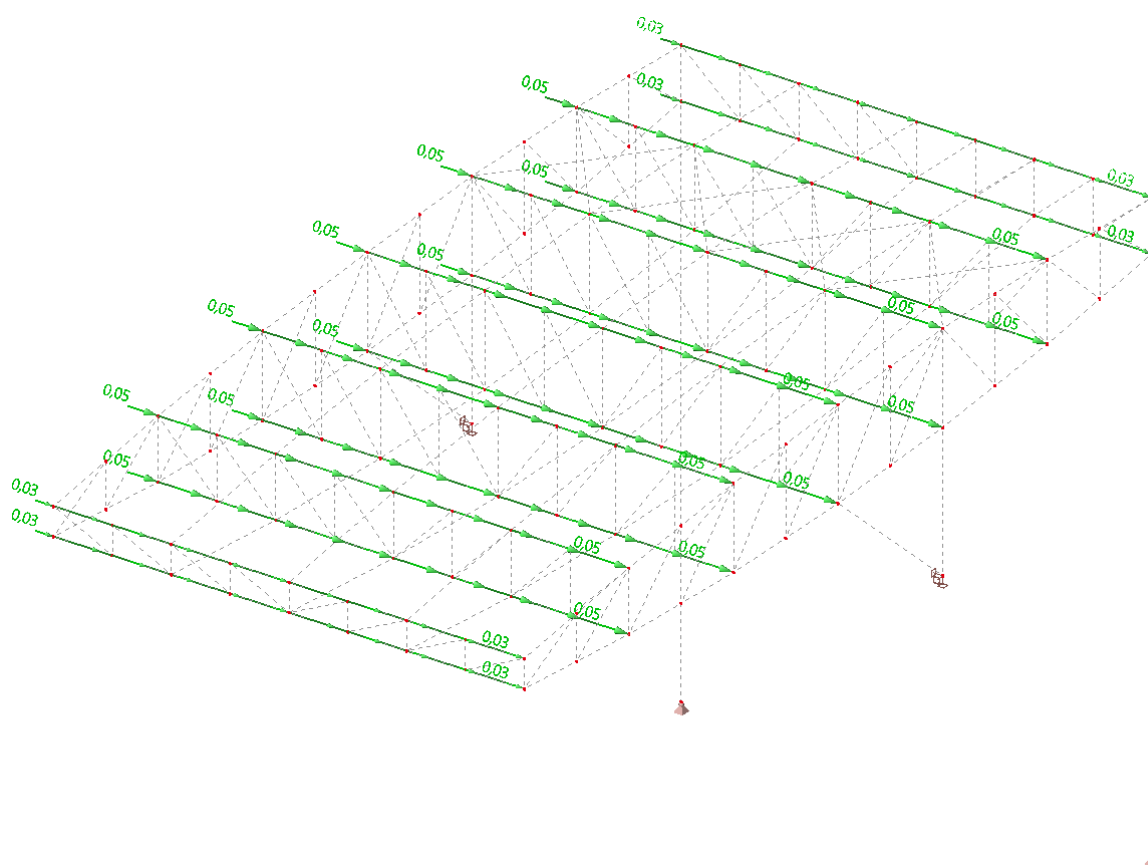
Obr. 2.37: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru z pravé strany



Obr. 2.38: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru z pravé strany



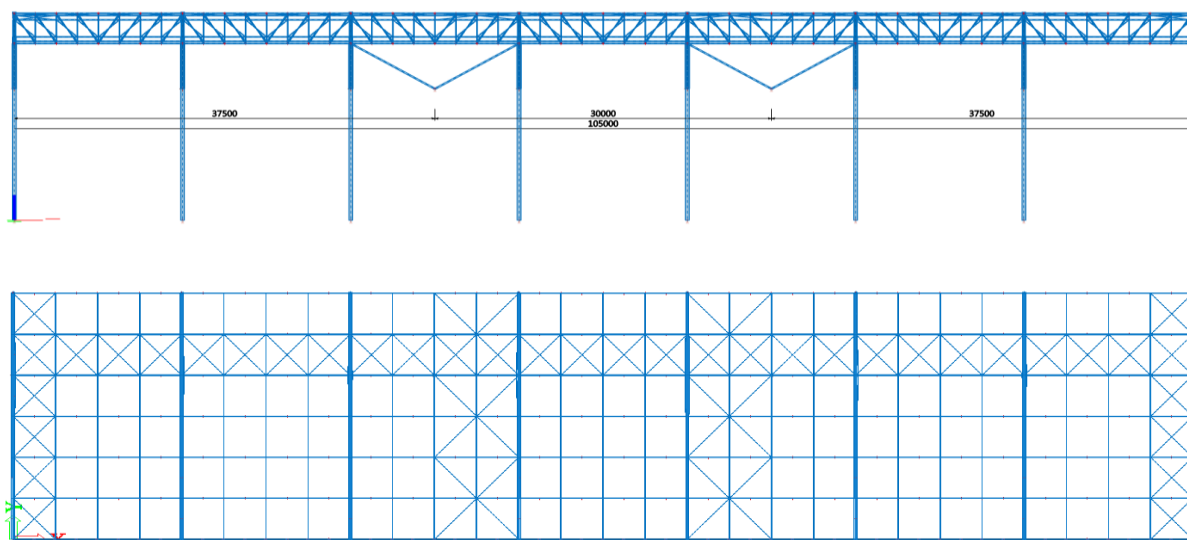
Obr. 2.39: Zobrazení referenční plochy A_{fr} pro směr větru z levé strany



Obr. 2.40: Schéma roznosu zatížení třením q_{fr} na segment č. 4, směr větru z levé strany

2.2.4 Zatížení teplotou

Při řešení problému zatížení vlivem teplot na konstrukci se odkazují na ČSN 73 1401 [4] článek 3.3.2 Zatížení konstrukci pozemních staveb teplotami. Zatížení klimatickými teplotami nemusí být uvažováno, je-li konstrukce členěna na dilatační úseky menší než mezní rozměry.



Obr. 2.41: Rozdělení konstrukce na dilatační úseky

3 Zatěžovací stavy

Zatížení bylo rozděleno a namodelováno do 25 zatěžovacích stavů (tab. 3.1) a rozděleno do 6 skupin zatížení (tab. 3.2).

Tab. 3.1: Zatěžovací stavy z programu Scia Engineer

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Působení
LC1	Vlastní tíha	Stálé	LG1	
LC2	Ostatní stálé - konstrukce střešního pláště	Stálé	LG1	
LC3	Ostatní stálé - konstrukce podhledu - V1	Stálé	LG1	
LC4	Ostatní stálé - konstrukce podhledu - V2	Stálé	LG1	
LC5	Sníh - plný	Proměnné	LG2	Krátkodobé
LC6	Sníh - levá	Proměnné	LG2	Krátkodobé
LC7	Sníh - pravá	Proměnné	LG2	Krátkodobé
LC8	Vítr - tlak - plocha - zepředu	Proměnné	LG3	Krátkodobé
LC9	Vítr - sání - plocha - zepředu	Proměnné	LG3	Krátkodobé
LC10	Vítr - tlak - linie - cf+ - zepředu	Proměnné	LG3	Krátkodobé
LC11	Vítr - sání - linie - cf- - zepředu	Proměnné	LG3	Krátkodobé
LC12	Vítr - volná stěna + tření - zepředu	Proměnné	LG3	Krátkodobé
LC13	Vítr - tlak - plocha - zezadu	Proměnné	LG4	Krátkodobé
LC14	Vítr - sání - plocha - zezadu	Proměnné	LG4	Krátkodobé
LC15	Vítr - tlak - linie - cf+ - zezadu	Proměnné	LG4	Krátkodobé
LC16	Vítr - sání - linie - cf- - zezadu	Proměnné	LG4	Krátkodobé
LC17	Vítr - volná stěna + tření - zezadu	Proměnné	LG4	Krátkodobé
LC18	Vítr - tlak - plocha - z P boku	Proměnné	LG5	Krátkodobé
LC19	Vítr - sání - plocha - z P boku	Proměnné	LG5	Krátkodobé
LC22	Vítr - volná stěna + tření - z P boku	Proměnné	LG5	Krátkodobé
LC23	Vítr - tlak - plocha - z L boku	Proměnné	LG6	Krátkodobé
LC24	Vítr - sání - plocha - z L boku	Proměnné	LG6	Krátkodobé
LC25	Vítr - volná stěna + tření - z L boku	Proměnné	LG6	Krátkodobé

Tab. 3.2: Skupina zatížení z programu Scia Engineer

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
LG1	Stálé		
LG2	Nahodilé	Výběrová	Sníh
LG3	Nahodilé	Společně	Vítr
LG4	Nahodilé	Společně	Vítr
LG5	Nahodilé	Společně	Vítr
LG6	Nahodilé	Společně	Vítr

4 Kombinace

4.1 Kombinace MSÚ

Kombinace a skupiny zatížení jsou nastaveny tak, aby dva různé směry větru nepůsobily v jedné kombinaci.

Tab. 4.1: Výpis zadaných kombinací pro MSÚ z programu SCIA Engineer

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
1.CO1	vítr-tlak-plocha-zepředu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC8 - Vítr - tlak - plocha - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.CO2	vítr-sání-plocha-zepředu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC9 - Vítr - sání - plocha - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.CO3	vítr-tlak-linie-zepředu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC10 - Vítr - tlak - linie - cf+ - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.CO4	vítr-sání-linie-zepředu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC11 - Vítr - sání - linie - cf- - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
2.CO1	vítr-tlak-plocha-zezadu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
			LC13 - Vítr - tlak - plocha - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.CO2	vítr-sání-plocha-zezadu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC14 - Vítr - sání - plocha - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.CO3	vítr-tlak-linie-zezadu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC15 - Vítr - tlak - linie - cf+ - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.CO4	vítr-sání-linie-zezadu	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC16 - Vítr - sání - linie - cf- - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
3.CO1	vítr-tlak-plocha-z P boku	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC18 - Vítr - tlak - plocha - z P boku
			LC22 - Vítr - volná stěna + tření - z P boku
3.CO2	vítr-sání-plocha-z P boku	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC19 - Vítr - sání - plocha - z P boku
			LC22 - Vítr - volná stěna + tření - z P boku
4.CO1	vítr-tlak-plocha-z L boku	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC23 - Vítr - tlak - plocha - z L boku
			LC25 - Vítr - volná stěna + tření- z L boku
4.CO2	vítr-sání-plocha-z L boku	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC24 - Vítr - sání - plocha - z L boku
			LC25 - Vítr - volná stěna + tření- z L boku

4.2 Kombinace MSP

Kombinace a skupiny zatížení jsou nastaveny tak, aby dva různé směry větru nepůsobily v jedné kombinaci.

Tab. 4.2: Výpis zadaných kombinací pro MSP z programu SCIA Engineer

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
1.MSP1	vítr-tlak-plocha-zepředu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC8 - Vítr - tlak - plocha - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.MSP2	vítr-sání-plocha-zepředu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC9 - Vítr - sání - plocha - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.MSP3	vítr-tlak-linie-zepředu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC10 - Vítr - tlak - linie - cf+ - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
1.MSP4	vítr-sání-linie-zepředu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
			LC7 - Sníh - pravá
			LC11 - Vítr - sání - linie - cf- - zepředu
			LC12 - Vítr - volná stěna + tření - zepředu
2.MSP1	vítr-tlak-plocha-zezadu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC13 - Vítr - tlak - plocha - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.MSP2	vítr-sání-plocha-zezadu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC14 - Vítr - sání - plocha - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.MSP3	vítr-tlak-linie-zezadu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC15 - Vítr - tlak - linie - cf+ - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
2.MSP4	vítr-sání-linie-zezadu	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC16 - Vítr - sání - linie - cf- - zezadu
			LC17 - Vítr - volná stěna + tření- zezadu
3.MSP1	vítr-tlak-plocha-z P boku	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC18 - Vítr - tlak - plocha - z P boku
			LC22 - Vítr - volná stěna + tření - z P boku
3.MSP2	vítr-sání-plocha-z P boku	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC19 - Vítr - sání - plocha - z P boku

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy
			LC22 - Vítr - volná stěna + tření - z P boku
4.MSP1	vítr-tlak-plocha-z L boku	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC23 - Vítr - tlak - plocha - z L boku
			LC25 - Vítr - volná stěna + tření - z L boku
4.MSP2	vítr-sání-plocha-z L boku	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha
			LC2 - Ostatní stále - konstrukce střešního pláště
			LC4 - Ostatní stále - konstrukce podhledu - V2
			LC5 - Sníh - plný
			LC6 - Sníh - levá
			LC7 - Sníh - pravá
			LC24 - Vítr - sání - plocha - z L boku
			LC25 - Vítr - volná stěna + tření - z L boku

5 Globální extrémní síly

5.1 Sloupy

Tab. 5.1: Vnitřní síly - globální extrémní síly, sloupy

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
SL2	Sloup - TR KR 355.6X25	4,500	1.CO1/8	-1807,93	-85,01	0,07	1,23	0,33	-382,56
SL4	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	1.CO4/1	1036,05	74,00	-0,33	-0,16	0,00	0,00
SL3	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	4.CO1/9	-1744,91	-91,67	0,86	-0,42	0,00	0,00
SL8	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	3.CO2/10	174,88	9,42	-6,61	2,24	0,00	0,00
SL1	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	4.CO2/11	174,90	9,44	6,72	-1,73	0,00	0,00
SL8	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	4.CO1/12	-930,61	-48,91	5,93	-7,47	0,00	0,00
SL1	Sloup - TR KR 355.6X25	0,000	3.CO1/13	-946,04	-49,59	-5,93	7,28	0,00	0,00
SL8	Sloup - TR KR 355.6X25	4,500	3.CO2/10	165,87	9,42	-6,61	2,24	-29,74	42,39
SL1	Sloup - TR KR 355.6X25	4,500	4.CO2/11	165,89	9,44	6,72	-1,73	30,25	42,48
SL3	Sloup - TR KR 355.6X25	4,500	4.CO1/9	-1755,26	-91,67	0,86	-0,42	3,89	-412,53
SL4	Sloup - TR KR 355.6X25	4,500	1.CO4/1	1027,04	74,00	-0,33	-0,16	-1,46	333,01

5.2 Táhla

Tab. 5.2: Vnitřní síly - globální extrémní síly, táhla

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
T4	Táhlo - TR KR 355.6X10	18,207	1.CO4/1	-747,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T6	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	1.CO1/2	591,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	1.CO4/3	-414,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	4.CO2/4	-57,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	1.CO1/5	142,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	1.CO2/6	-132,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T1	Táhlo - TR KR 355.6X10	0,000	2.CO1/7	430,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5.3 Vzpěry

Tab. 5.3: Vnitřní síly - globální extrémní síly, vzpěry

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Z58	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	1.CO1/14	-243,45	0,00	0,80	-0,07	0,00	0,00
Z58	Vzpěra - TR KR 152.4X8	6,727	2.CO2/15	156,89	0,00	-0,70	0,03	0,00	0,00
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	3.CO1/13	-9,34	0,00	0,80	0,13	0,00	0,00
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	6,727	1.CO1/5	-4,94	0,00	-0,94	0,02	0,00	0,00
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	1.CO1/5	-6,64	0,00	0,94	0,02	0,00	0,00
Z60	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	4.CO1/16	-109,10	0,00	0,94	-0,35	0,00	0,00
Z61	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	3.CO1/17	-107,27	0,00	0,94	0,35	0,00	0,00
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	1.CO4/3	-22,41	0,00	0,70	-0,03	0,00	0,00

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	3,363	1.CO1/5	-5,79	0,00	0,00	0,02	1,59	0,00
Z57	Vzpěra - TR KR 152.4X8	0,000	4.CO2/18	17,63	0,00	0,70	0,03	0,00	0,00

5.4 Podélná ztužidla

Tab. 5.4: Vnitřní síly - globální extrémy sil, podélná ztužidla

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Z140	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	8,746	4.CO1/12	-94,11	0,00	-0,99	0,00	0,00	0,00
Z140	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	3.CO2/19	49,60	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	4.CO1/9	-0,16	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	8,746	1.CO1/5	-12,68	0,00	-1,17	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	1.CO1/5	-11,28	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	4.CO1/20	10,96	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	4.CO1/21	21,75	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	4,373	1.CO1/5	-11,98	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00
Z139	Podélné ztužidlo - TR KR 127X8	0,000	1.CO4/1	23,74	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00

5.5 Dolní pásy vazníků

Tab. 5.5: Vnitřní síly - globální extrémy sil, dolní pásy vazníků

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B11	DV - náběh P - T	0,000	4.CO1/3	-2593,03	3,20	119,52	0,24	-298,02	-10,74
B51	DV - náběh P - T	2,502	1.CO4/2	2110,04	0,11	-72,64	0,03	-12,08	-0,39
B41	DV - náběh P - T	0,000	3.CO1/32	-1364,14	-6,31	67,10	-0,37	-162,98	14,70
B21	DV - náběh P - T	0,000	4.CO1/33	-1340,22	5,80	66,10	0,36	-160,41	-14,34
B15	DV - náběh L - T	5,000	1.CO1/1	-2404,38	-1,32	-111,79	-0,10	-295,44	-5,68
B10	DV - náběh L - T	5,000	4.CO1/3	-2493,53	-2,83	-110,94	-0,22	-298,13	-11,11
B50	DV - náběh L - T	5,000	1.CO4/2	2032,75	-0,21	61,95	0,00	192,44	-0,75
B10	DV - náběh L - T	5,000	4.CO1/33	-2396,66	-3,89	-104,69	-0,27	-281,86	-15,52
B30	DV - náběh L - T	5,000	3.CO1/32	-2372,85	3,86	-101,97	0,27	-275,19	15,37

5.6 Horní pásy vazníků

Tab. 5.6: Vnitřní síly - globální extrémy sil, horní pásy vazníků

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
H31	HV - náběh střed - T	2,502	1.CO4/2	-1764,33	0,64	-48,93	0,02	-15,88	-0,39
H15	HV - náběh střed - T	2,500	1.CO1/1	2184,75	-2,27	-55,71	-0,01	0,55	-2,85
H41	HV - náběh střed - T	0,000	3.CO1/32	1116,46	-4,90	40,46	-0,04	-87,98	11,42
H40	HV - náběh střed - T	5,000	3.CO1/32	1124,64	4,46	-36,84	0,05	-87,76	11,89
H10	HV - náběh střed - T	5,000	4.CO1/3	2163,50	-1,37	-63,33	-0,02	-158,52	-5,83
H11	HV - náběh střed - T	0,000	4.CO1/3	2079,08	1,59	72,42	0,04	-160,54	-5,77

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
H49	HV - náběh střed - T	0,000	4.CO1/16	601,04	0,16	-5,96	-0,18	8,45	-0,16
H24	HV - náběh střed - T	0,000	3.CO1/17	614,32	-0,16	-5,50	0,18	7,60	0,17
H50	HV - náběh střed - T	5,000	1.CO4/2	-1714,10	0,19	41,59	0,01	110,80	0,65
H15	HV - náběh střed - T	5,000	4.CO1/33	1977,37	-3,47	-53,45	0,00	-136,26	-13,81
H35	HV - náběh střed - T	5,000	3.CO1/32	1985,98	3,36	-52,99	0,00	-135,21	13,39

5.7 Svislice vazníků

Tab. 5.7: Vnitřní síly - globální extrémní sil, svislice vazníků

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S22	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	0,000	1.CO1/8	-1455,87	0,00	0,00	-0,15	0,00	0,00
S48	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	3,000	1.CO4/1	829,88	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,00
S13	Vazník - S13 - T	0,000	4.CO1/34	-29,43	-1,73	0,00	0,00	0,00	0,00
S13	Vazník - S13 - T	1,699	4.CO1/35	-20,85	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00
S9	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	3,000	4.CO1/35	-596,88	0,00	-6,11	-0,28	0,00	0,00
S9	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	0,000	4.CO1/34	-770,63	0,00	6,11	-0,47	0,00	0,00
S51	Vazník - S12 - TR KR 193.7X6	0,000	3.CO1/17	-363,80	0,00	0,00	-0,54	0,00	0,00
S64	Vazník - S12 - TR KR 193.7X6	0,000	4.CO1/16	-369,72	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00
S100	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	1,500	3.CO1/36	-610,54	0,00	0,24	0,25	-1,41	0,00
S9	Vazník - S9 - TR KR 219.1X12.5	1,500	4.CO1/35	-597,96	0,00	0,00	-0,28	4,61	0,00
S13	Vazník - S13 - T	0,850	4.CO1/35	-21,37	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,74
S104	Vazník - S13 - T	0,850	3.CO1/36	-23,33	0,08	0,00	0,00	0,00	0,30

5.8 Diagonály vazníků

Tab. 5.8: Vnitřní síly - globální extrémní sil, diagonály vazníků

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
D48	Vazník - D12 - TR KR 193.7X10	0,000	1.CO4/1	-986,34	0,00	0,56	-0,06	0,00	0,00
D70	Vazník - D10 - TR KR 193.7X10	3,658	1.CO1/2	1110,41	0,00	-0,64	0,01	0,00	0,00
D95	Vazník - D11 - TR KR 193.7X10	3,426	3.CO1/36	322,69	-2,18	-0,64	-0,08	0,00	0,00
D95	Vazník - D11 - TR KR 193.7X10	0,000	3.CO1/33	416,03	2,27	0,64	-0,11	0,00	0,00
D10	Vazník - D10 - TR KR 193.7X10	3,658	1.CO1/5	249,31	0,00	-0,75	0,00	0,00	0,00
D10	Vazník - D10 - TR KR 193.7X10	0,000	1.CO1/5	247,71	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00
D21	Vazník - D9 - TR KR 168.3X8	0,000	4.CO1/34	657,97	0,00	0,45	-0,36	0,00	0,00
D20	Vazník - D8 - TR KR 168.3X8	0,000	4.CO1/34	525,91	0,00	0,45	0,36	0,00	0,00
D1	Vazník - D1 - TR KR 114.3X4	0,000	1.CO1/14	87,60	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
D10	Vazník - D10 - TR KR 193.7X10	1,829	1.CO1/5	248,51	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00
D92	Vazník - D8 - TR KR 168.3X8	1,953	3.CO1/37	300,60	0,03	0,00	-0,21	0,43	-2,66
D95	Vazník - D11 - TR KR 193.7X10	1,713	3.CO1/36	322,10	-0,08	0,00	-0,08	0,55	2,53

5.9 Dolní pásy vaznic

Tab. 5.9: Vnitřní síly - globální extrémy sil, dolní pásy vaznic

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
VB22	Vaznice 1-VB1- TR 4HR 100/100/6	1,875	3.CO1/13	-174,19	-0,14	-0,77	0,01	-0,36	-0,27
VB44	Vaznice 2-VB2- TR 4HR 100/100/6	5,625	1.CO1/22	204,13	0,26	1,12	0,06	0,14	1,97
VB49	Vaznice 7-VB7- TR 4HR 100/80/6	15,000	2.CO2/23	0,39	-3,48	4,50	-0,39	0,00	0,00
VB7	Vaznice 7-VB7- TR 4HR 100/80/6	0,000	2.CO2/15	0,39	3,47	-4,50	0,39	0,00	0,00
VB48	Vaznice 6-VB6- TR 4HR 100/100/5	13,125	1.CO2/24	-0,74	0,90	-14,03	0,45	4,45	-1,80
VB6	Vaznice 6-VB6- TR 4HR 100/100/5	1,875	1.CO2/6	-0,75	-0,87	14,03	-0,44	4,45	-1,76
VB4	Vaznice 4-VB4- TR 4HR 100/100/5	13,125	2.CO1/25	-44,43	-1,47	1,02	-0,80	-0,11	2,88
VB46	Vaznice 4-VB4- TR 4HR 100/100/5	0,000	2.CO1/25	-44,48	1,60	0,90	0,80	0,00	0,00
VB44	Vaznice 2-VB2- TR 4HR 100/100/6	0,937	1.CO2/26	0,53	1,01	2,33	0,37	-3,27	0,95
VB43	Vaznice 1-VB1- TR 4HR 100/100/6	3,750	2.CO1/25	82,72	-1,87	-0,47	-0,06	0,41	-4,69
VB49	Vaznice 7-VB7- TR 4HR 100/80/6	13,125	2.CO2/23	0,39	-1,27	-6,76	-0,39	2,12	4,39

5.10 Horní pásy vaznic

Tab. 5.10: Vnitřní síly - globální extrémy sil, horní pásy vaznic

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
VH44	Vaznice 2-VH2- TR 4HR 100/100/6	5,625	1.CO1/22	-200,86	-0,36	14,62	0,09	-4,18	0,31
VH43	Vaznice 1-VH1- TR 4HR 100/100/6	5,625	1.CO2/6	129,12	-0,16	0,92	-0,06	-0,83	0,55
VH7	Vaznice 7-VH7- TR 4HR 100/80/6	3,750	2.CO3/27	-42,36	-4,04	-2,28	-0,02	-0,60	-3,07
VH49	Vaznice 7-VH7- TR 4HR 100/80/6	11,250	2.CO3/28	-42,37	4,05	2,28	0,02	-0,60	-3,07
VH5	Vaznice 5-VH5- TR 4HR 100/100/5	1,875	1.CO1/14	-92,74	0,30	-20,02	0,13	-6,23	0,43
VH47	Vaznice 5-VH5- TR 4HR 100/100/5	13,125	1.CO1/22	-92,81	-0,30	20,02	-0,13	-6,23	0,44
VH20	Vaznice 6-VH6- TR 4HR 100/100/5	13,125	1.CO3/29	8,09	-0,41	2,24	-0,36	-0,72	0,64
VH34	Vaznice 6-VH6- TR 4HR 100/100/5	0,000	1.CO3/30	8,08	0,28	1,48	0,36	0,00	0,00
VH45	Vaznice 3-VH3- TR 4HR 100/100/6	0,937	1.CO1/22	-77,71	-0,25	-3,28	-0,05	4,77	-0,23
VH49	Vaznice 7-VH7- TR 4HR 100/80/6	11,250	2.CO1/31	-78,34	4,05	5,43	0,02	-1,49	-3,08
VH49	Vaznice 7-VH7- TR 4HR 100/80/6	13,125	2.CO2/23	49,34	2,01	-0,94	0,01	-0,48	2,73

5.11 Svislice vaznic

Tab. 5.11: Vnitřní síly - globální extrémy sil, svislice vaznic

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
VS324	Vaznice 6-svislice- TR KR 76.1X6	0,000	1.CO1/22	-129,29	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00
VS42	Vaznice 6-svislice- TR KR 76.1X6	2,560	1.CO2/24	58,05	0,00	0,00	-0,77	0,00	0,00
VS337	Vaznice 7-svislice- TR 4HR 80/50/5	1,699	2.CO1/32	-26,32	-1,67	0,00	1,17	0,00	0,00
VS337	Vaznice 7-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	2.CO1/25	-33,96	1,67	0,00	1,16	0,00	0,00
VS299	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,920	1.CO1/14	-32,93	0,00	-0,49	-1,27	0,00	0,00
VS299	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	1.CO1/22	-41,81	0,00	0,49	-1,22	0,00	0,00
VS1	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	2.CO1/7	-39,21	0,00	0,00	-2,42	0,00	0,00

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
VS299	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	2.CO1/31	-39,22	0,00	0,00	2,42	0,00	0,00
VS2	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	2.CO1/7	-24,98	0,00	0,00	-1,61	0,00	0,00
VS299	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,460	1.CO1/14	-32,98	0,00	0,00	-1,27	0,15	0,00
VS1	Vaznice 1-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,000	1.CO2/26	17,90	0,00	0,40	1,49	0,00	0,00
VS337	Vaznice 7-svislice- TR 4HR 80/50/5	0,850	2.CO1/32	-26,40	0,00	0,00	1,17	0,00	0,94

5.12 Diagonály vaznic

Tab. 5.12: Vnitřní síly - globální extrémní sil, diagonály vaznic

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
VD48	Vaznice 6-diagonála- TR KR 76.1X6	0,000	1.CO2/24	-100,23	0,00	0,10	-0,46	0,00	0,00
VD371	Vaznice 6-diagonála- TR KR 76.1X6	3,173	1.CO1/22	163,14	0,00	-0,11	0,54	0,00	0,00
VD1	Vaznice 1-diagonála- TR KR 76.1X4	0,000	2.CO1/25	91,79	0,00	0,08	-0,46	0,00	0,00
VD41	Vaznice 6-diagonála- TR KR 76.1X6	3,173	1.CO1/5	28,06	0,00	-0,13	0,01	0,00	0,00
VD41	Vaznice 6-diagonála- TR KR 76.1X6	0,000	1.CO1/5	27,71	0,00	0,13	0,01	0,00	0,00
VD25	Vaznice 4-diagonála- TR KR 88.9X4	0,000	2.CO1/7	129,52	0,00	0,09	-0,94	0,00	0,00
VD363	Vaznice 4-diagonála- TR KR 88.9X4	0,000	2.CO1/31	129,51	0,00	0,09	0,94	0,00	0,00
VD1	Vaznice 1-diagonála- TR KR 76.1X4	0,000	1.CO1/8	96,66	0,00	0,08	0,13	0,00	0,00
VD41	Vaznice 6-diagonála- TR KR 76.1X6	1,587	1.CO1/5	27,88	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00
VD1	Vaznice 1-diagonála- TR KR 76.1X4	0,000	1.CO1/14	97,66	0,00	0,08	0,24	0,00	0,00

5.13 Stabilizační prvky vaznic

Tab. 5.13: Vnitřní síly - globální extrémní sil, stabilizační prvky vaznic

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ST21	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	0,000	4.CO1/34	-54,43	0,00	0,26	0,02	0,00	0,00
ST165	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	0,000	3.CO1/13	47,17	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
ST1	Stabilizační prvek - TR 4HR 50/50/5	0,000	1.CO1/22	-0,35	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
ST19	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	5,018	1.CO1/5	7,50	0,00	-0,31	0,00	0,00	0,00
ST19	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	0,000	1.CO1/5	7,44	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00
ST252	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	0,000	3.CO1/38	11,87	0,00	0,26	-0,06	0,00	0,00
ST24	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	0,000	3.CO1/38	10,87	0,00	0,26	0,06	0,00	0,00
ST1	Stabilizační prvek - TR 4HR 50/50/5	0,000	4.CO2/18	0,03	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
ST24	Stabilizační prvek u ztužidla - TR 4HR 80/80/4	2,509	1.CO1/5	4,00	0,00	0,00	0,02	0,38	0,00
ST1	Stabilizační prvek - TR 4HR 50/50/5	0,000	4.CO2/39	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00

5.14 Podélná střešní ztužidla

Pro určení největších globálních extrémů na podélných střešních ztužidlech je vytvořena nelineární kombinace NC1, ve které je vyloučeno působení ztužidel namáhaných tlakem.

Tab. 5.14: Vnitřní síly - globální extrémy sil, podélná střešní ztužidla

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Z5	Ztužidlo - KR 30	6,254	NC1	-0,01	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00
Z23	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	63,91	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
Z1	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	40,52	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
Z1	Ztužidlo - KR 30	6,254	NC1	40,50	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00
Z36	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	-0,01	0,00	0,20	-0,01	0,00	0,00
Z21	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	50,28	0,00	0,20	0,01	0,00	0,00
Z1	Ztužidlo - KR 30	3,127	NC1	40,51	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00

5.15 Příčná střešní ztužidla

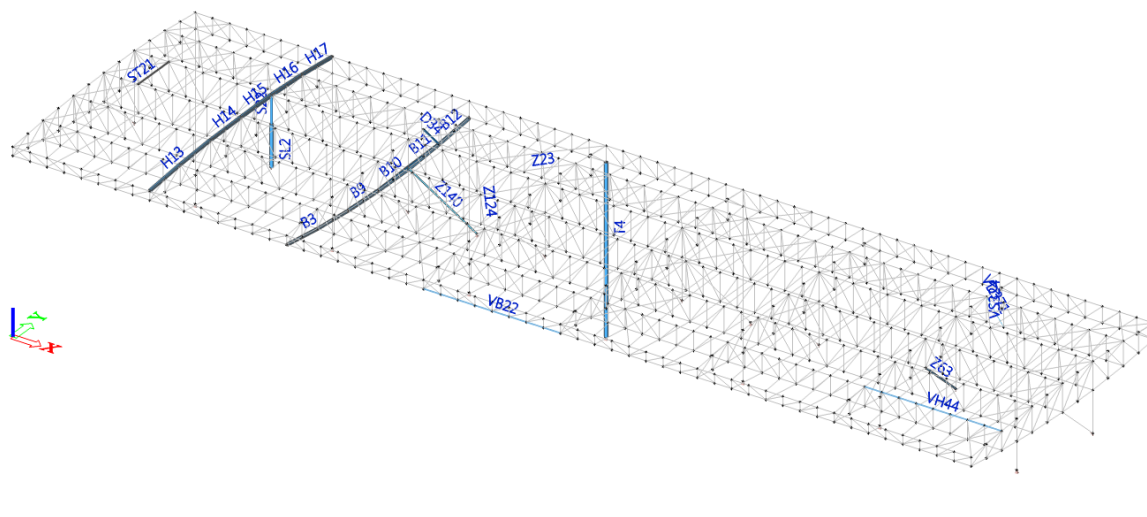
Pro určení největších globálních extrémů na příčných střešních ztužidlech je vytvořena nelineární kombinace NC1, ve které je vyloučeno působení ztužidel namáhaných tlakem.

Tab. 5.15: Vnitřní síly - globální extrémy sil, příčná ztužidla

Prvek	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Z66	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	-0,01	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
Z124	Ztužidlo - KR 30	6,251	NC1	79,65	0,00	-0,20	0,00	-0,21	0,00
Z123	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	0,00	0,00	0,19	0,00	-0,20	0,01
Z124	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	79,64	0,00	0,19	0,00	-0,20	0,00
Z125	Ztužidlo - KR 30	6,250	NC1	0,00	0,00	-0,20	0,00	-0,22	0,00
Z129	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	0,01	0,00	0,20	0,00	-0,21	0,00
Z36	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	-0,01	0,00	0,20	-0,01	0,00	0,00
Z21	Ztužidlo - KR 30	0,000	NC1	50,28	0,00	0,20	0,01	0,00	0,00
Z65	Ztužidlo - KR 30	3,132	NC1	8,23	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00
Z122	Ztužidlo - KR 30	6,255	NC1	35,74	0,00	-0,20	0,00	-0,21	-0,01

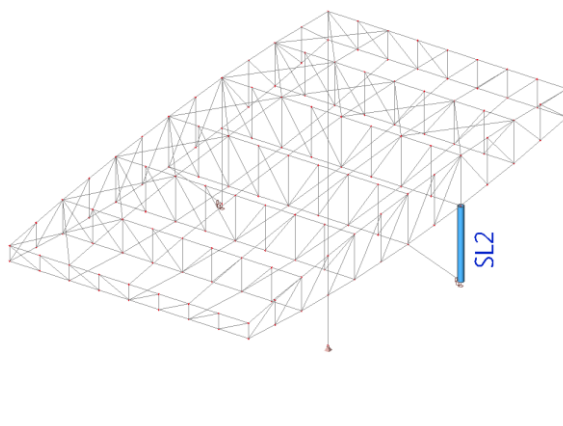
6 Posouzení základních konstrukčních prvků

V této části je provedeno ruční posouzení jednotlivých typů průřezů pro neméně příznivou kombinaci vnitřních sil. V části 03 – Statický výpočet – Scia Engineer je vždy uveden detailní posudek prvku z programu Scia Engineer a stručné posudky pro ostatní prvky daného průřezu.



Obr. 6.1: Posouzené prvky nosné konstrukce

6.1. Sloupy



Obr. 6.2: Zvýrazněný posuzovaný sloup SL2

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC6·1,5 + LC8·0,9 + LC12·0,9):

$$N_{Ed} = -1807,93 \text{ kN}$$

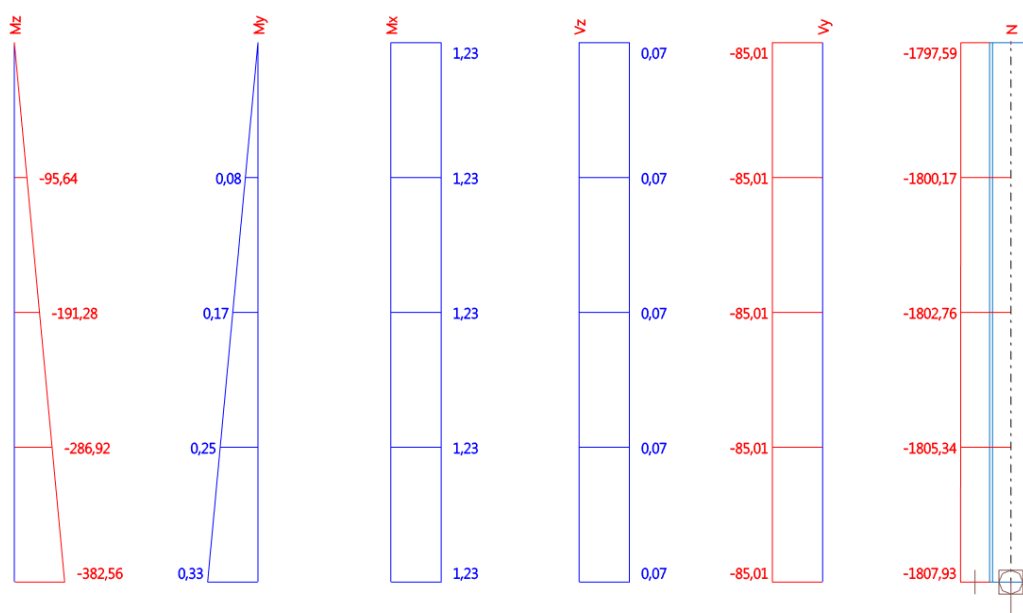
$$V_{y,Ed} = -85,01 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,07 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 1,23 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,33 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -382,56 \text{ kNm}$$



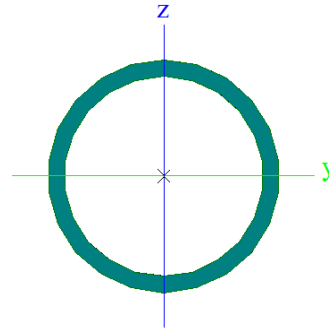
Obr. 6.3: Vnitřní síly na posuzovaném sloupu SL2

Průřezové charakteristiky: TR KR 355.6X25

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}A &= 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\A_y &= 1,749 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\A_z &= 1,749 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\I_y &= 3,568 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_y &= 0,117 \text{ m} \\I_z &= 3,568 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_z &= 0,117 \text{ m} \\I_t &= 7,136 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 2,007 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 2,007 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 2,698 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 2,698 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.4: Průřez TR KR 355.6X25

Zatřívění průřezu:

$$d/t = 355,6/25 = 14,224 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.1.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-1807,93}{-6110} = 0,30 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -6110 \text{ kN}$$

Kroucení

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{1,23}{544,54} = 0,002 \leq 1,00$$

$$T_{Rd} = f_d \cdot W_t = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot \frac{2 \cdot I_t}{d} = \frac{235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} \cdot \frac{2 \cdot 7,136 \cdot 10^{-4}}{0,3556} = 544,54 \text{ kN}$$

Smyk

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl,Rd}} = \frac{85,01}{2373,0} = 0,04 \leq 1,00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{0,07}{2373,0} = \mathbf{0,00 \leq 1,00}$$

$$A_y = A_z \Rightarrow V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,749 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,373,0 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{0,33^2 + 382,56^2} = 382,56 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{382,56}{634,03} = \mathbf{0,60 \leq 1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,698 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 634,03 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu, osově a smykové síly

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right)^1 = \left(\frac{0,33}{530,12}\right)^1 + \left(\frac{382,56}{530,12}\right)^1 = \mathbf{0,72 \leq 1,00}$$

$V_{ed} \leq 50\% V_{pl,Rd} \Rightarrow$ návrhovou plastickou smykovou únosnost $V_{pl,Rd}$ je možné zanedbat na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd} \Rightarrow M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{N,Rd}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_w) = 634,03 \cdot (1 - 0,296) / (1 - 0,5 \cdot 0,316) = 530,12 \text{ kNm}$$

$$N = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 1807,93 / 6110 = 0,296$$

$$a_w = a_f = (A - 2bt) / A = (2,6 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 0,3556 \cdot 0,025) / 2,6 \cdot 10^{-2} = 0,316$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.1.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů, přičemž proti vybočení v rovině z-z působí ztužidla, která jsou v této rovině. To napomáhá snížit vzpěrnou délku až na hodnotu 0,7násobku systémové délky. V rovině y-y je hodnota stanovena na 2,0násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám vetknutého sloupu.

Rovina y-y:

$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$k_y = 2,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 2,0 \cdot 4,5 = 9,0 \text{ m}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 4,5 \text{ m}$$

$$k_z = 0,7$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 0,7 \cdot 4,5 = 3,15 \text{ m}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,568 \cdot 10^{-4}}{9,0^2} = 9\,129,75 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9,0}{0,117} = 76,92$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{9\,129\,750}} = 0,818$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,818 - 0,2) + 0,818^2 \right] = 0,899$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,899 + \sqrt{0,899^2 - 0,818^2}} = 0,786$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,786 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 4\,802,46 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{1\,807,93}{4\,802,46} = 0,38 \leq 1,00$$

Rovina z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,568 \cdot 10^{-4}}{3,15^2} = 74\,528,57 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,15}{0,117} = 26,92$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{74\,528\,570}} = 0,286$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,286 - 0,2) + 0,286^2 \right] = 0,545$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,545 + \sqrt{0,545^2 - 0,286^2}} = 0,991$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,991 \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 6\,055,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{1\,807,93}{6\,055,01} = \mathbf{0,30 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,807,93}{\frac{0,786 \cdot 6\,110}{1,00}} + 1,109 \cdot \frac{0,33}{\frac{1,0 \cdot 634,03}{1,00}} + 0,369 \cdot \frac{382,56}{\frac{634,03}{1,00}} = \mathbf{0,60} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,807,93}{\frac{0,991 \cdot 6\,110}{1,00}} + 0,666 \cdot \frac{0,33}{\frac{1,0 \cdot 634,03}{1,00}} + 0,615 \cdot \frac{382,56}{\frac{634,03}{1,00}} = \mathbf{0,67} \leq \mathbf{1,0}$$

$$N_{rk} = 6110 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 634,03 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 634,03 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1807,93 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,33 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -382,56 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$\mathbf{k_{yy} = 1,109}$$

$$\mathbf{k_{zy} = 0,666}$$

$$\mathbf{k_{zz} = 0,615}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,369}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (0,818 - 0,2) \cdot \frac{1807,93}{0,786 \cdot 6110 / 1,0} \right) = \mathbf{1,109}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1807,93}{0,786 \cdot 6110 / 1,0} \right) = 1,171$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,109 = \mathbf{0,666}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,6 \cdot \left(1 + (0,286 - 0,2) \cdot \frac{1807,93}{0,991 \cdot 6110 / 1,0} \right) = \mathbf{0,615}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1807,93}{0,991 \cdot 6110 / 1,0} \right) = 0,743$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,615 = \mathbf{0,369}$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 0,600$$

$$C_{mLT} = \text{prut není náchylný na klopení}$$

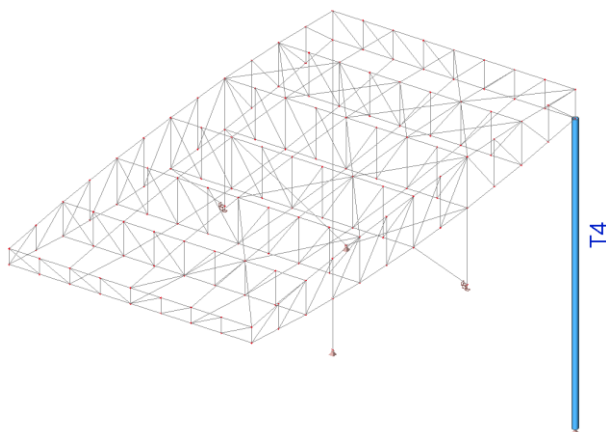
$$\psi_y = 0,000$$

$$\psi_z = 0,000$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.2 Táhla

Táhla jsou posuzována jako tlačené sloupy, protože vítr nosnou konstrukci v určitých návrhových situacích nadzvedává.



Obr. 6.5: Zvýrazněný posuzované táhlo T4

Vnitřní síly (LC1·1,0 + LC2·1,0 + LC4·1,0 + LC11·1,5 + LC12·1,5):

$$N_{Ed} = -747,58 \text{ kN}$$

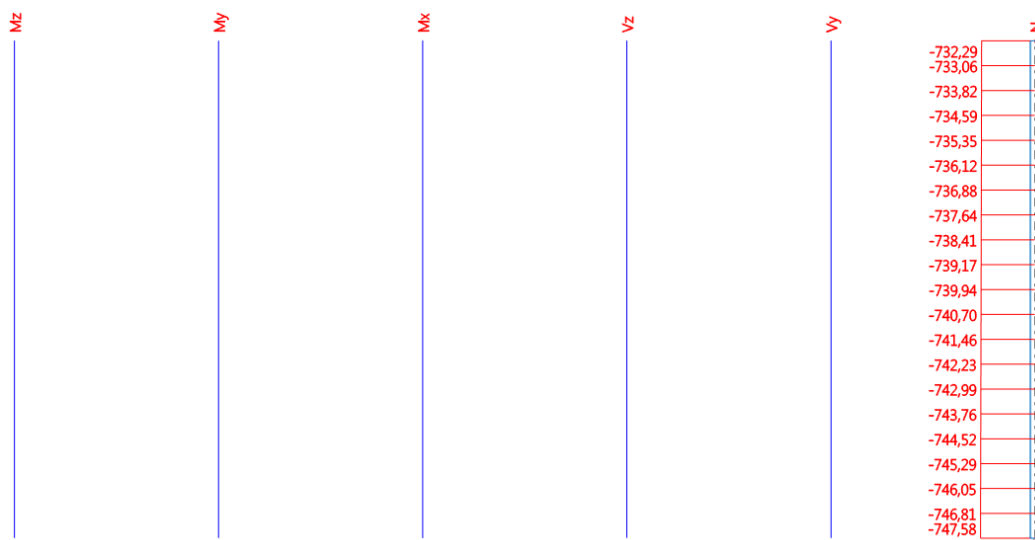
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



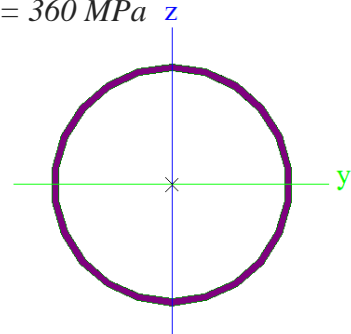
Obr. 6.6: Vnitřní síly na posuzovaném táhle T4

Průřezové charakteristiky: TR KR 355.6X10

$$\begin{aligned} A &= 1,09 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ A_y &= 7,257 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ A_z &= 7,257 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ I_y &= 1,622 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_y &= 0,122 \text{ m} \\ I_z &= 1,622 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_z &= 0,122 \text{ m} \\ I_t &= 3,244 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\ I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\ W_{el,y} &= 9,120 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\ W_{el,z} &= 9,120 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\ W_{pl,y} &= 1,188 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ W_{pl,z} &= 1,188 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned} E &= 210000 \text{ MPa} \\ G &= 81000 \text{ MPa} \\ f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\ f_{uk} &= 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Obr. 6.7: Průřez TR KR 355.6X10

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 355,6/10 = 35,56 \leq 50 \cdot \epsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.2.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-747,58}{-2\,561,5} = 0,29 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -2\,561,5 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{591,27}{2\,561,5} = 0,23 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,561,5 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nenacházejí vnitřní síly, které vyvozují kroucení,
 $T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nenacházejí vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$.

Prvek vyhoví na pevnost!

6.2.3 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 18,207 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 18,207 = \mathbf{18,207 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 18,207 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 18,207 = \mathbf{18,207 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,622 \cdot 10^{-4}}{18,207^2} = 1\,014,129 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{18,207}{0,122} = 149,237$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1\,014\,129}} = 1,589$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,589 - 0,2) + 1,589^2 \right] = 1,908$$

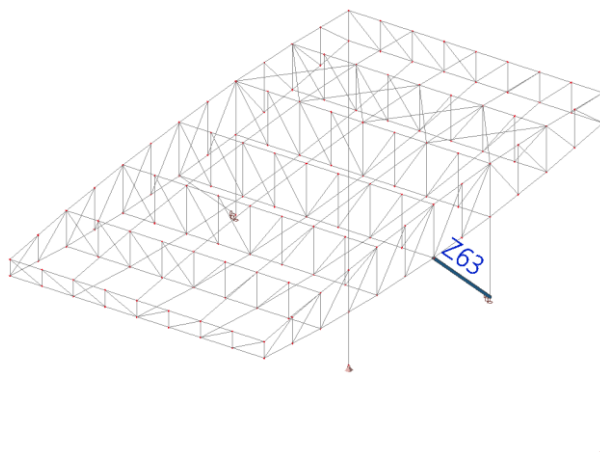
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,908 + \sqrt{1,908^2 - 1,589^2}} = 0,337$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,337 \cdot 1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 863,225 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{747,58}{863,225} = \mathbf{0,87 \leq 1,00}$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.3 Vzpěry



Obr. 6.8: Zvýrazněná posuzovaná vzpěra Z63

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC7·0,75 + LC8·1,5 + LC12·1,5):

$$N_{Ed} = -243,45 \text{ kN}$$

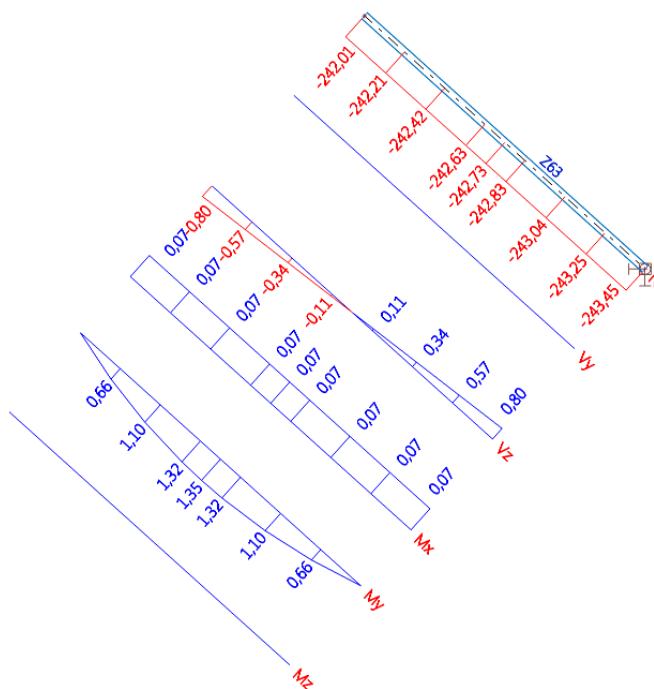
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,80 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,07 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 1,35 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



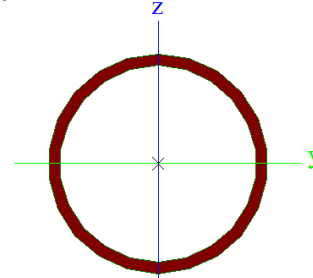
Obr. 6.9: Vnitřní síly na posuzované vzpěře Z63

Průřezové charakteristiky: TR KR 152.4X8

$$\begin{aligned}A &= 3,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 2,434 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_z &= 2,434 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 9,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_y &= 0,051 \text{ m} \\I_z &= 9,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_z &= 0,051 \text{ m} \\I_t &= 1,898 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 1,662 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 1,662 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.10: Průřez TR KR 152.4X8

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 152,4/8 = 19,05 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.3.2 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-243,45}{-853,05} = 0,29 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,63 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -853,05 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,07 \text{ kNm}$. Kroucení proto považuji za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,80 \text{ kNm}$. Smyk proto považuji za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Ohybový moment

$$M_{Ed} = M_{y,Ed} = 1,35 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{1,35}{39,057} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,662 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 39,057 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.3.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 6,727 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 6,727 = \mathbf{6,727 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 6,727 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 6,727 = \mathbf{6,727 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 9,49 \cdot 10^{-6}}{6,727^2} = 434,652 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cry}}{i_y} = \frac{6,727}{0,051} = 131,9$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,63 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{434\,652}} = 1,40$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,40 - 0,2) + 1,40^2 \right] = 1,606$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,606 + \sqrt{1,606^2 - 1,40^2}} = 0,418$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,418 \cdot 3,63 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 356,575 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{243,45}{356,575} = \mathbf{0,68 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05}}{1,00} + 1,392 \cdot \frac{\frac{1,35}{1,0 \cdot 39,057}}{1,00} + 0,927 \cdot \frac{\frac{0,00}{39,057}}{1,00} = \mathbf{0,73 \leq 1,0}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05}}{1,00} + 0,835 \cdot \frac{\frac{1,35}{1,0 \cdot 39,057}}{1,00} + 1,546 \cdot \frac{\frac{0,00}{39,057}}{1,00} = \mathbf{0,71 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = 853,05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 39,057 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 39,057 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -243,45 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1,35 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$k_{yy} = 1,392$$

$$k_{zy} = 0,835$$

$$k_{zz} = 1,546$$

$$k_{yz} = 0,927$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (1,40 - 0,2) \cdot \frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05/1,0} \right) = 1,637$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05/1,0} \right) = 1,392$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,392 = 0,835$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + (1,40 - 0,2) \cdot \frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05/1,0} \right) = 1,81$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{243,45}{0,418 \cdot 853,05/1,0} \right) = 1,546$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,546 = 0,927$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 1,000$$

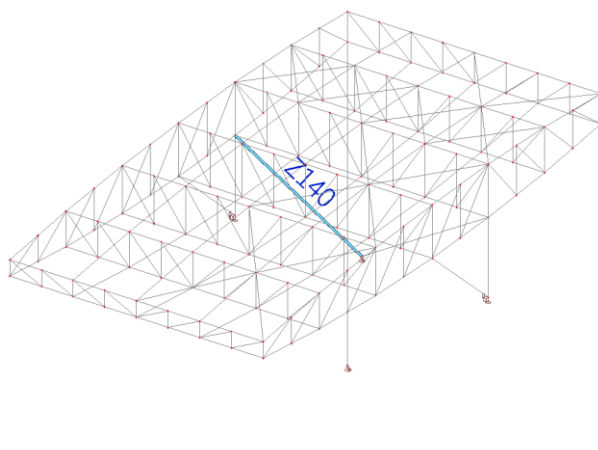
C_{mLT} = prut není náchylný na klopení

$$\psi_y = 1,000$$

$$\psi_z = 1,000$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.4 Podélná ztužidla



Obr. 6.11: Zvýrazněné posuzované ztužidlo Z140

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC5·0,75 + LC23·1,5 + LC25·1,5):

$$N_{Ed} = -94,09 \text{ kN}$$

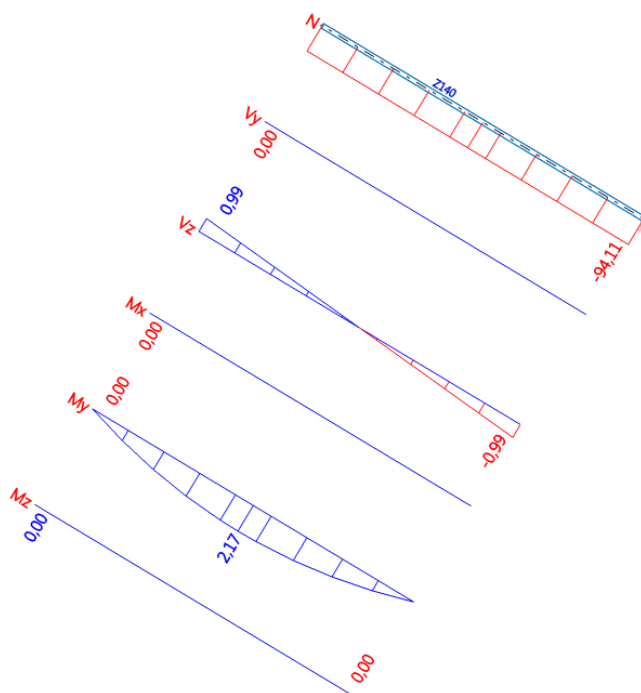
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -0,99 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 2,17 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



Obr. 6.12: Vnitřní síly na posuzovaném ztužidle Z140

Průřezové charakteristiky: TR KR 127X8

$$\begin{aligned}A &= 2,99 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 2,011 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_z &= 2,011 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 5,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_y &= 0,042 \text{ m} \\I_z &= 5,32 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_z &= 0,042 \text{ m} \\I_t &= 1,064 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 8,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 8,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 1,118 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 1,118 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 127/8 = 15,875 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.4.2 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-94,09}{-702,65} = 0,13 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,99 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -702,65 \text{ kN}$$

Kroucení

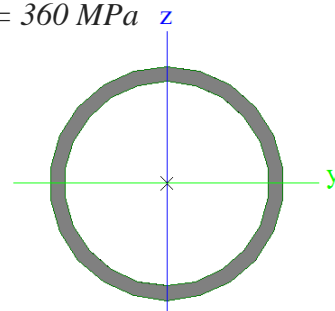
Na posuzovaném prvku se nenacházejí vnitřní síly, které vyvozují kroucení,
 $T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,99 \text{ kNm}$. Smyk proto považuji za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.13: Průřez TR KR 127X8

Ohybový moment

$$M_{Ed} = M_{y,Ed} = 2,17 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{2,17}{26,273} = \mathbf{0,08} \leq \mathbf{1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,118 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 26,273 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.4.3 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 8,746 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 8,746 = \mathbf{8,746 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 8,746 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 8,74 = \mathbf{8,746 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,32 \cdot 10^{-6}}{8,746^2} = 144,149 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cry}}{i_y} = \frac{8,746}{0,042} = 208,24$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,99 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{144 \cdot 149}} = 2,21$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (2,21 - 0,2) + 2,21^2 \right] = 3,153$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,153 + \sqrt{3,153^2 - 2,21^2}} = 0,19$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,19 \cdot 2,99 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 133,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{94,09}{133,5} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{94,09}{0,19 \cdot 702,65}}{1,00} + 1,41 \cdot \frac{\frac{2,17}{1,0 \cdot 26,273}}{1,00} + 0 = \mathbf{0,82 \leq 1,0}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{94,09}{0,19 \cdot 702,65}}{1,00} + 0,846 \cdot \frac{\frac{2,17}{1,0 \cdot 26,273}}{1,00} + 0 = \mathbf{0,77 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = 702,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 26,273 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 26,273 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -94,09 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 2,17 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$k_{yy} = 1,41$$

$$k_{zy} = 0,846$$

$$k_{zz} = 1,464$$

$$k_{yz} = 0,878$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (2,21 - 0,2) \cdot \frac{94,09}{0,19 \cdot 702,65 / 1,0} \right) = 2,17$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{94,09}{0,19 \cdot 702,65 / 1,0} \right) = 1,41$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,41 = 0,846$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + (2,21 - 0,2) \cdot \frac{94,09}{0,19 \cdot 702,65 / 1,0} \right) = 2,417$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{94,09}{0,19 \cdot 853,05 / 1,0} \right) = 1,464$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,464 = 0,878$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 1,000$$

$$C_{mLT} = \text{prut není náchylný na klopení}$$

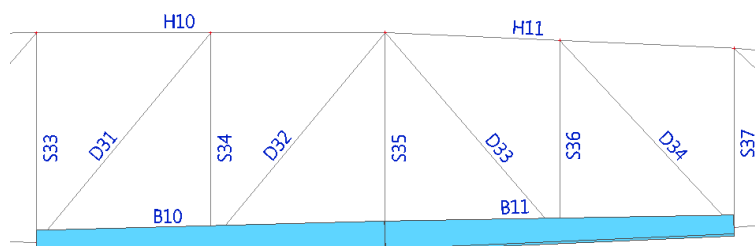
$$\psi_y = 1,000$$

$$\psi_z = 1,000$$

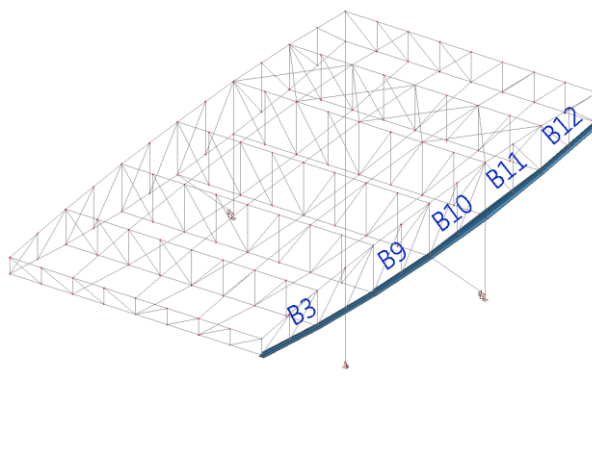
Prvek vyhoví na stabilitu!

6.5 Dolní pásy vazníků

Dolní pás vazníku je ve své střední části tvořen dvěma náběhy, prut B10 a B11. Základní průřez je svařovaný T profil o rozměrech 300X300 mm. Náběhovaný průřez je ve své nejvyšší části vysoký 432 mm a široký 400 mm, při zachování stejných tloušťkách plechu. Prut je náběhovaný kvůli zvýšení únosnosti a omezení použití oceli S 450. Vzhledem k nutnosti zvýšení stability byly na základní náběhovaný průřez přivařeny dva válcované profily L 80X6.



Obr. 6.14: Náběhovaná střední část vazníku



Obr. 6.15: Zvýrazněný posuzovaný dolní pás vazníku

Vnitřní síly ($LC1 \cdot 1,15 + LC2 \cdot 1,15 + LC4 \cdot 1,15 + LC5 \cdot 1,5 + LC23 \cdot 0,9 + LC25 \cdot 0,9$):

$$N_{Ed} = -2593,03 \text{ kN}$$

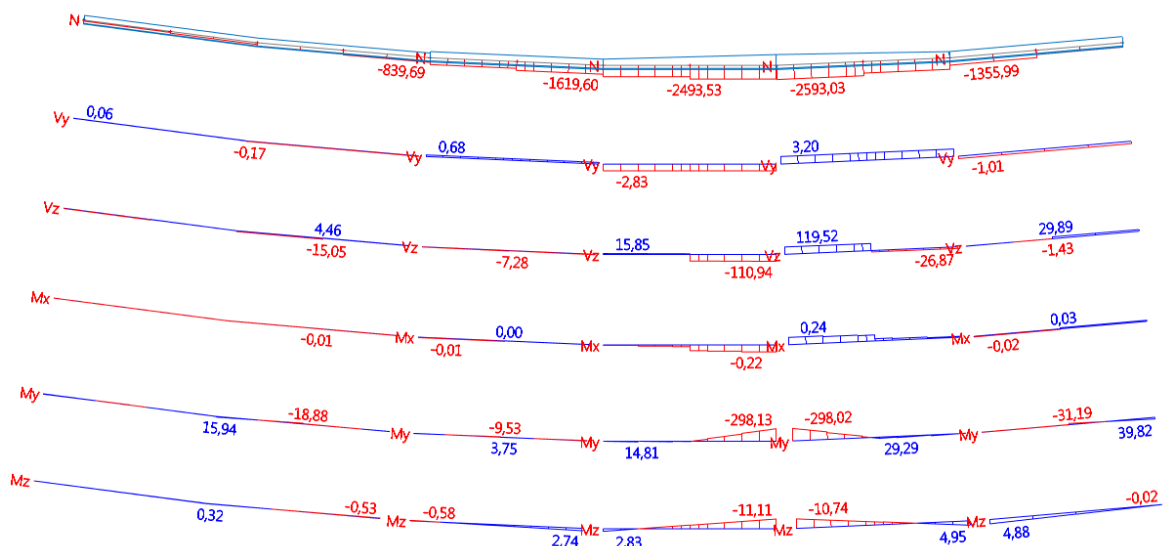
$$V_{y,Ed} = 3,20 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -119,52 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,24 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -298,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -10,24 \text{ kNm}$$



Obr. 6.16: Vnitřní síly na posuzovaném dolním pásu

Průřezové charakteristiky: T 400X432

Materiál: Ocel S 355

$$A = 2,747 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$A_y = 1,473 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$A_z = 1,362 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$I_y = 4,735 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_y = 0,131 \text{ m}$$

$$f_{uk} = 510 \text{ MPa}$$

$$I_z = 1,832 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$i_z = 0,082 \text{ m}$$

$$I_t = 2,231 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$d_y = 0,000 \text{ m}$$

$$I_\omega = 6,489 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6$$

$$d_z = -0,092 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 1,526 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 9,160 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 2,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Zatřívání průřezu:

Přečnávající části pásnic

– tlačená část

$$c/t = 184/32 = 5,75 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,326$$

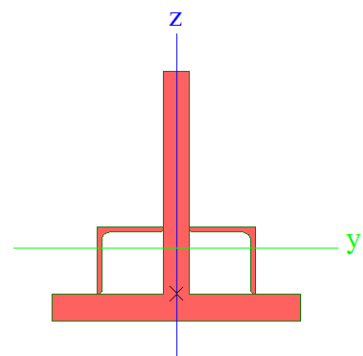
– tlačená a ohýbaná část

$$c/t = 400/32 = 12,5 \leq (9 \cdot \epsilon)/\alpha = (10 \cdot 0,814)/0,622 = 13,087$$

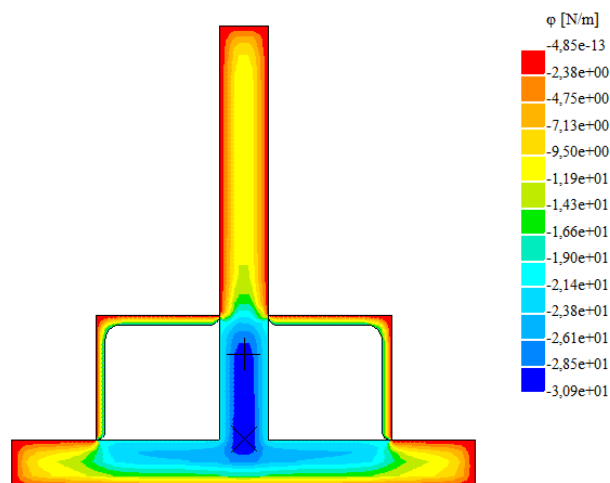
Vnitřní části

$$c/t = 80/6 = 13,33 \leq 9 \cdot \epsilon = 33 \cdot 0,814 = 26,862$$

Průřez je klasifikován jako třída průřezů 2.



Obr. 6.17: Složený průřez



Obr. 6.18: Průběh smykového napětí složeného průřezu

6.5.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-2\,593,03}{-9\,751,9} = \mathbf{0,27 \leq 1,0}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = -9\,751,9 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,24 \text{ kNm}$. Kroucení proto považuji za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{119,52}{2\,791,34} = \mathbf{0,04 \leq 1,00}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_z \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,362 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2\,791,34 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{298,02^2 + 10,77^2} = 298,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{298,21}{1\,013,028} = \mathbf{0,29 \leq 1,00}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,854 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,013,028 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5214 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 540,097 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu, osových a smykových sil

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}\right)^1 = \left(\frac{2593,02}{9751,9}\right)^1 + \left(\frac{298,02}{1013,0}\right)^1 + \left(\frac{10,77}{540,1}\right)^1 = \mathbf{0,58 \leq 1,00}$$

$V_{ed} \leq 50\% V_{pl,Rd} \Rightarrow$ návrhovou plastickou smykovou únosnost $V_{pl,Rd}$ je možné zanedbat na únosnost průřezu při působení ohybu a osových sil.

Prvek vyhoví na pevnost!

6.5.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů, přičemž proti vybočení v rovině z-z působí příhradové vaznice, která jsou v této rovině. V rovině y-y je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám. Proti vybočení v rovině y-y působí styčníky svislic a diagonál příhradových vazníků.

Rovina y-y:

$$L_y = 2,502 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 2,502 = \mathbf{2,502 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 5,005 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 5,005 = \mathbf{5,005 \text{ m}}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,7345 \cdot 10^{-4}}{2,502^2} = 156\,753,97 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,502}{0,131} = 19,1$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{156\,753\,970}} = 0,25$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,25 - 0,2) + 0,25^2 \right] = 0,54$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,54 + \sqrt{0,54^2 - 0,25^2}} = 0,97$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 9\,459,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{2\,593,02}{9\,459,3} = \mathbf{0,27 \leq 1,00}$$

Rovina z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,832 \cdot 10^{-4}}{5,005^2} = 15\,157,8 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5,005}{0,082} = 61,04$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{15\,157\,800}} = 0,80$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,8 - 0,2) + 0,8^2 \right] = 0,967$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,967 + \sqrt{0,967^2 - 0,8^2}} = 0,66$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,66 \cdot 2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 6\,436,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{2\,593,02}{6\,436,2} = \mathbf{0,40 \leq 1,00}$$

Klopení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd,z}} = \frac{298,02}{992,767} = \mathbf{0,3 \leq 1,00}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0,98 \cdot 2,8536 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1,0} = 992,767 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,544 + \sqrt{0,544^2 - 0,24^2}} = 0,98$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,76 \cdot (0,24 - 0,2) + 0,24^2 \right] = 0,544$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,8536 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{17\,423\,050}} = 0,24$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E I_z G I_t}}{L} = 3,329 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 1,832 \cdot 10^{-4} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 2,231 \cdot 10^{-5}}}{5,005} =$$

$$M_{cr} = 17\,423,05 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = c_1 \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{ot}^2 + (c_2 \cdot \zeta_g - c_3 \cdot \zeta_j)^2} - (c_2 \cdot \zeta_g - c_3 \cdot \zeta_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = 2,09 \cdot \left[\sqrt{1 + 0,273^2 + (0 - 0,85 \cdot 0,54)^2} - (0 - 0,85 \cdot 0,54) \right] = 3,329$$

$$\kappa_{\omega t} = \frac{\pi}{k_{\omega}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 6,4885 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 2,2312 \cdot 10^{-5}}} = 0,273$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,1872}{1,0 \cdot 5,005} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 1,832 \cdot 10^{-4}}{81 \cdot 2,2312 \cdot 10^{-5}}} = 0,54$$

$$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0,45 \cdot 1,0 \cdot 0,416 = 0,1872$$

$$c_1 = 2,09$$

$$c_3 = 0,85$$

Prostorový vzpěr

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{l_T^2} \right) =$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{0,032349^2} \cdot \left(81 \cdot 10^9 \cdot 2,231 \cdot 10^{-5} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,489 \cdot 10^{-8}}{5,005^2} \right) = 56\,028,9 \text{ kN}$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 0,131^2 + 0,082^2 + 0^2 + 0,092^2 = 0,032349 \text{ m}^2$$

$$N_{cr,TF} = \frac{i_0^2}{2(i_y^2 + i_z^2)} \cdot \left(N_{cr,y} + N_{cr,T} - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 \cdot N_{cr,y} \cdot N_{cr,T} \cdot \frac{i_y^2 + i_z^2}{i_0^2}} \right)$$

$$= \frac{0,032349}{2(0,131^2 + 0,082^2)} \cdot \left(15,16 \cdot 10^6 + 56,03 \cdot 10^6 - \sqrt{(15,16 \cdot 10^6 + 56,03 \cdot 10^6)^2 - 4 \cdot 15,16 \cdot 10^6 \cdot 56,03 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,131^2 + 0,082^2}{0,032349}} \right) = 13\,950 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{13\,950\,000}} = 0,836$$

$$\phi_T = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,836 - 0,2) + 0,836^2 \right] = 1,00$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{1,00 + \sqrt{1,00^2 - 0,836^2}} = 0,646$$

$$N_{b,Rd,T} = \frac{\chi_T \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,646 \cdot 2,747 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 6\,299,7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,T}} = \frac{2\,593,02}{6\,299,7} = \mathbf{0,41 \leq 1,00}$$

Tlak s ohybem

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{2593,02}{0,97 \cdot 9751,9}}{1,00} + 0,912 \cdot \frac{\frac{298,02}{0,621 \cdot 1013,03}}{1,00} + 0,251 \cdot \frac{\frac{10,77}{540,10}}{1,00} = \mathbf{0,71 \leq 1,0}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{2593,02}{0,66 \cdot 9751,9}}{1,00} + 0,923 \cdot \frac{\frac{298,02}{0,653 \cdot 1013,03}}{1,00} + 0,418 \cdot \frac{\frac{10,77}{540,10}}{1,00} = \mathbf{0,83 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = -9751,9 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 1013,03 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 540,10 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2593,02 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -298,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -10,77 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$\mathbf{k_{yy} = 0,912}$$

$$\mathbf{k_{zy} = 0,923}$$

$$\mathbf{k_{zz} = 0,418}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,251}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (0,25 - 0,2) \cdot \frac{2593,02}{0,97 \cdot 9751,9 / 1,0} \right) = \mathbf{0,912}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2593,02}{0,97 \cdot 9751,9 / 1,0} \right) = 1,117$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,286}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{2593,02}{0,66 \cdot 9751,9} \right] = \mathbf{0,923}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] = \left[1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{2593,02}{0,66 \cdot 9751,9} \right] = 0,731$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,404 \cdot \left(1 + (0,286 - 0,2) \cdot \frac{2593,02}{0,66 \cdot 9751,9 / 1,0} \right) = \mathbf{0,418}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,404 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{2593,02}{0,66 \cdot 9751,9 / 1,0} \right) = 0,534$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,418 = \mathbf{0,251}$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 0,404$$

$$C_{mLT} = 0,400$$

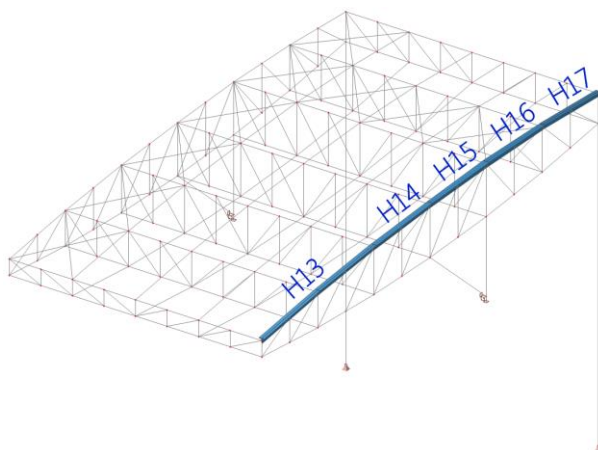
$$\psi_y = -0,094$$

$$\psi_z = -0,461$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.6 Horní pásy vazníků

Horní pás vazníku je ve své střední části tvořen dvěma náběhy, prut H15 a H16. Základní průřez je svařovaný T profil o rozměrech 300X300 mm. Náběhovaný průřez je ve své nejvyšší části vysoký 350 mm a široký 350 mm, při zachování stejných tloušťkách plechu. Prut je náběhovaný kvůli zvýšení únosnosti a omezení použití oceli S 450.



Obr. 6.19: Zvýrazněný posuzovaný horní pás vazníku

Vnitřní síly ($LC1 \cdot 1,15 + LC2 \cdot 1,15 + LC4 \cdot 1,15 + LC6 \cdot 1,5 + LC8 \cdot 0,9 + LC12 \cdot 0,9$):

$$N_{Ed} = 2184,75 \text{ kN}$$

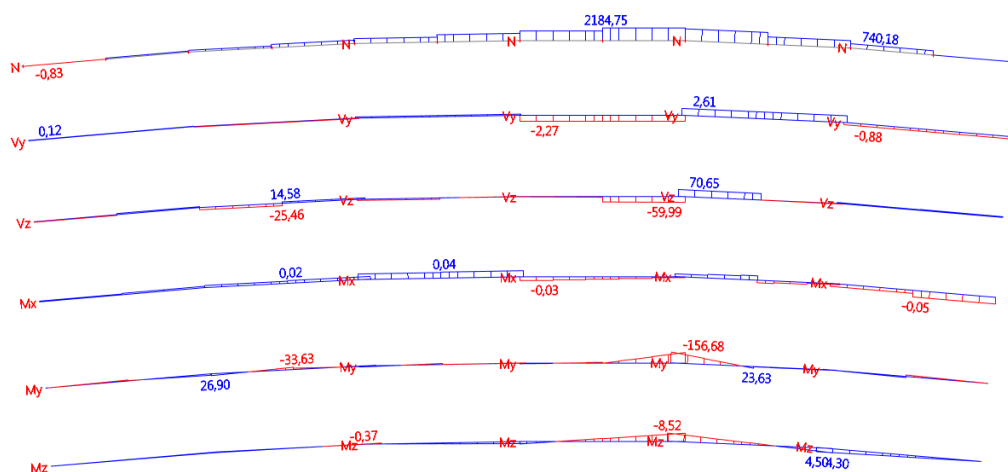
$$V_{y,Ed} = -2,27 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -55,71 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = -0,01 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -153,59 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -8,52 \text{ kNm}$$



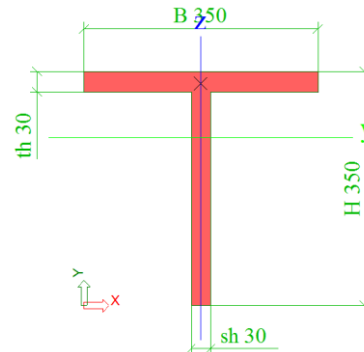
Obr. 6.20: Vnitřní síly na posuzovaném horním pásu H15

Průřezové charakteristiky: T 350X350

$$\begin{aligned}A &= 2,01 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\A_y &= 1,063 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\A_z &= 9,305 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 2,363 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_y &= 0,108 \text{ m} \\I_z &= 1,079 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 & i_z &= 0,073 \text{ m} \\I_t &= 6,165 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\I_\omega &= 3,141 \cdot 10^{-8} \text{ m}^6 \\W_{el,y} &= 9,398 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 6,166 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 1,693 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 9,908 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 355

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 355 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 510 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.21: Průřez T 350X350

Zatřídění průřezu:

Přečínávající části pásnic

– tlačená část

$$c/t = 160/30 = 5,33 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,326$$

– tlačená a ohýbaná část

$$c/t = 320/30 = 10,67 \leq (9 \cdot \varepsilon)/\alpha = (9 \cdot 0,814)/0,33 = 22,2$$

Průřez je klasifikován jako třída průřezů 1.

6.6.1 Posudek pevnosti

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{2\,184,75}{7\,135,5} = 0,31 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2,01 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7\,135,5 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = -0,01 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudech zanedbáno.

Smyk

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{59,99}{1\,896,82} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_z \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{9,305 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,896,82 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{153,59^2 + 8,52^2} = 153,83 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{153,83}{601,02} = \mathbf{0,26 \leq 1,00}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,693 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 601,02 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,908 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 351,73 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu, osově a smykové síly

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}\right)^1 = \left(\frac{2184,75}{7135,5}\right)^1 + \left(\frac{153,83}{601,02}\right)^1 + \left(\frac{8,52}{351,73}\right)^1 = \mathbf{0,59 \leq 1,00}$$

$V_{ed} \leq 50\% V_{pl,Rd} \Rightarrow$ návrhovou plastickou smykovou únosnost $V_{pl,Rd}$ je možné zanedbat na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Prvek vyhoví na pevnost!

6.6.2 Posudek stability

Klopení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd,z}} = \frac{153,59}{438,74} = \mathbf{0,35 \leq 1,00}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 0,73 \cdot 1,693 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1,0} = 438,74 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,79 + \sqrt{0,79^2 - 0,53^2}} = 0,73$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,76 \cdot (0,56 - 0,2) + 0,56^2 \right] = 0,79$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,693 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1\,906\,677}} = 0,56$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 0,93 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 1,079 \cdot 10^{-4} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 5,801 \cdot 10^{-6}}}{5,000} =$$

$$M_{cr} = 1\,906,7 \text{ kNm}$$

$$\mu_{cr} = c_1 \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_{ot}^2 + (c_2 \cdot \zeta_g - c_3 \cdot \zeta_j)^2} - (c_2 \cdot \zeta_g - c_3 \cdot \zeta_j) \right] =$$

$$\mu_{cr} = 2,11 \cdot \left[\sqrt{1 + 0,372^2 + (0 - 1,62 \cdot -0,657)^2} - (0 - 1,62 \cdot -0,657) \right] = 0,93$$

$$\kappa_{ot} = \frac{\pi}{k_{\omega}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 3,141 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 5,801 \cdot 10^{-6}}} = 0,372$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot -0,15075}{1,0 \cdot 5,005} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 1,079 \cdot 10^{-4}}{81 \cdot 5,801 \cdot 10^{-6}}} = -0,657$$

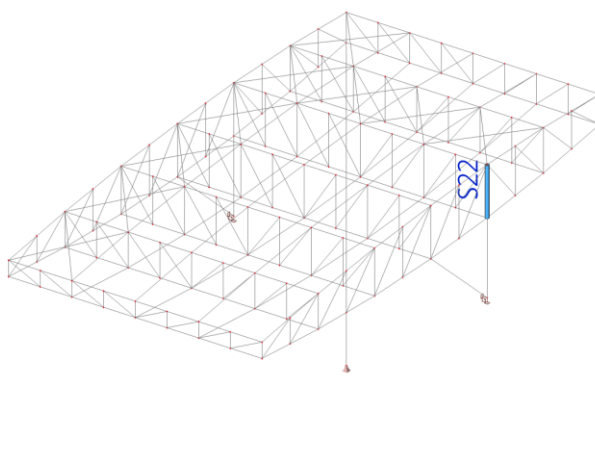
$$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_f = 0,45 \cdot -1,0 \cdot 0,335 = -0,15075$$

$$c_1 = 2,11$$

$$c_3 = 1,62$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.7 Svislice vazníků



Obr. 6.22: Zvýrazněná posuzovaná svislice vazníku S22

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC6·1,5 + LC8·0,9 + LC12·0,9):

$$N_{Ed} = -1455,73 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = -0,15 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



Obr. 6.23: Vnitřní síly na posuzované svislice vazníku S22

Průřezové charakteristiky: TR KR 219.1X12,5

Materiál: Ocel S 235

$$A = 8,113 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_y = 5,449 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_z = 5,449 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_y = 4,345 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad i_y = 0,073 \text{ m}$$

$$I_z = 4,345 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad i_z = 0,073 \text{ m}$$

$$I_t = 8,689 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad y_0 = 0,000 \text{ m}$$

$$I_\omega = 0,000 \text{ m}^6 \quad z_0 = 0,000 \text{ m}$$

$$W_{el,y} = 3,966 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 3,966 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 5,342 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

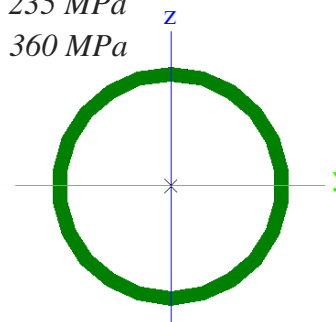
$$W_{pl,z} = 5,342 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 360 \text{ MPa}$$



Obr. 6.24: Průřez TR KR 219.1X12,5

Zatřizení průřezu:

$$d/t = 219,1/12,5 = 17,528 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.7.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-1\,455,73}{-1\,906,56} = 0,76 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,113 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -1\,906,56 \text{ kN}$$

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{829,68}{1\,906,56} = 0,44 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{8,113 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,906,56 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = -0,15 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,80 \text{ kNm}$. Smyk proto považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Prvek vyhoví na pevnost!

6.7.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 3,000 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 3,000 = \mathbf{3,000 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 3,000 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 3,000 = \mathbf{3,000 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,345 \cdot 10^{-5}}{3,000^2} = 10\,006,133 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,000}{0,073} = 41,1$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8,113 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{10\,006\,133}} = 0,44$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,44 - 0,2) + 0,44^2] = 0,622$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,622 + \sqrt{0,622^2 - 0,44^2}} = 0,942$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,942 \cdot 8,113 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 1\,800,40 \text{ kN}$$

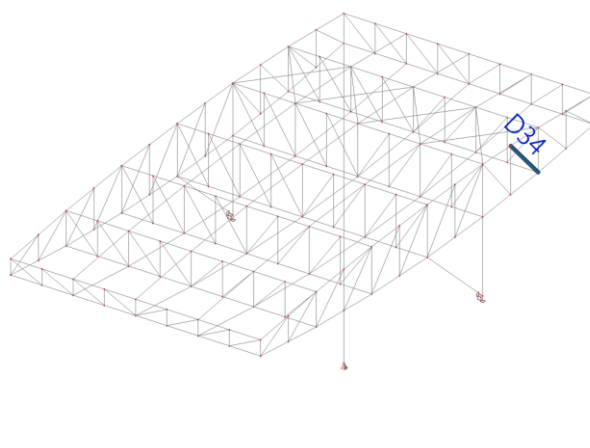
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1\,455,73}{1\,800,4} = \mathbf{0,81 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.8 Diagonály vazníků



Obr. 6.25: Zvýrazněná posuzovaná diagonála vazníku D34

Vnitřní síly ($LC1 \cdot 1,15 + LC2 \cdot 1,15 + LC4 \cdot 1,15 + LC5 \cdot 1,5 + LC8 \cdot 0,9 + LC12 \cdot 0,9$):

$$N_{Ed} = 1110,43 \text{ kN}$$

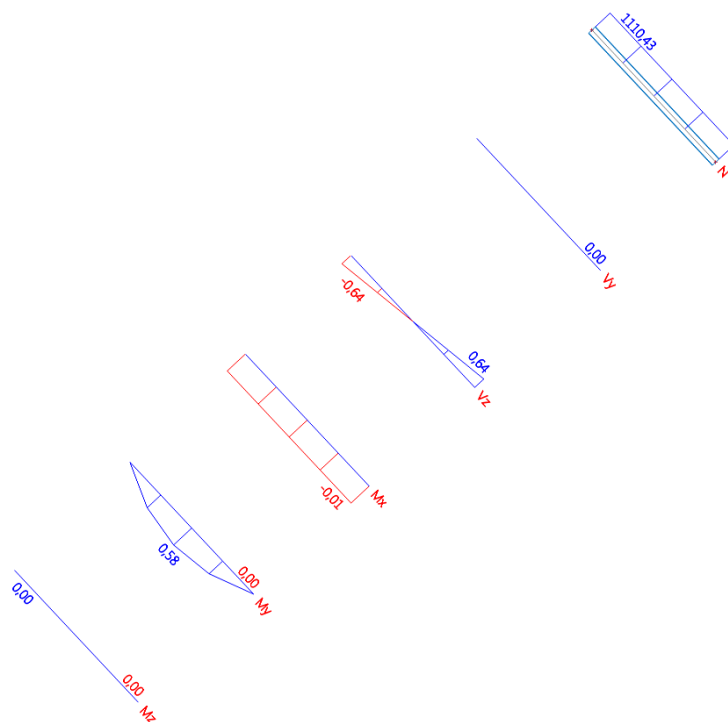
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -0,64 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = -0,01 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



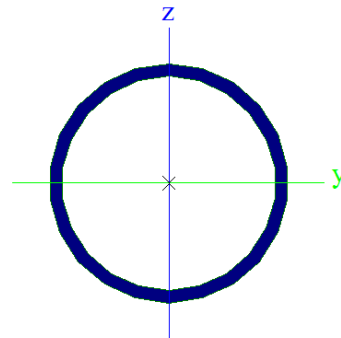
Obr. 6.26: Vnitřní síly na posuzované diagonále vazníku D34

Průřezové charakteristiky: TR KR 193.7X10

$$\begin{aligned}A &= 5,771 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_z &= 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 2,442 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 & i_y &= 0,065 \text{ m} \\I_z &= 2,442 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 & i_z &= 0,065 \text{ m} \\I_t &= 4,883 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 2,521 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 2,521 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 3,378 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 3,378 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.27: Průřez TR KR 193.7X10

Zatřívění průřezu:

$$d/t = 193,7/10 = 19,37 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.8.1 Posudek pevnosti

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1\,110,43}{1\,356,19} = 0,82 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,771 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,356,19 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = -0,01 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = -0,64 \text{ kNm}$. Smyk proto považuji za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Prvek vyhoví na pevnost!

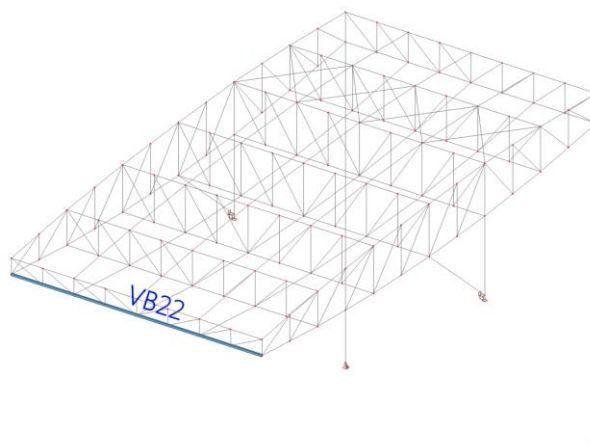
6.8.2 Posudek stability

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.9 Dolní pásy vaznic



Obr. 6.28: Zvýrazněný dolní pás vaznice VB22

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC5·0,75 + LC18·1,5 + LC22·1,5):

$$N_{Ed} = -174,17 \text{ kN}$$

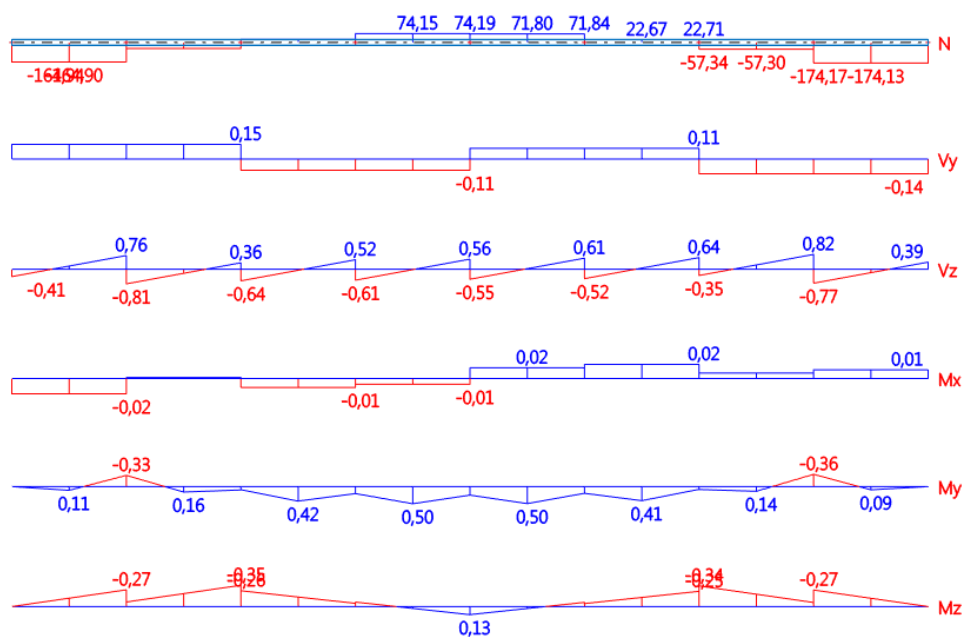
$$V_{y,Ed} = -0,14 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -0,77 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,01 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -0,36 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,27 \text{ kNm}$$



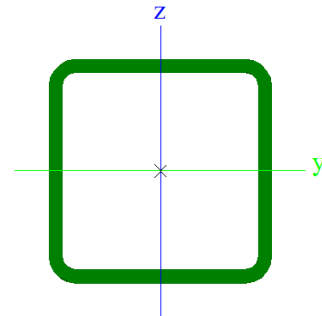
Obr. 6.29: Vnitřní síly na posuzovaném dolním pásu vaznice VB22

Průřezové charakteristiky: TR 4HR 100/100/6

$$\begin{aligned}A &= 2,163 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_z &= 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_y &= 0,038 \text{ m} \\I_z &= 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_z &= 0,038 \text{ m} \\I_t &= 5,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 6,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 6,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 7,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 7,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.30: Průřez TR 4HR 100/100/6

Zatřívění průřezu:

$$d/t = 76/6 = 12,667 \leq 33 \cdot \varepsilon^2 = 33 \cdot 1,0^2 = 33$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.9.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-174,17}{-508,305} = 0,34 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -508,305 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,01 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = -0,77 \text{ kNm}$. Smyk proto považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{0,36^2 + 0,27^2} = 0,45 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{0,45}{17,65} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,51 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 17,65 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.9.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku. V rovině y-y je bráněno vybočení styčníky svislic a diagonál příhradové vaznice. V rovině z-z je bráněno vybočení stabilizačními prvky vaznic.

Rovina y-y:

$$L_y = 1,875 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 1,875 = \mathbf{1,875 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 3,750 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 3,750 = \mathbf{3,750 \text{ m}}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,11 \cdot 10^{-6}}{1,875^2} = 1\,833,482 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,875}{0,038} = 49,34$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1\,833\,482}} = 0,527$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,527 - 0,2) + 0,527^2 \right] = 0,67$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,527^2}} = 0,92$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,92 \cdot 2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 467,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{174,17}{467,640} = \mathbf{0,37 \leq 1,00}$$

Rovina z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,11 \cdot 10^{-6}}{3,75^2} = 458,37 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,75}{0,038} = 98,68$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{458\,370}} = 1,05$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,05 - 0,2) + 1,05^2 \right] = 1,141$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,141 + \sqrt{1,141^2 - 1,05^2}} = 0,63$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,63 \cdot 2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 320,232 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{174,17}{320,232} = \mathbf{0,55 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

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

$$\frac{174,17}{\frac{0,92 \cdot 508,305}{1,00}} + 1,010 \cdot \frac{0,36}{\frac{1,0 \cdot 17,65}{1,00}} + 0,725 \cdot \frac{0,27}{\frac{17,65}{1,00}} = \mathbf{0,40 \leq 1,0}$$

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

$$\frac{174,17}{\frac{0,63 \cdot 508,305}{1,00}} + 0,606 \cdot \frac{0,36}{\frac{1,0 \cdot 17,65}{1,00}} + 1,208 \cdot \frac{0,27}{\frac{17,65}{1,00}} = \mathbf{0,57 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = -508,305 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 17,65 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 17,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -174,17 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,36 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,27 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$k_{yy} = 1,010$$

$$k_{zy} = 0,606$$

$$k_{zz} = 1,208$$

$$k_{yz} = 0,725$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (0,527 - 0,2) \cdot \frac{174,17}{0,92 \cdot 508,305/1,0} \right) = \mathbf{1,010}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{174,17}{0,92 \cdot 508,305/1,0} \right) = 1,168$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,010 = \mathbf{0,606}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,842 \cdot \left(1 + (1,05 - 0,2) \cdot \frac{174,17}{0,63 \cdot 508,305/1,0} \right) = 1,231$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,842 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{174,17}{0,63 \cdot 508,305/1,0} \right) = \mathbf{1,208}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,208 = \mathbf{0,725}$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 0,842$$

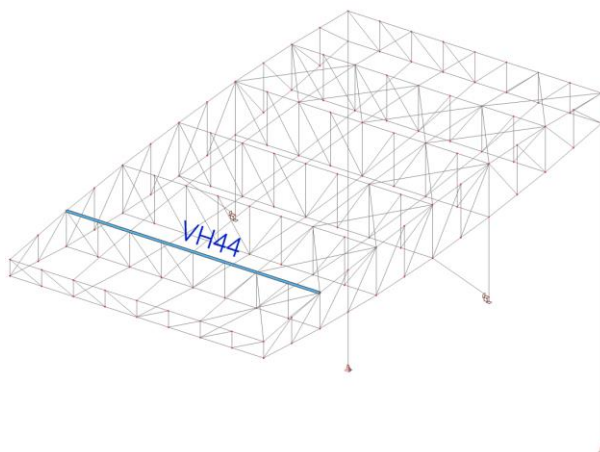
$$C_{mLT} = \text{prut není citlivý na klopení}$$

$$\psi_y = 0,000$$

$$\psi_z = 0,000$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.10 Horní pásy vaznic



Obr. 6.31: Zvýrazněný posuzovaný horní pás vaznice VH44

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC7·0,75 + LC8·1,5 + LC12·1,5):

$$N_{Ed} = -200,86 \text{ kN}$$

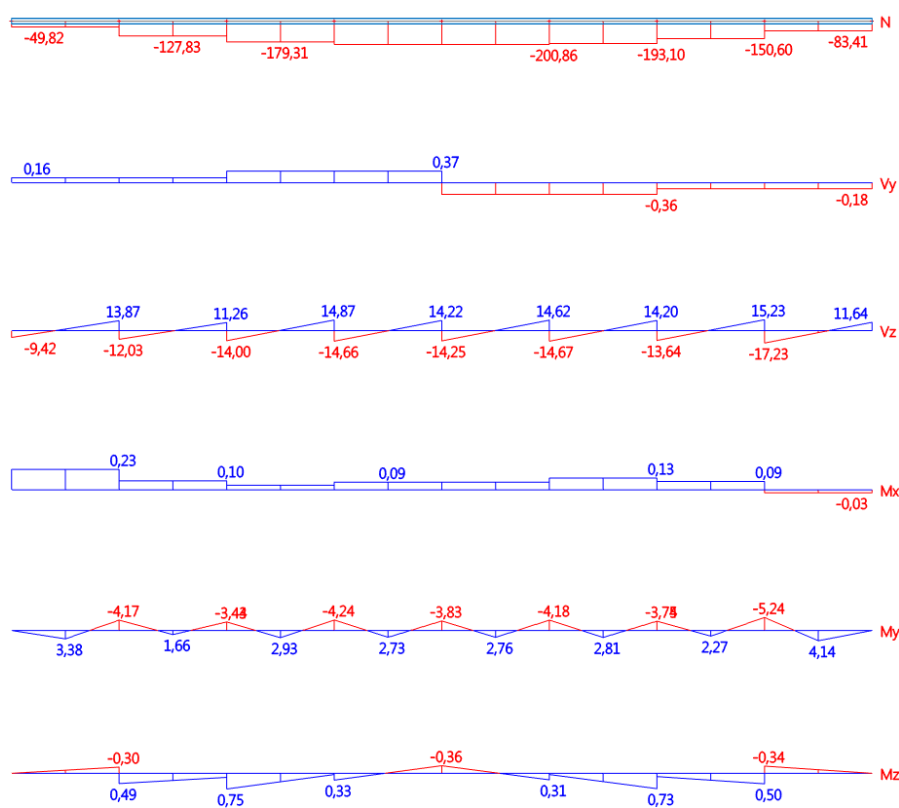
$$V_{y,Ed} = -0,36 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 14,62 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -3,83 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,36 \text{ kNm}$$



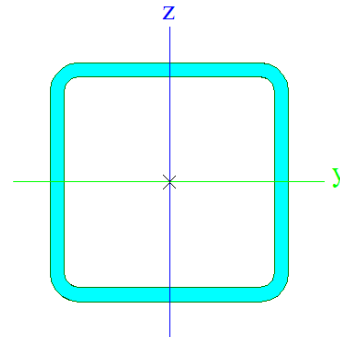
Obr. 6.32: Vnitřní síly na posuzovaném horním pásu vaznice VH44

Průřezové charakteristiky: TR 4HR 100/100/6

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}A &= 2,163 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_z &= 1,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\I_y &= 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_y &= 0,038 \text{ m} \\I_z &= 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_z &= 0,038 \text{ m} \\I_t &= 5,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 6,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 6,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 7,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 7,51 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\Třída průřezu: &1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.33: Průřez TR 4HR 100/100/6

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 76/6 = 12,667 \leq 33 \cdot \varepsilon^2 = 33 \cdot 1,0^2 = 33$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.10.1 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-200,86}{-508,305} = 0,40 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -508,305 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvolávají kroucení, $T_{Ed} = 0,09 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno

Smyk

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl,Rd}} = \frac{14,62}{146,67} = \mathbf{0,10 \leq 1,00}$$

$$A_y = A_z \Rightarrow V_{y,pl,Rd} = V_{z,pl,Rd} = V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_y \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,081 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 146,67 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = \sqrt{M_{y,Ed}^2 + M_{z,Ed}^2} = \sqrt{3,83^2 + 0,36^2} = 3,85 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{3,85}{17,65} = \mathbf{0,22 \leq 1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,51 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 17,65 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu, osově a smykové síly

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}}\right)^1 = \left(\frac{3,85}{13,62}\right)^1 + \left(\frac{0,36}{13,62}\right)^1 = \mathbf{0,31 \leq 1,00}$$

$V_{ed} \leq 50\% V_{pl,Rd} \Rightarrow$ návrhovou plastickou smykovou únosnost $V_{pl,Rd}$ je možné zanedbat na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

$$M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd} \Rightarrow M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{N,Rd}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_w) = 17,65 \cdot (1 - 0,4) / (1 - 0,5 \cdot 0,445) = 13,62 \text{ kNm}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 200,8 / 508,305 = 0,40$$

$$a_w = a_f = (A - 2bt) / A = (2,163 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,1 \cdot 0,006) / 2,163 \cdot 10^{-3} = 0,445$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.10.2 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku. V rovině y-y je bráněno vybočení styčníky svislic a diagonál příhradové vaznice. V rovině z-z je bráněno vybočení stabilizačními prvky vaznic.

Rovina y-y:

$$L_y = 1,875 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 1,875 = \mathbf{1,875 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 3,750 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 3,750 = \mathbf{3,750 \text{ m}}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,11 \cdot 10^{-6}}{1,875^2} = 1\,833,482 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1,875}{0,038} = 49,34$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1\,833\,482}} = 0,527$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (0,527 - 0,2) + 0,527^2 \right] = 0,67$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,67 + \sqrt{0,67^2 - 0,527^2}} = 0,92$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,92 \cdot 2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 467,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{200,86}{467,640} = \mathbf{0,43 \leq 1,00}$$

Rovina z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,11 \cdot 10^{-6}}{3,75^2} = 458,37 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,75}{0,038} = 98,68$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{458\,370}} = 1,05$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,05 - 0,2) + 1,05^2 \right] = 1,141$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,141 + \sqrt{1,141^2 - 1,05^2}} = 0,63$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,63 \cdot 2,163 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 320,232 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{200,86}{320,232} = \mathbf{0,63 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{200,86}{\frac{0,92 \cdot 508,305}{1,00}} + 1,026 \cdot \frac{3,83}{\frac{1,0 \cdot 17,65}{1,00}} + 0,493 \cdot \frac{0,36}{\frac{17,65}{1,00}} = \mathbf{0,66 \leq 1,0}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{200,86}{\frac{0,63 \cdot 508,305}{1,00}} + 0,616 \cdot \frac{3,83}{\frac{1,0 \cdot 17,65}{1,00}} + 0,821 \cdot \frac{0,36}{\frac{17,65}{1,00}} = \mathbf{0,78 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = -508,305 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 17,65 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 17,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -200,86 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -3,83 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,36 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$\mathbf{k_{yy} = 1,026}$$

$$\mathbf{k_{zy} = 0,616}$$

$$\mathbf{k_{zz} = 0,821}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,493}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (0,527 - 0,2) \cdot \frac{200,86}{0,92 \cdot 508,305/1,0} \right) = \mathbf{1,026}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{200,86}{0,92 \cdot 508,305/1,0} \right) = 1,209$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,026 = \mathbf{0,616}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,547 \cdot \left(1 + (1,05 - 0,2) \cdot \frac{200,86}{0,63 \cdot 508,305/1,0} \right) = 0,839$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) = 0,547 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{200,86}{0,63 \cdot 508,305/1,0} \right) = \mathbf{0,821}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,821 = \mathbf{0,493}$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 0,547$$

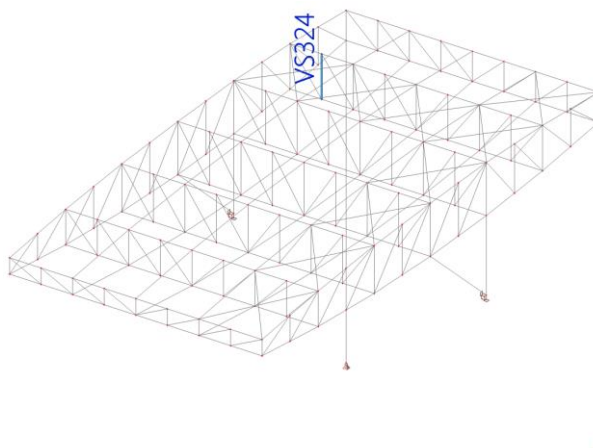
$$C_{mLT} = \text{prut není citlivý na klopení}$$

$$\psi_y = 0,903$$

$$\psi_z = -0,487$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.11 Svislice vaznic



Obr. 6.34: Zvýrazněná svislice vaznice VS324

Vnitřní síly ($LC1 \cdot 1,15 + LC2 \cdot 1,15 + LC4 \cdot 1,15 + LC7 \cdot 0,75 + LC8 \cdot 1,5 + LC12 \cdot 1,5$):

$$N_{Ed} = -129,29 \text{ kN}$$

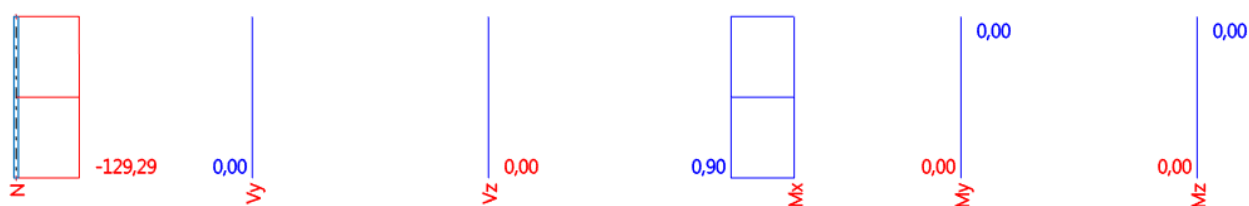
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,90 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



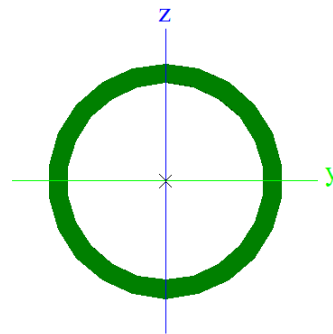
Obr. 6.35: Vnitřní síly na posuzované svislici vaznice VS324

Průřezové charakteristiky: TR KR 76.1X6

$$\begin{aligned}A &= 1,321 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\A_y &= 8,926 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\A_z &= 8,926 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\I_y &= 8,176 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 & i_y &= 0,025 \text{ m} \\I_z &= 8,176 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 & i_z &= 0,025 \text{ m} \\I_t &= 1,635 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 2,149 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 2,149 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 2,956 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 2,956 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.36: Průřez TR KR 76.1X6

Zatřívání průřezu:

$$d/t = 76,1/6 = 12,683 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.11.2 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-129,29}{-310,435} = 0,42 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,321 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -310,435 \text{ kN}$$

Kroucení

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,90}{5,83} = 0,015 \leq 1,00$$

$$T_{Rd} = f_d \cdot W_t = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot \frac{2 \cdot I_t}{d} = \frac{235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} \cdot \frac{2 \cdot 1,635 \cdot 10^{-6}}{0,0761} = 5,83 \text{ kN}$$

Smyk

Na posuzovaném prvku se nenacházejí vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,00 \text{ kN}$.

Prvek vyhoví na pevnost!

6.11.3 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 2,560 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 2,560 = \mathbf{2,560 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 2,560 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 2,560 = \mathbf{2,560 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,176 \cdot 10^{-7}}{2,560^2} = 258,571 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2,560}{0,025} = 102,4$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,321 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{258\,571}} = 1,10$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,10 - 0,2) + 1,10^2] = 1,20$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 1,10^2}} = 0,60$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,60 \cdot 1,321 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 186,261 \text{ kN}$$

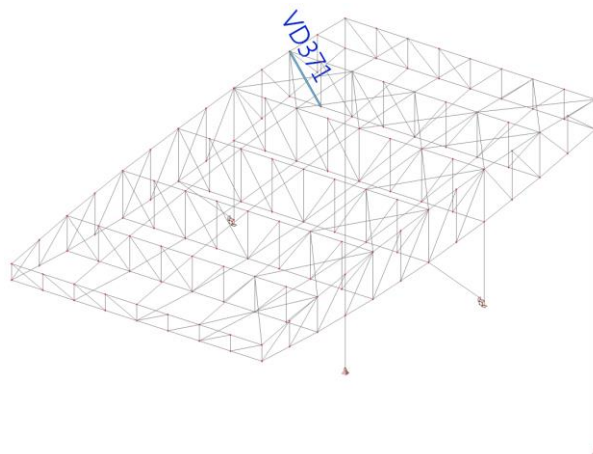
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{129,29}{186,261} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.12 Diagonály vaznic



Obr. 6.37: Zvýrazněná posuzovaná diagonála vazníku VD371

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC7·0,75 + LC8·1,5 + LC12·1,5):

$$N_{Ed} = 163,14,29 \text{ kN}$$

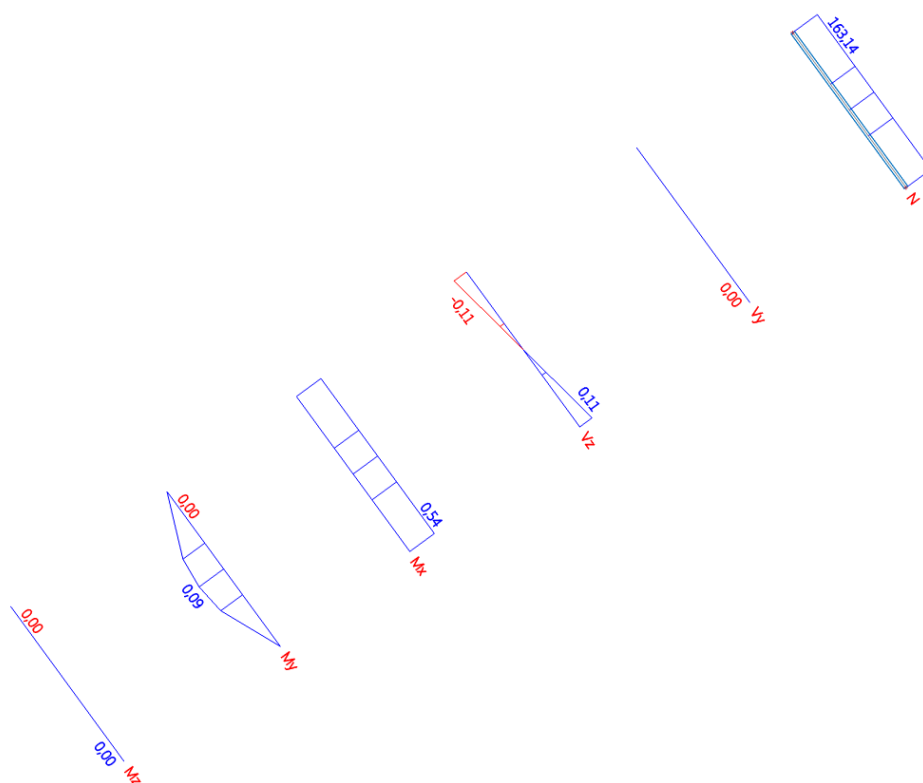
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,11 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,54 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,09 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



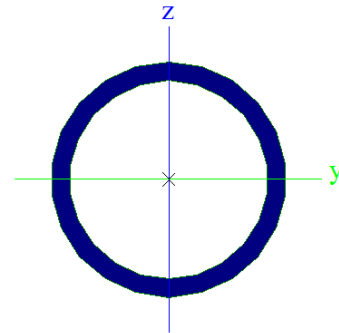
Obr. 6.38: Vnitřní síly na posuzované diagonále VD371

Průřezové charakteristiky: TR KR 76.1X6

$$\begin{aligned} A &= 1,321 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\ A_y &= 8,926 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ A_z &= 8,926 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ I_y &= 8,176 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 & i_y &= 0,025 \text{ m} \\ I_z &= 8,176 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 & i_z &= 0,025 \text{ m} \\ I_t &= 1,635 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\ I_w &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\ W_{el,y} &= 2,149 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{el,z} &= 2,149 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{pl,y} &= 2,956 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{pl,z} &= 2,956 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ \text{Třída průřezu: } &1 \end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned} E &= 210000 \text{ MPa} \\ G &= 81000 \text{ MPa} \\ f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\ f_{uk} &= 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Obr. 6.39: Průřez TR KR 76.1X6

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 76,1/6 = 12,683 \leq 50 \cdot \epsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50$$

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.12.1 Posudek pevnosti

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{163,14}{310,435} = 0,53 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,321 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 310,435 \text{ kN}$$

Kroucení

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} = \frac{0,54}{5,83} = 0,09 \leq 1,00$$

$$T_{Rd} = f_d \cdot W_t = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot \frac{2 \cdot I_t}{d} = \frac{235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,00} \cdot \frac{2 \cdot 1,635 \cdot 10^{-6}}{0,0761} = 5,83 \text{ kN}$$

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,11 \text{ kNm}$. Smyk proto považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Kombinace smyku a kroucení

Smyk považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Prvek vyhoví na pevnost!

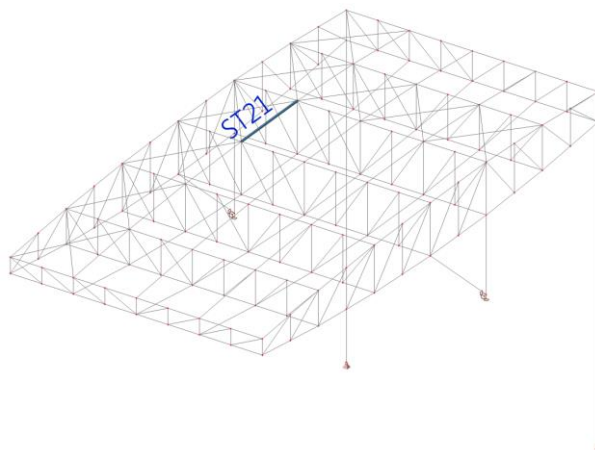
6.12.2 Posudek stability

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.13 Stabilizační prvky vaznic



Obr. 6.40: Zvýrazněný posuzovaný stabilizační prvek ST21

Vnitřní síly (LC1·1,15 + LC2·1,15 + LC4·1,15 + LC6·0,75 + LC23·1,5 + LC25·1,5):

$$N_{Ed} = -54,43 \text{ kN}$$

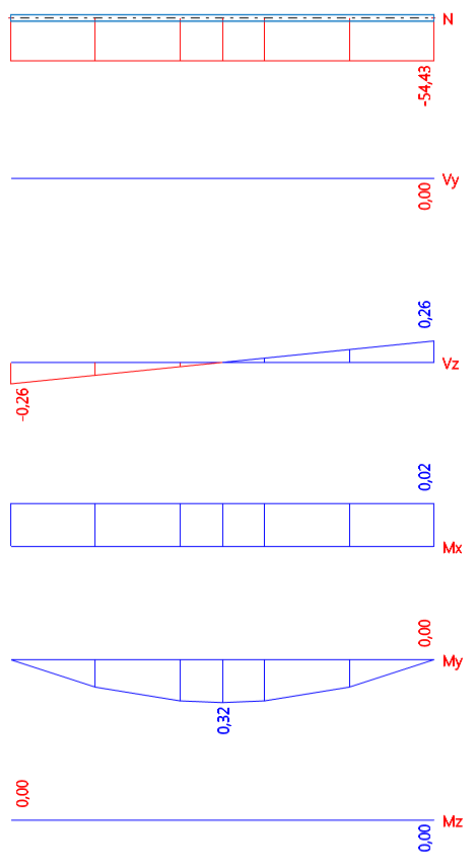
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,26 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,02 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



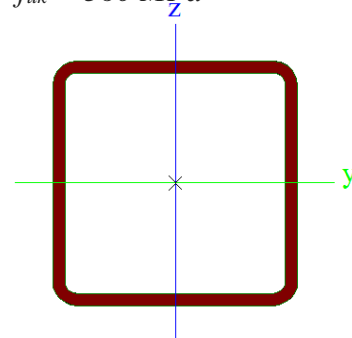
Obr. 6.41: Vnitřní síly na posuzovaném stabilizačním prvku ST21

Průřezové charakteristiky: TR 4HR 80/80/4

$$\begin{aligned} A &= 1,175 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\ A_y &= 5,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\ A_z &= 5,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\ I_y &= 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_y &= 0,031 \text{ m} \\ I_z &= 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & i_z &= 0,031 \text{ m} \\ I_t &= 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\ I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\ W_{el,y} &= 2,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{el,z} &= 2,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{pl,y} &= 3,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \\ W_{pl,z} &= 3,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned} E &= 210000 \text{ MPa} \\ G &= 81000 \text{ MPa} \\ f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\ f_{uk} &= 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Obr. 6.42: Průřez TR 4HR 80/80/4

Zatřívání průřezu:

$$d/t = 64/4 = 16 \leq 33 \cdot \epsilon^2 = 33 \cdot 1,0^2 = 33$$

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1,0$$

Třída průřezu 1

6.13.2 Posudek pevnosti

Tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-54,43}{-276,125} = 0,20 \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,175 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = -276,125 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,02 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,26 \text{ kNm}$. Smyk proto považuji za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} = \frac{0,23}{7,78} = \mathbf{0,03 \leq 1,00}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{0,00}{7,78} = \mathbf{0,00 \leq 1,00}$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,z} \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{z,pl,Rd} = M_{pl,Rd}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3,31 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 7,78 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.13.3 Posudek stability

Vzpěrné délky

Vzpěrné délky jsou stanoveny z předpokladu vybočení prutů. V tomto případě je hodnota stanovena na 1,0 násobku systémové délky, kvůli okrajovým podmínkám posuzovaného prvku.

Rovina y-y:

$$L_y = 5,000 \text{ m}$$

$$k_y = 1,0$$

$$L_{cr,y} = k_y \cdot L_y = 1,0 \cdot 5,000 = \mathbf{5,000 \text{ m}}$$

Rovina z-z:

$$L_z = 5,000 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$L_{cr,z} = k_z \cdot L_z = 1,0 \cdot 5,000 = \mathbf{5,000 \text{ m}}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr}$$

Rovinný vzpěr

Rovina y-y = z-z:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,11 \cdot 10^{-6}}{5,0^2} = 92,024 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{L_{cry}}{i_y} = \frac{5,0}{0,031} = 162,86$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,175 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{92\,024}} = 1,73$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,73 - 0,2) + 1,73^2 \right] = 2,157$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,157 + \sqrt{2,157^2 - 1,73^2}} = 0,29$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,29 \cdot 1,175 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,00} = 80,076 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{54,43}{80,076} = \mathbf{0,68 \leq 1,00}$$

Klopení

Kruhové duté průřezy nejsou citlivé na klopení.

Tlak s ohybem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{54,43}{\frac{0,29 \cdot 276,125}{1,00}} + 1,389 \cdot \frac{0,32}{\frac{1,0 \cdot 7,78}{1,00}} + 0 = \mathbf{0,74 \leq 1,0}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{54,43}{0,29 \cdot 276,125}}{1,00} + 0,833 \cdot \frac{\frac{0,32}{1,0 \cdot 7,78}}{1,00} + 0 = \mathbf{0,72 \leq 1,0}$$

$$N_{rk} = 276,125 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 7,78 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 7,78 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -54,43 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,32 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

Interakční metoda 2:

$$\mathbf{k_{yy} = 1,389}$$

$$\mathbf{k_{zy} = 0,833}$$

$$\mathbf{k_{zz} = 1,544}$$

$$\mathbf{k_{yz} = 0,926}$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (1,73 - 0,2) \cdot \frac{54,43}{0,29 \cdot 276,125 / 1,0} \right) = 1,836$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{54,43}{0,29 \cdot 276,125 / 1,0} \right) = \mathbf{1,389}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,389 = \mathbf{0,833}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + (1,73 - 0,2) \cdot \frac{54,43}{0,29 \cdot 276,125 / 1,0} \right) = 2,029$$

$$k_{zz} = c_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) = 1,0 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{54,43}{0,29 \cdot 276,125 / 1,0} \right) = \mathbf{1,544}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 1,544 = \mathbf{0,926}$$

$$C_{my} = 0,900$$

$$C_{mz} = 1,000$$

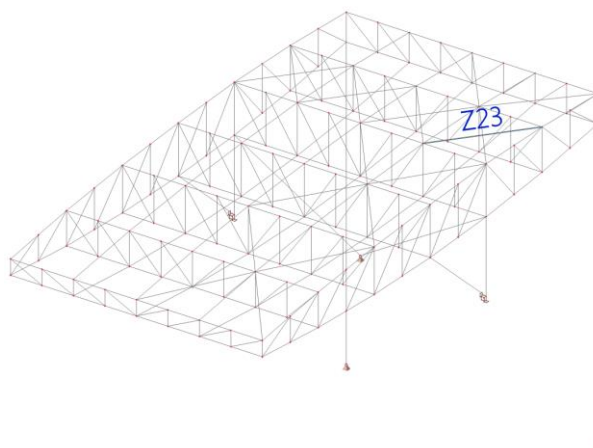
$$C_{mLT} = \text{prut není náchylný na klopení}$$

$$\psi_y = 1,000$$

$$\psi_z = 1,000$$

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.14 Podélná střešní ztužidla



Obr. 6.43: Zvýrazněné posuzované podélně střešní ztužidlo Z23

Vnitřní síly (NC1):

$$N_{Ed} = 63,91 \text{ kN}$$

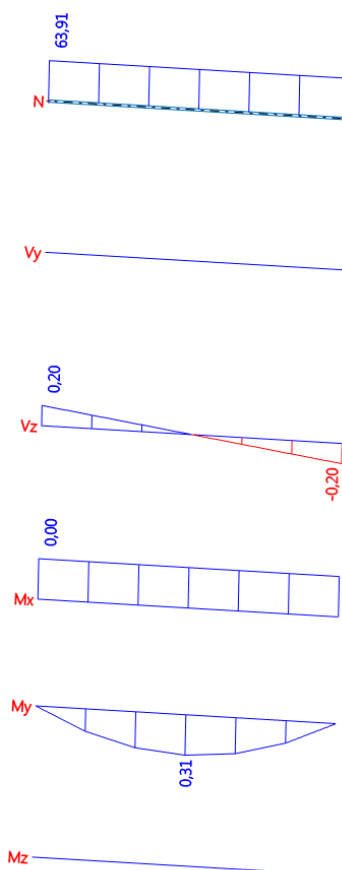
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,20 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$



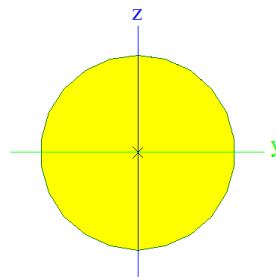
Obr. 6.44: Vnitřní síly na posuzovaném podélném střešním ztužidle Z23

Průřezové charakteristiky: TR KR 76.1X6

$$\begin{aligned}A &= 7,065 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\A_y &= 6,368 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\A_z &= 6,368 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\I_y &= 3,893 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & i_y &= 0,007 \text{ m} \\I_z &= 3,893 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & i_z &= 0,007 \text{ m} \\I_t &= 7,972 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 2,595 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 2,595 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 4,429 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 4,429 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\Třída průřezu: & 3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.45: Průřez KR30

Zatřídění průřezu:

Lokální boulení neomezuje únosnost prvku. Průřez se posoudí jako plastický.

6.14.2 Posudek pevnosti

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{63,91}{166,028} = 0,38 \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,065 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 166,028 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,001 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,20 \text{ kNm}$. Smyk proto považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{0,31}{1,04} = \mathbf{0,30 \leq 1,00}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,429 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1,040 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu a osově síly

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M,Ed} = 90,46 + 119,46 = 209,92 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{63\,910}{7,065 \cdot 10^{-4}} = 90,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} = \frac{310}{2,595 \cdot 10^{-6}} = 119,46 \text{ MPa}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{0,31}{0,89} = \mathbf{0,35 \leq 1,00}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2 \right] = 1,040 \cdot [1 - (63,91 / 166,028)^2] = 0,89 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

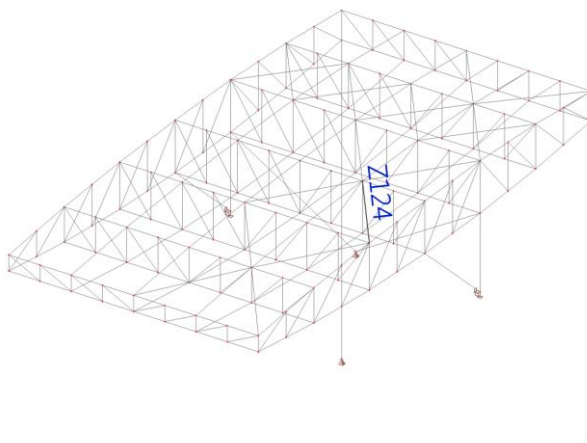
6.14.3 Posudek stability

Klopení

Pro štíhlost se mohou účinky klopení zanedbat.

Prvek vyhoví na stabilitu!

6.15 Příčná střešní ztužidla



Obr. 6.46: Zvýrazněné posuzované střešní ztužidlo

Vnitřní síly (NC1):

$$N_{Ed} = 79,65 \text{ kN}$$

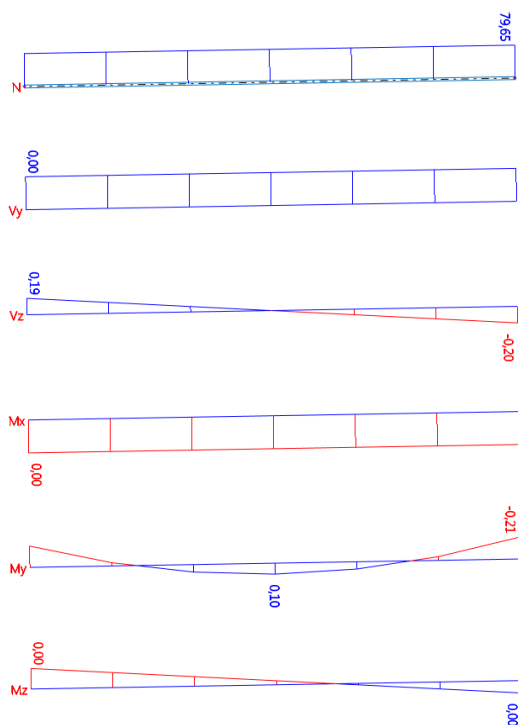
$$V_{y,Ed} = 0,00 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -0,20 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -0,21 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,01 \text{ kNm}$$



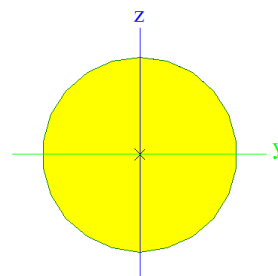
Obr. 6.47: Vnitřní síly na posuzovaném příčném střešním ztužidle Z124

Průřezové charakteristiky: TR KR 76.1X6

$$\begin{aligned}A &= 7,065 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\A_y &= 6,368 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\A_z &= 6,368 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\I_y &= 3,893 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & i_y &= 0,007 \text{ m} \\I_z &= 3,893 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & i_z &= 0,007 \text{ m} \\I_t &= 7,972 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & y_0 &= 0,000 \text{ m} \\I_\omega &= 0,000 \text{ m}^6 & z_0 &= 0,000 \text{ m} \\W_{el,y} &= 2,595 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{el,z} &= 2,595 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{pl,y} &= 4,429 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\W_{pl,z} &= 4,429 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \\Třída průřezu: & 3\end{aligned}$$

Materiál: Ocel S 235

$$\begin{aligned}E &= 210000 \text{ MPa} \\G &= 81000 \text{ MPa} \\f_{yk} &= 235 \text{ MPa} \\f_{uk} &= 360 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Obr. 6.48: Průřez KR30

Zatřídění průřezu:

Klasifikace není pro tento typ průřezu podporována. Průřez se posoudí jako pružný, třída 3.

6.15.2 Posudek pevnosti

Tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{79,65}{166,028} = \mathbf{0,48} \leq \mathbf{1,0}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7,065 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 166,028 \text{ kN}$$

Kroucení

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují kroucení, $T_{Ed} = 0,001 \text{ kNm}$. Kroucení proto považují za nevýznamné a je v kombinovaných posudcích zanedbáno.

Smyk

Na posuzovaném prvku se nacházejí velmi malé vnitřní síly, které vyvozují smykové namáhání, $V_{Ed} = 0,20 \text{ kNm}$. Smyk proto považují za nevýznamný a je v kombinovaných posudcích zanedbán.

Ohybový moment

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{0,21}{1,04} = \mathbf{0,20 \leq 1,00}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,429 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1,040 \text{ kNm}$$

Kombinace ohybu a osových sil

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M,Ed} = 112,7 + 80,9 = 193,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{79\,650}{7,065 \cdot 10^{-4}} = 112,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} = \frac{210}{2,595 \cdot 10^{-6}} = 80,9 \text{ MPa}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{0,21}{0,89} = \mathbf{0,24 \leq 1,00}$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - (N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2 \right] = 1,040 \cdot [1 - (63,91 / 166,028)^2] = 0,89 \text{ kNm}$$

Prvek vyhoví na pevnost!

6.15.3 Posudek stability

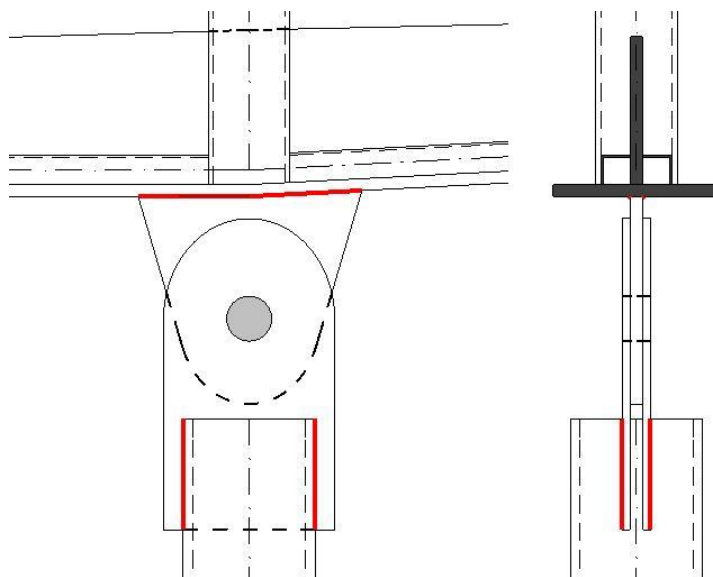
Klopení

Pro štíhlost se mohou účinky klopení zanedbat.

Prvek vyhoví na stabilitu!

7 Návrh a posouzení spojů vybraných styčníků

7.1 Přípoj vazníku na sloup pomocí čepového spoje



Obr. 7.1: Přípoj vazníku na sloup pomocí čepového spoje

7.1.1 Posouzení čepu

Návrhové síly:

$$N = 1797,59 \text{ kN}$$

$$V_y = -85,01 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N^2 + V_y^2} = \sqrt{1797,59^2 + 85,01^2} = 1\,800 \text{ kN}$$

Návrh čepu: $d = 120 \text{ mm}$

Materiál čepu a plechu: S 355 ($f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 490 \text{ MPa}$)

Čep v ohybu:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{19,8}{90,34} = 0,22 \leq 1,00$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{1\,800 \cdot 10^3}{8} (0,032 + 4 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,024) = 19,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_p \cdot f_{yp} = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 120^3}{32} \cdot 355 \cdot 10^6 = 90,34 \text{ kNm}$$

Čep ve střihu:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1\,800}{2\,587,2} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 0,011 \cdot 490 \cdot 10^6}{1,25} = 2\,587,2 \text{ kN}$$

Čep a plech v otláčení:

- Spodní plech: $t = 24 \text{ mm}$

$$\frac{F_{Ed}/2}{F_{b,Rd}} = \frac{1\,800/2}{1\,278,0} = \mathbf{0,70 \leq 1,00}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,024 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,278,0 \text{ kN}$$

- Horní plech: $t = 32 \text{ mm}$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1\,800}{2\,044,8} = \mathbf{0,88 \leq 1,00}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 0,12 \cdot 0,032 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,044,8 \text{ kN}$$

Kombinace střihu a ohybu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 = \left(\frac{18}{90,34}\right)^2 + \left(\frac{1\,800}{2\,587,2}\right)^2 = \mathbf{0,52 \leq 1,00}$$

Geometrické požadavky na plechy:

- Spodní plech: $t = 24 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yp}} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{1\,800 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,024 \cdot 355 \cdot 10^6} + \frac{2 \cdot 0,124}{3} = 0,188 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yp}} + \frac{d_0}{3} = \frac{1\,800 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,024 \cdot 355 \cdot 10^6} + \frac{0,124}{3} = 0,147 \text{ mm}$$

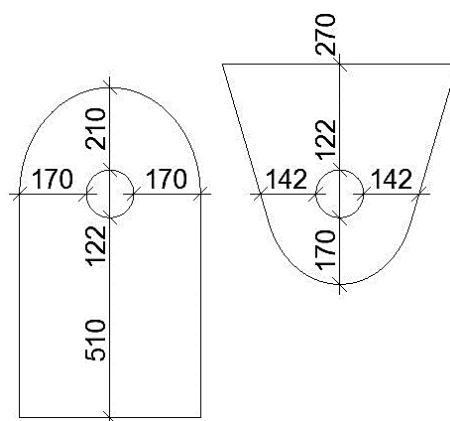
Návrh: $a = 210 \text{ mm}$, $c = 170 \text{ mm}$.

- Horní plech: $t = 32 \text{ mm}$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yp}} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{1\,800 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,032 \cdot 355 \cdot 10^6} + \frac{2 \cdot 0,124}{3} = 0,162 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yp}} + \frac{d_0}{3} = \frac{1\,800 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,032 \cdot 355 \cdot 10^6} + \frac{0,124}{3} = 0,121 \text{ mm}$$

Návrh: $a = 170 \text{ mm}$, $c = 130 \text{ mm}$.



Obr. 7.2: Geometrie plechu

✓ **Vyhovuje!**

7.1.2 Posouzení svarů čepového spoje

Přípoj sloupu a spodního plechu:

Návrhové síly:

$$N = 1797,59 \text{ kN}$$

$$V_y = -85,01 \text{ kN}$$

$$V_z = 0,07 \text{ kN}$$

Účinná tloušťka: $a = 6 \text{ mm}$

Účinná délka: $l = 300 \text{ mm}$

$$\text{Účinná plocha: } A_w = l \cdot a = 0,3 \cdot 0,006 = 0,0018 \text{ m}^2$$

$$\sigma_M = \frac{V_y}{A_w} = \frac{85010/4}{0,0018} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{11,8}{\sqrt{2}} = 8,34 \text{ MPa}$$

$$\tau_l = \frac{N}{A_w} = \frac{1\,797\,590/4}{0,0018} = 249,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{8,34^2 + 3 \cdot (8,34^2 + 249,7^2)} = 432,8 \text{ MPa}$$

$$432,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 8,34 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

Přípoj horního plechu a dolního pásu vazníku:

Návrhové síly:

$$N = 1797,59 \text{ kN}$$

$$V_y = -85,01 \text{ kN}$$

$$V_z = 0,07 \text{ kN}$$

Účinná tloušťka: $a = 6 \text{ mm}$

Účinná délka: $l = 600 \text{ mm}$

Účinná plocha: $A_w = l \cdot a = 0,6 \cdot 0,006 = 0,0036 \text{ m}^2$

$$\sigma_M = \frac{N/2}{A_w} = \frac{1\,797\,590/2}{0,0036} = 249,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{249,7}{\sqrt{2}} = 179,56 \text{ MPa}$$

$$\tau_l = \frac{V/2}{A_w} = \frac{85\,010/2}{0,0036} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{179,56^2 + 3 \cdot (179,56^2 + 11,8^2)} = 359,7 \text{ MPa}$$

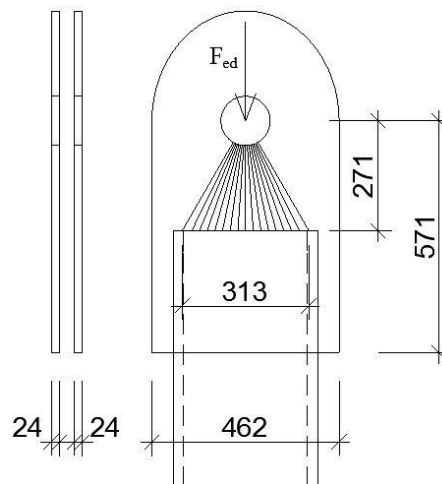
$$359,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 179,56 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

✓ Vyhovuje!

7.1.3 Posouzení plechů čepu

Spodní plech:



Obr. 7.3: Spodní plech

Rozměry: $t = 24 \text{ mm}$, $b = 462 \text{ mm}$, $L = 571 \text{ mm}$

Vzpěrná délka: $L_{cr} = 2 \cdot L = 2 \cdot 271 = 542 \text{ mm}$ (jako vetknutý sloup)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bt^3/12}{A}} = \sqrt{\frac{0,313 \cdot 0,024^3/12}{0,313 \cdot 0,02}} = 0,00576 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{0,571}{0,00576} = 99,132$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{99,132}{76,4} = 1,298$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,298 - 0,2) + 1,298^2 \right] = 1,611$$

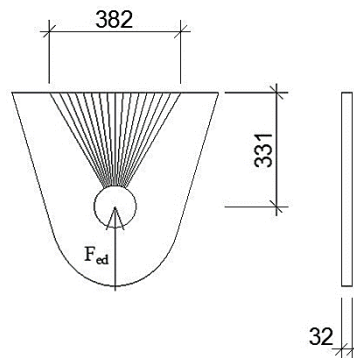
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,611 + \sqrt{1,611^2 - 1,298^2}} = 0,39$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,39 \cdot 0,313 \cdot 0,024 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 1040,04 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}/2}{N_{b,Rd}} = \frac{1800/2}{1040,04} = \mathbf{0,89 \leq 1,00}$$

✓ **Vyhovuje!**

Horní plech:



Obr. 7.4: Horní plech

Rozměry: $t = 32 \text{ mm}$, $b = 382 \text{ mm}$, $L = 331 \text{ mm}$

Vzpěrná délka: $L_{cr} = 2 \cdot L = 2 \cdot 331 = 662 \text{ mm}$ (jako vetknutý sloup)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bt^3/12}{A}} = \sqrt{\frac{0,382 \cdot 0,032^3/12}{0,382 \cdot 0,032}} = 0,00924 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{0,662}{0,00924} = 71,65$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{71,65}{76,4} = 0,938$$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,938 - 0,2) + 0,938^2 \right] = 1,121$$

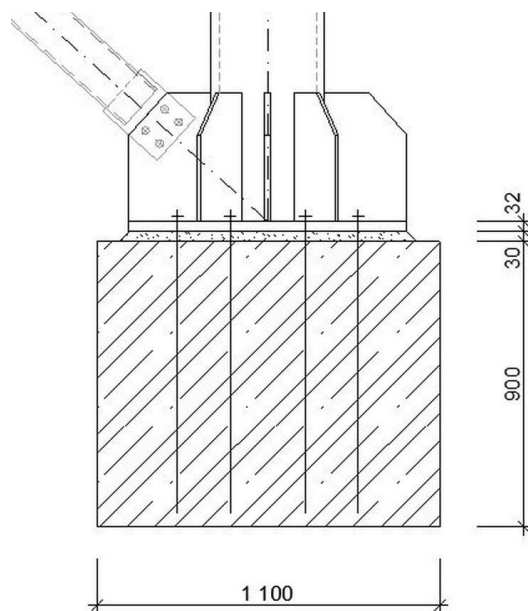
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,121 + \sqrt{1,121^2 - 0,938^2}} = 0,58$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,58 \cdot 0,382 \cdot 0,032 \cdot 355 \cdot 10^6}{1,00} = 2\,516,9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1\,800}{2\,516,9} = \mathbf{0,72 \leq 1,00}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.2 Připojení sloupu a patky



Obr. 7.5: Připojení sloupu a patky

7.2.1 Kotevní šrouby

Kombinace 1 (N_{\max}):

$$R_x = 0,07 \text{ kN}$$

$$R_y = 89,19 \text{ kN}$$

$$R_z = -1965,79 \text{ kN}$$

$$M_x = 382,55 \text{ kNm}$$

$$M_y = -0,59 \text{ kNm}$$

$$M_z = -1,19 \text{ kNm}$$

Kombinace 2 (N_{\min}):

$$R_x = 0,09 \text{ kN}$$

$$R_y = -16,35 \text{ kN}$$

$$R_z = 986,84 \text{ kN}$$

$$M_x = -216,29 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0,42 \text{ kNm}$$

$$M_z = 1,34 \text{ kNm}$$

Kotevní šrouby

Návrh kotevních šroubů: 8 x M 30, 8.8 ($f_{ub} = 800\text{MPa}$, $f_{yb} = 640\text{ MPa}$, $n = 8$, $r = 0,438\text{ m}$)

Plocha jádra: $A_s = 561\text{ mm}^2$,

Plocha dřívku: $A = 707\text{ mm}^2$,

Průměr: $d = 30\text{ mm}$.

Kotevní šrouby v tahu:

$$\frac{R_z/8}{F_{t,Rd}} = \frac{986,84/8}{323,136} = \mathbf{0,38 \leq 1,00}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 561}{1,25} = 323,136\text{ kN}$$

Kotevní šrouby ve střihu:

Rozhodující kombinace 1:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{R_x}{n}\right)^2 + \left(\frac{R_y}{n}\right)^2 + \left(\frac{M_x}{nr}\right)^2} = \sqrt{0 + \left(\frac{89,19}{8}\right)^2 + \left(\frac{382,55}{8 \cdot 0,438}\right)^2} = 109,74\text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 707}{1,25} = 271,49\text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{109,74}{271,49} = \mathbf{0,40 \leq 1,00}$$

Kombinace střihu a tahu:

Rozhodující kombinace 1:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{R_x}{n}\right)^2 + \left(\frac{R_y}{n}\right)^2 + \left(\frac{M_x}{nr}\right)^2} = \sqrt{0 + \left(\frac{16,35}{8}\right)^2 + \left(\frac{216,29}{8 \cdot 0,438}\right)^2} = 50,29\text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{R_z/8}{1,4 \cdot F_{v,Rd}} = \frac{109,74}{271,49} + \frac{986,84/8}{1,4 \cdot 271,49} = \mathbf{0,72 \leq 1,00}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.2.2 Patní plech

Kombinace 1 (N_{\max}):

$$R_x = 0,07 \text{ kN}$$

$$R_y = 89,19 \text{ kN}$$

$$R_z = -1965,79 \text{ kN}$$

$$M_x = 382,55 \text{ kNm}$$

$$M_y = -0,59 \text{ kNm}$$

$$M_z = -1,19 \text{ kNm}$$

Kombinace 2 (N_{\min}):

$$R_x = 0,09 \text{ kN}$$

$$R_y = -16,35 \text{ kN}$$

$$R_z = 986,84 \text{ kN}$$

$$M_x = -216,29 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0,42 \text{ kNm}$$

$$M_z = 1,34 \text{ kNm}$$

Návrh patního plechu: $b_1 = 875 \text{ mm}$, $d_1 = 875 \text{ mm}$, $t = 32 \text{ mm}$

Betonová patka: $d \times b \times h = 1100 \times 1100 \times 900$

Materiál: C 20/25 ($f_{ck} = 20 \text{ MPa}$, $f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$)

Patní deska v ohybu od tlaku:

$$F_{Rdu} = A_{co} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 765625 \cdot 13,33 \cdot \sqrt{\frac{1210000}{765625}} = 12\,830,125 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu} = 12\,830,125 \leq 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 3 \cdot 13,33 \cdot 76\,5625 = \mathbf{30\,617,34 \text{ kN}}$$

$$A_{c0} = b_1 \cdot d_1 = 875 \cdot 875 = 765\,625 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = b_2 \cdot d_2 = 1100 \cdot 1100 = 1\,210\,000 \text{ mm}^2$$

$$b_2 \leq 3b_1 = 2625 \text{ mm}$$

$$d_2 \leq 3d_1 = 2625 \text{ mm}$$

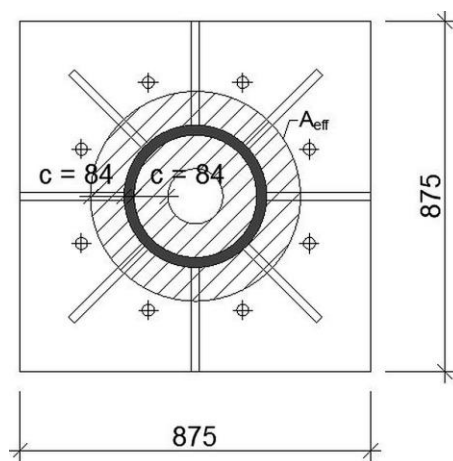
$$h = 900 \text{ mm} \geq (b_2 - b_1) = (1100 - 875) = 225 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm} \geq (d_2 - d_1) = (1100 - 875) = 225 \text{ mm}$$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot F_{Rdu}}{A_{c0}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 12830\,125}{765\,625} = 11,172 \text{ MPa}$$

$$F_{c,Rd} = f_{jd} \cdot A_{eff} = 11,172 \cdot 200\,694 = 2\,242,2 \text{ kN}$$

$$c = \sqrt{\frac{f_y \cdot t^2}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 32^2}{3 \cdot 11,172 \cdot 1,00}} = 84,73 \text{ mm}$$



Obr. 7.6: Předpoklad efektivní plochy kruhového uzavřeného průřezu

$$\frac{R_z}{F_{c,Rd}} = \frac{1\,956,79}{2\,242,2} = \mathbf{0,87 \leq 1,00}$$

✓ **Vyhovuje!**

Ověření tloušťky podlití:

$$30 \text{ mm} \leq 0,2 \cdot \min(b = 875, h = 875) = 0,2 \cdot 875 = 175 \text{ mm}$$

✓ **Vyhovuje!**

Patní deska v ohybu od tahu:

$$e_{\min} = 125 \text{ mm}, m = 125 \text{ mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 39,464}{0,125} = 1\,262,85 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,656 \cdot 0,032^2 \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 39,464 \text{ kNm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 0,656 \text{ m}$$

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 0,125 = 0,785 \text{ m}$$

$$l_{eff,nc} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 0,125 + 1,25 \cdot 0,125 = 0,656 \text{ m}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 39,464 + 0,125 \cdot \sum 8 \cdot 323}{0,125 + 0,125} = 1\,608,26 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 39,464 \text{ kNm}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 8 \cdot 323 = 2\,585,09 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(1262,85, 1608,26, 2585,09) = 1\,262,85 \text{ kN}$$

$$\frac{R_z}{F_{t,Rd}} = \frac{968,84}{1\,262,85} = 0,77 \leq 1,00$$

✓ **Vyhovuje!**

7.2.3 Svary kolem sloupu

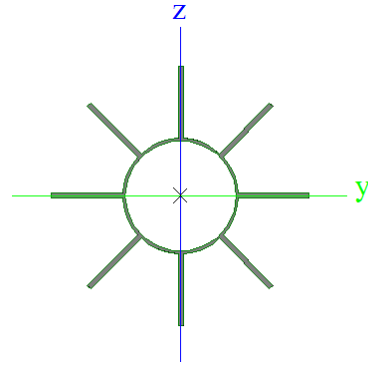
Návrhové síly:

$$N = -1965,75 \text{ kN}$$

$$R_y = 89,19 \text{ kN}$$

$$R_z = 0,07 \text{ kN}$$

$$M_y = 382,55 \text{ kNm}$$



Obr. 7.7: Plocha svaru

Účinná tloušťka: $a = 8 \text{ mm}$

Účinná plocha: $A_w = 3,8586 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti: $I_y = 1,5483 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^4$ (spočítáno pomocí programu Scia Engineer)

Napětí od momentu:

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{1,5483 \cdot 10^{-3}}{0,1778} = 8,708 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W_y} = \frac{382\,530}{8,708 \cdot 10^{-3}} = 43,93 \text{ MPa}$$

$$1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{43,93}{\sqrt{2}} = 31,063 \text{ MPa}$$

Napětí od sil:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{1\,965\,750}{0,038586} = 50,945 \text{ MPa} \begin{cases} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{50,945}{\sqrt{2}} = 36,024 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{50,945}{\sqrt{2}} = 36,024 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_V = \frac{R_y}{A} = \frac{89\,190}{0,038586} = 2,311 \text{ MPa} \begin{cases} 1: \tau_{\parallel} = \sigma_V = 2,311 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_V}{\sqrt{2}} = \frac{2,311}{\sqrt{2}} = 1,63 \text{ MPa} \end{cases}$$

Kritické místo 1:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{67,087^2 + 3 \cdot (67,087^2 + 2,311^2)} = 134,234 \text{ MPa}$$

$$134,234 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 67,087 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

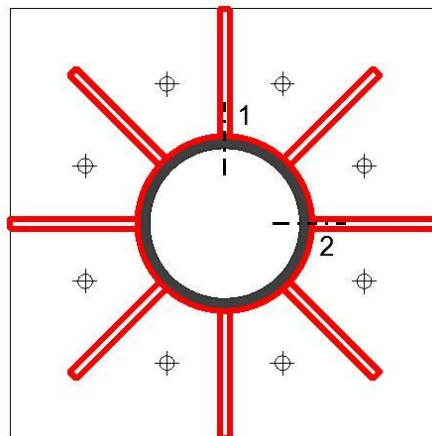
Kritické místo 2:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{158,98^2 + 3 \cdot (158,98^2 + 0^2)} = 317,96 \text{ MPa}$$

$$317,96 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

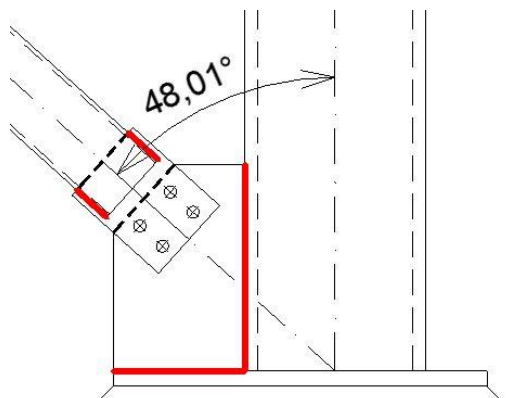
$$\sigma_{\perp} = 158,98 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**



Obr. 7.8: Vyznačené posuzované místa

7.3 Přípoj vzpěry ke sloupu



Obr. 7.9: Přípoj vzpěry ke sloupu

Návrhové síly:

$$N = -243,45 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,80 \text{ kN}$$

$$V_z = 0,00 \text{ kN}$$

7.3.1 Svarový spoj mezi vzpěrrou a plechem

Účinná tloušťka: $a = 4 \text{ mm}$ (koutový svar)

Účinná délka: $l = 80 \text{ mm}$

Účinná plocha: $A_w = l \cdot a = 0,08 \cdot 0,004 = 0,00032 \text{ m}^2$

$$\tau_l = \frac{N}{A_w} = \frac{243\,450/4}{0,00032} = 190,20 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 190,2^2)} = 329,4 \text{ MPa}$$

$$329,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.3.2 Šroubový spoj mezi vzpěrou a plechem

Návrh šroubů: M 24, 5.8 ($f_{ub} = 500\text{MPa}$, $f_{yb} = 400\text{ MPa}$)

Plocha jádra: $A_s = 353\text{ mm}^2$,

Plocha dřívku: $A = 452\text{ mm}^2$,

Průměr: $d = 24\text{ mm}$.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = \mathbf{70,6\text{ kN}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{3,34 \cdot 0,4 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,024 \cdot 0,015}{1,25} = 138,5\text{ kN}$$

$$e_{1\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 30\text{ mm}$$

$$e_{2\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 30\text{ mm}$$

$$p_{1\min} = 2,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 55\text{ mm}$$

$$p_{2\min} = 2,4 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 60\text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \cdot 25} = 0,4 \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 25} - \frac{1}{4} = 0,55 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{360} = 1,39 \end{array} \right.$$

$$\alpha_b = 0,4$$

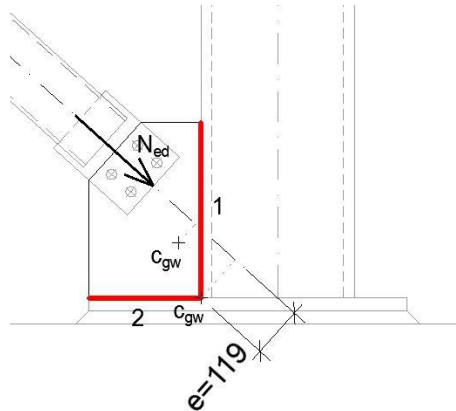
$$k_{1, \text{ krajní}} = \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{45}{25} - 1,7 = 3,34 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1, \text{ krajní}} = \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{90}{25} - 1,7 = 3,34 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_1 = 3,34$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{243,45}{70,6} = 3,45 \Rightarrow 4 \text{ šrouby M 24, 5.8}$$

7.3.3 Svarový spoj mezi plechem a sloupem



Obr. 7.10: Svarový přípoj mezi plechem a sloupem

Návrhové síly:

$$N = -243,45 \text{ kN}$$

$$N_z = 162,87 \text{ kN}$$

$$N_x = 180,95 \text{ kN}$$

$$M = N \cdot e = 243,45 \cdot 0,119 = 28,97 \text{ kNm}$$

Účinná tloušťka: $a = 5 \text{ mm}$ (koutový svar)

Účinná délka: $l_1 = 405 \text{ mm}$, $l_2 = 260 \text{ mm}$

Účinná plocha:

$$A_w = \sum A_i = 0,26 \cdot 0,005 + 0,405 \cdot 0,005 = 0,003325 \text{ m}^2$$

Napětí od rozložené síly:

$$\sigma_{Nz} = \frac{N_z}{A} = \frac{162\,870/2}{0,003325} = 24,7 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \tau_l = \sigma_{Nz} = 24,7 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Nz}}{\sqrt{2}} = \frac{24,7}{\sqrt{2}} = 17,5 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{Nx} = \frac{N_x}{A} = \frac{180\,950/2}{0,003325} = 27,4 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Nz}}{\sqrt{2}} = \frac{27,4}{\sqrt{2}} = 19,4 \text{ MPa} \\ 2: \tau_l = \sigma_{Nx} = 27,4 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Napětí od momentu:

$$y_t = 52,32 \text{ mm}$$

$$z_t = 127,35 \text{ mm}$$

$$I_y = 60,954 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = 20,198 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_P = I_y + I_z = 60,954 \cdot 10^{-6} + 20,198 \cdot 10^{-6} = 81,152 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{yM} = \frac{M}{I_P} \cdot z = \frac{28\,970/2}{81,152 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,127 = 22,7 \text{ MPa} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{yM}}{\sqrt{2}} = \frac{22,7}{\sqrt{2}} = 16,05 \text{ MPa} \\ 2: \tau_{\parallel} = \sigma_{yM} = 22,7 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{zM} = \frac{M}{I_P} \cdot y = \frac{28\,970/2}{81,152 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,052 = 9,3 \text{ MPa} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1: \tau_{\parallel} = \sigma_{zM} = 9,3 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{zM}}{\sqrt{2}} = \frac{9,3}{\sqrt{2}} = 6,6 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Součet napětí – svar č.1:

$$\tau_{\parallel} = 24,7 + 9,3 = 34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 19,4 + 16,05 = 35,45 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{35,45^2 + 3 \cdot (35,45^2 + 34^2)} = 92,2 \text{ MPa}$$

$$92,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 35,45 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

Součet napětí – svar č.2:

$$\tau_{\parallel} = 27,4 + 22,7 = 50,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 17,5 + 6,6 = 24,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{24,1^2 + 3 \cdot (24,1^2 + 50,1^2)} = 99,3 \text{ MPa}$$

$$99,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 24,1 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.4 Přípoj vaznice k vazníku

7.4.1 Svarový spoj mezi diagonálou a styčnickovým plechem

Návrhové síly:

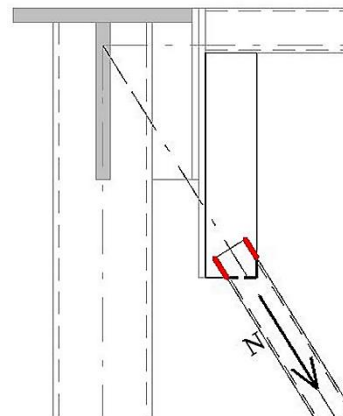
$$N = 95,74 \text{ kN}$$

Účinná tloušťka: $a = 4 \text{ mm}$ (koutový svar)

Účinná délka: $l = 50 \text{ mm} > l_{\min}$

$$l_{\min} = \max(30 \text{ mm}; 6 \cdot a) = \max(30 \text{ mm}; 24 \text{ mm}) = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Účinná plocha: } A_w = a \cdot l = 0,004 \cdot 0,050 = 0,0002 \text{ m}^2$$



Obr. 7.11: Vyznačený svar

$$\tau_l = \frac{N/4}{A_w} = \frac{95\,740/4}{0,0002} = 119,675 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 119,675^2)} = 207,28 \text{ MPa}$$

$$207,28 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.4.2 Svarový spoj mezi horním pásem vaznice a čelní deskou

Návrhové síly:

$$N = 77,34 \text{ kN}$$

$$M = N \cdot e = 77,34 \cdot 32 = 2,47 \text{ kNm}$$

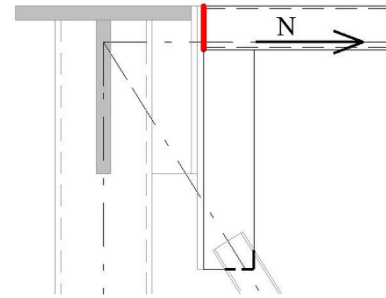
Účinná tloušťka: $a = 4 \text{ mm}$ (koutový svar)

Účinná délka: $l = 100 \text{ mm} > l_{\min}$

$$l_{\min} = \max(30 \text{ mm}; 6 \cdot a) = \max(30 \text{ mm}; 24 \text{ mm}) = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Účinná plocha: } A_w = a \cdot l = 0,004 \cdot 0,100 = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$W = 1/6 b \cdot h^2 = 1/6 0,004 \cdot 0,1^2 = 6,667 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$



Obr. 7.12: Vyznačení svarového spoje

$$\sigma_{Nw} = \frac{N}{A_w} = \frac{77\,340/4}{0,0004} = 48,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{N\perp} = \tau_{N\perp} = \frac{\sigma_{Nw}}{\sqrt{2}} = \frac{48,34}{\sqrt{2}} = 34,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Mw} = \frac{M}{W} = \frac{2\,470/4}{6,667 \cdot 10^{-6}} = 92,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{M\perp} = \tau_{M\perp} = \frac{\sigma_{Mw}}{\sqrt{2}} = \frac{92,62}{\sqrt{2}} = 65,49 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{99,67^2 + 3 \cdot (99,67^2 + 0^2)} = 199,34 \text{ MPa}$$

$$199,34 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 99,67 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.4.3 Svarový spoj mezi horním pásem vaznice a čelní deskou

Návrhové síly:

$$N_{th} = 77,34 \text{ kN}$$

$$N_{td} = 95,74 \text{ kN}$$

$$V_z = 7,52 \text{ kN}$$

$$M_1 = N_{td} \cdot e_1 = 95,74/2 \cdot 187 = 8,951 \text{ kNm}$$

$$M_2 = V_z \cdot e_2 = 7,52/2 \cdot 14 = 0,053 \text{ kNm}$$

$$M_3 = N_{th} \cdot e_3 = 77,34/2 \cdot 18 = 0,7 \text{ kNm}$$

$$M = (M_1 + M_2) + M_3 = (8,951 + 0,053) - 0,7 = 8,304 \text{ kNm}$$

Účinná tloušťka: $a = 5 \text{ mm}$ (koutový svar)

Účinná délka: $l_1 = 500 \text{ mm}$, $l_2 = 110 \text{ mm}$

Účinná plocha:

$$A_w = \sum A_i = 0,5 \cdot 0,005 + 0,11 \cdot 0,005 = 0,00305 \text{ m}^2$$

Napětí od rozložené síly:

$$N_{tdx} = \cos 58^\circ \cdot \frac{N_{td}}{2} = \cos 58^\circ \cdot \frac{95,74}{2} = 25,367 \text{ kN}$$

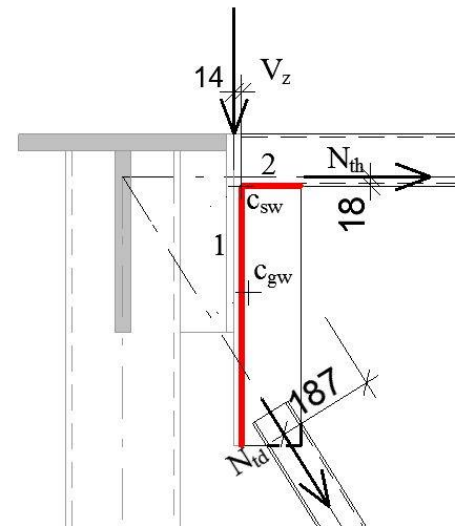
$$N_{tdz} = \sin 58^\circ \cdot \frac{N_{td}}{2} = \sin 58^\circ \cdot \frac{95,74}{2} = 40,596 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Ntdx} = \frac{N_{tdx}}{A} = \frac{25\,367/2}{0,00305} = 4,159 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Ntdx}}{\sqrt{2}} = \frac{4,159}{\sqrt{2}} = 2,941 \text{ MPa} \\ 2: \tau_{\parallel} = \sigma_{Ntdx} = 4,159 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{Ntdz} = \frac{N_{tdz}/2}{A} = \frac{40\,596/2}{0,00305} = 6,655 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \tau_{\parallel} = \sigma_{Vz} = 6,655 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Vz}}{\sqrt{2}} = \frac{6,655}{\sqrt{2}} = 4,706 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{Vz} = \frac{N_z/2}{A} = \frac{7\,520/2}{0,00305} = 1,233 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \tau_{\parallel} = \sigma_{Vz} = 1,233 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Vz}}{\sqrt{2}} = \frac{1,233}{\sqrt{2}} = 0,872 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{Nth} = \frac{N_{th}/2}{A} = \frac{77\,340/2}{0,00305} = 12,679 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{Nth}}{\sqrt{2}} = \frac{12,679}{\sqrt{2}} = 8,965 \text{ MPa} \\ 2: \tau_{\parallel} = \sigma_{Nth} = 12,679 \text{ MPa} \end{array} \right.$$



Obr. 7.13: Vyznačení svarového spoje

Napětí od momentu:

$$y_t = 12,869 \text{ mm}$$

$$z_t = 205,369 \text{ mm}$$

$$I_y = 79,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,8024 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_P = I_y + I_z = 79,7 \cdot 10^{-6} + 1,8024 \cdot 10^{-6} = 81,5024 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{yM} = \frac{M}{I_P} \cdot z = \frac{8\,304}{81,502 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,205 = 20,9 \text{ MPa} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{yM}}{\sqrt{2}} = \frac{20,9}{\sqrt{2}} = 14,8 \text{ MPa} \\ 2: \tau_l = \sigma_{yM} = 20,9 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{zM} = \frac{M}{I_P} \cdot y = \frac{8\,304}{81,502 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,012869 = 1,3 \text{ MPa} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1: \tau_l = \sigma_{zM} = 1,3 \text{ MPa} \\ 2: \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{zM}}{\sqrt{2}} = \frac{1,3}{\sqrt{2}} = 0,9 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Součet napětí – svar č.1:

$$\tau_l = 6,655 + 1,233 + 1,3 = 9,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2,941 + 8,956 + 14,8 = 26,71 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_l^2)} = \sqrt{26,71^2 + 3 \cdot (26,71^2 + 9,2^2)} = 55,75 \text{ MPa}$$

$$55,75 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 26,71 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

Součet napětí – svar č.2:

$$\tau_{\parallel} = 4,159 + 12,679 + 20,9 = 37,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 4,706 + 0,872 + 0,9 = 6,478 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{6,478^2 + 3 \cdot (6,478^2 + 37,74^2)} = 66,6 \text{ MPa}$$

$$66,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 6,478 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

✓ **Vyhovuje!**

7.4.4 Šroubový spoj přes čelní desku

Návrhové síly:

$$N = 77,34 \text{ kN}$$

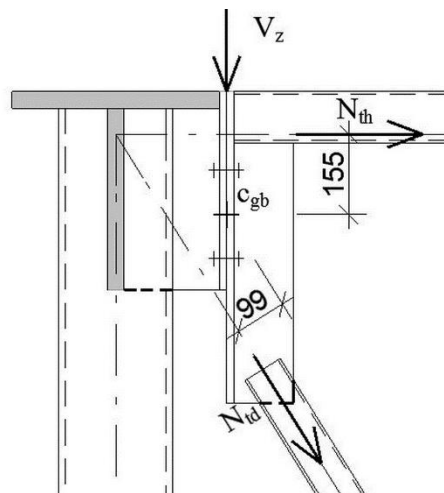
$$N_{td} = 95,74 \text{ kN}$$

$$V_z = 7,52 \text{ kN}$$

$$M_1 = N_{td} \cdot e_1 = 95,74 \cdot 99 = 9,478 \text{ kNm}$$

$$M_2 = N_{th} \cdot e_2 = 77,34 \cdot 155 = 11,988 \text{ kNm}$$

$$M = M_2 - M_1 = 11,988 - 9,478 = 2,51 \text{ kNm}$$



Návrh šroubů: M 24, 5.8 ($f_{ub} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 400 \text{ MPa}$)

Obr. 7.14: Šroubový spoj

Plocha jádra: $A_s = 353 \text{ mm}^2$,

Plocha dřívku: $A = 452 \text{ mm}^2$,

Průměr: $d = 24 \text{ mm}$.

Posouzení šroubového spoje ve smyku:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Posouzení šroubového spoje v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{5,02 \cdot 0,4 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,024 \cdot 0,015}{1,25} = 208,189 \text{ kN}$$

$$e_{1min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{2min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ mm}$$

$$p_{1min} = 2,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 55 \text{ mm}$$

$$p_{2min} = 2,4 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 25 = 60 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \cdot 25} = 0,4 \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{160}{3 \cdot 25} - \frac{1}{4} = 1,88 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{360} = 1,39 \end{cases}$$

$$\alpha_b = 0,4$$

$$k_{1, \text{krajní}} = \begin{cases} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{60}{25} - 1,7 = 5,02 \\ 2,5 \end{cases}$$

$$k_{1, \text{krajní}} = \begin{cases} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{170}{25} - 1,7 = 7,82 \\ 2,5 \end{cases}$$

$$k_1 = 5,02$$

Posouzení šroubového spoje v tahu:

Účinek od ohybového momentu:

$$M = 2,51 \text{ kNm}$$

$$\frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} \rightarrow F_1 = \frac{F_2 \cdot r_1}{r_2}$$

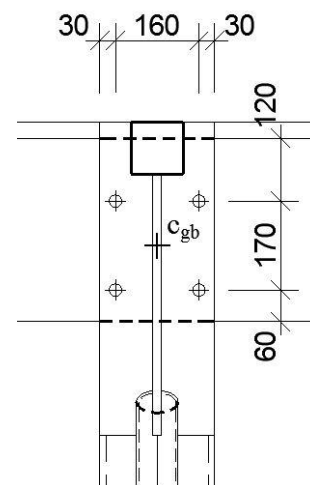
$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = M$$

$$\frac{F_2 \cdot r_1}{r_2} \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = M$$

$$F_2 = \frac{M \cdot r_2}{(r_1^2 + r_2^2)}$$

$$F_2 = \frac{2\,510 \cdot 0,23}{(0,06^2 + 0,23^2)} = 10,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,2} = \frac{10,2}{2} = 5,1 \text{ kN}$$



Obr. 7.15: Pohled na čelní desku

Účinek od tahových sil:

$$N_{tdx} = \cos 58^\circ \cdot \frac{N_{td}}{2} = \cos 58^\circ \cdot \frac{95,74}{2} = 25,367 \text{ kN}$$

$$N_{tdz} = \sin 58^\circ \cdot \frac{N_{td}}{2} = \sin 58^\circ \cdot \frac{95,74}{2} = 40,596 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 353}{1,25} = 127,08 \text{ kN}$$

$$\frac{N/2 + N_{tdx} + N_{t,2}}{F_{t,Rd}} = \frac{38,7 + 25,367 + 5,1}{127,08 \cdot 2} = \mathbf{0,27 \leq 1,00}$$

Posouzení šroubového spoje v protlačení:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 38,8 \cdot 14 \cdot \frac{235}{1,25} = 192,494 \text{ kN}$$

Posouzení šroubového spoje v protlačení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{7,52+40,596}{70,6 \cdot 4} + \frac{77,34+25,367}{1,4 \cdot 127,08 \cdot 4} = \mathbf{0,32 \leq 1,00}$$

Vliv páčení, stanovení únosnosti náhradního T-profilu:

$$e_{min} = 30 \text{ mm}, m = 80 \text{ mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 4,117}{0,125} = 131,744 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,25 \cdot 0,3575 \cdot 0,014^2 \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4,117 \text{ kNm}$$

$$l_{eff,1} = l_{eff,nc} = 0,3575 \text{ m}$$

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 0,08 = 0,503 \text{ m}$$

$$l_{eff,nc} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 0,080 + 1,25 \cdot 0,03 = 0,3575 \text{ m}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 4,117 + 0,030 \cdot \sum 4 \cdot 127,08}{0,08 + 0,03} = 213,49 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = M_{pl,1,Rd} = 4,117 \text{ kNm}$$

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 127,08 = 508,32 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = \min(131,744; 213,49; 508,32) = 131,744 \text{ kN}$$

$$\frac{N + N_{tdx}}{F_{t,Rd}} = \frac{102,707}{131,744 \cdot 4} = \mathbf{0,20 \leq 1,00}$$

✓ **Vyhovuje!**

8 Mezní stav použitelnosti

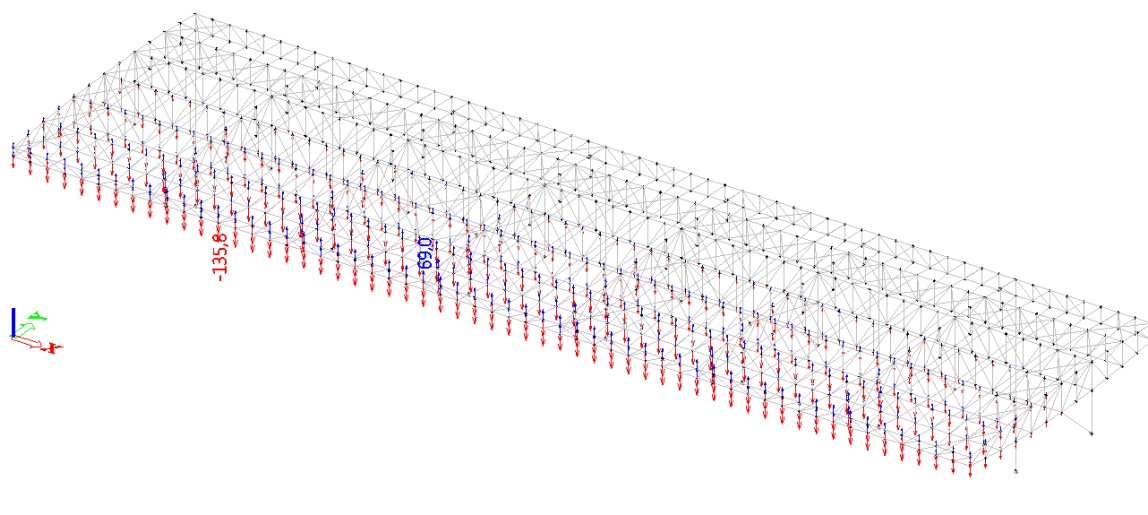
8.1 Svislé průhyby

Délka L je uvažována hodnotou rovna dvojnásobku délky konzoly. Hodnoty maximálního posunu jsou spočítány pomocí programu Scia Engineer.

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{2 \cdot 20\,000}{250} = 160 \text{ mm}$$

$$u_z = 135,8 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 160 \text{ mm}$$

✓ Vyhovuje!



Obr. 8.1: Maximální svislé posuny u_z

8.2 Vodorovné průhyby

Požadavky dle [5] NA.2.23 vodorovné průhyby vrcholů sloupů budov bez jeřábových drah od zatížení větrem.

Sloupy:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{1,2^2 + 11,6^2} = 11,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{h}{300} = \frac{4\,500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$u = 11,7 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 15 \text{ mm}$$

✓ **Vyhovuje!**

Táhla:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{3,4^2 + 30,9^2} = 31,1 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{h}{300} = \frac{18\,210}{300} = 60,7 \text{ mm}$$

$$u = 31,1 \text{ mm} \leq \delta_{\max} = 60,7 \text{ mm}$$

✓ **Vyhovuje!**

Literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 43 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 37 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [4] ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [5] ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 213 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 200, 126 s.
- [7] STUDNÍČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 20*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 309 s. ISBN 80-010-2529-2.
- [8] DOLEŽAL, Tomáš. *Ocelová konstrukce rozhledny: bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, 2012. 10 s., 171 s. příl. Vedoucí práce Ing. Lukáš Hron.
- [9] *Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů*. 08-08. Brno: EXPO DATA,. ISBN 1802-2030. Dostupné z:
http://www.casopisstavebnictvi.cz/online/dokumenty/pdf/stavebnictvi_2008_06-07.pdf
- [10] BARTOŇ, Radek. *Zastřešení tribuny na stadionu*. Brno, 2012. 119 s., 34 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Josef Puchner, CSc..

- [11] PILGR, Milan. *BO02 Prvky kovových konstrukcí: Svarové spoje*. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z:
http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_06.pdf