

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE
NÁVRH ZIMNÍHO STADIONU

Vypracoval : **Bc. Adam Koudelka**

Kontroloval : **Ing. Břetislav Židlický, Ph.D.**

Investor :

Datum : **1/2021**

Účel : **Školní**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Koudelka Jméno: Adam Osobní číslo: 437992

Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh zimního stadionu

Název diplomové práce anglicky: Ice arena design

Pokyny pro vypracování:

Návrh hlavních prvků nosné konstrukce zimního stadionu, včetně části zázemí, a vybraných přípojí a detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohled, vybrané detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.

Jméno vedoucího diplomové práce: Břetislav Židlický

Datum zadání diplomové práce: 24.9.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.9.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Adam Koudelka

Název diplomové práce: Návrh zimního stadionu

Základní část: Ocelové konstrukce podíl: 80 %

Formulace úkolů: Návrh hlavních nosných prvků ocelové konstrukce zimního stadionu, jmenovitě haly s ledovou plochou a skeletu zajišťujícím zázemí. Výkresová dokumentace, včetně vybraných detailů. Techcká zpráva.

Podpis vedoucího DP: 

Datum: 16.12.2020

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: Konstrukce pozemních staveb podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Lenka Ingrišová, Ph.D., Katedra konstrukcí pozemních staveb

Formulace úkolů: zpracování dvou vybraných detailů v měřítku 1:5.

Podpis konzultanta: 

Datum: 17.12.2020

3. Část: Betonové konstrukce podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Michaela Frantová Ph.D., Katedra betonových a zděných konstrukcí

Formulace úkolů: Návrh tvaru a výztuže dvou vybraných patek halového objektu. Výkresy tvaru a výztuže.

Podpis konzultanta: 

Datum: 13.12.2020

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

ANOTACE

Předmětem této diplomové práce je návrh zimního stadionu a přilehlého zázemí. Jedná se o dvoulodní ocelovou halu s rozpony 40 metrů a 28 metrů. Svislé nosné konstrukce jsou tvořeny ocelovými sloupy HEB, vodorovné jsou pak z ocelových IPE a HEA profilů. Zastřešení je řešeno pomocí prostorového příhradového nosníku, rovinného příhradového nosníku a průvlaků. Součástí této diplomové práce je technická zpráva, statický výpočet a projektová dokumentace a ostatní přílohy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zimní stadion, ocelová hala, prostorový příhradový nosník, statický výpočet, projektová dokumentace, technická zpráva

ANNOTATION

The main aim of this master thesis is to project an ice hockey stadium. The steel hall consists of two naves with a 40-meters and 28-meters bridging. Vertical supporting structures are made out of steel HEB-profiles columns and the horizontal ones are made out of steel IPE-profiles and HEA-profiles. The supporting structure of the roof is made out of steel spatial lattice beam, normal lattice beam, and girders. Technical report, statics design, project documentation, and other attachments are all part of this master thesis.

KEY WORDS

Ice hockey stadium, steel hall, steel spatial lattice beam, statics design, project documentation, technical report

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Břetislavu Židlickému, Ph.D. za trpělivost a čas, který mi věnoval a taktéž za poskytnutí podkladů pro zpracování mé diplomové práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

12. 12. 2020

Adam Koudelka





Obsah

1	Identifikační údaje.....	9
2	Předmět projektu.....	9
3	Předané podklady.....	9
4	Výpočtový software.....	9
5	Použitá literatura a technické normy.....	10
6	Přílohy.....	11
7	Popis stavby a konstrukčního systému.....	12
8	Použité materiály.....	12
9	Zásady návrhu a provádění.....	13
9.1	Deformace nosných konstrukcí.....	13
9.2	Dilatace konstrukce.....	13
9.3	Požadavky na vzhled a povrchové úpravy.....	13
9.4	Požární ochrana.....	13
9.5	Tolerance a provádění nosných konstrukcí.....	13
9.6	Specifické požadavky na rozsah a obsah dokumentace.....	13
10	Hodnoty zatížení uvažované při návrhu nosné konstrukce.....	14
10.1	Stálá zatížení.....	14
10.2	Užitné zatížení.....	14
10.3	Zatížení sněhem.....	15
10.4	Zatížení větrem.....	15
10.5	Imperfekce a vlastní tvary.....	20
11	Návrh a posouzení konstrukce.....	21
11.1	Stěnové panely.....	21
11.2	Střešní panely.....	22
11.3	Paždíky.....	23
11.4	Vaznice nad ledovou plochou.....	24
11.5	Vaznice nad zázemím.....	28
11.6	Střešní průvlak.....	30
11.7	Prostorový příhradový nosník.....	36
11.8	Rovinný příhradový nosník.....	45
11.9	Průčelní průvlak.....	51
11.10	Stropnice spřaženého ocelobetonového stropu zázemí.....	54
11.11	Průvlak spřaženého ocelobetonového stropu zázemí.....	61
11.12	Sloup S1 (levý sloup pod prostorovým příhradovým nosníkem).....	66
11.13	Sloup S2 (mezilehlé sloupy na levé straně ledové plochy).....	71
11.14	Sloup S3 (sloupy průčelí ledové plochy).....	76



11.15	Sloup S4 (sloupy průčelí zázemí).....	81
11.16	Sloup S5 (levý sloup pod prostorovým příhradovým nosníkem).....	85
11.17	Sloup S6 (mezilehlé sloupy na levé straně ledové plochy)	90
11.18	Sloup S7 (podélné sloupy zázemí)	94
11.19	Sloup S8 (sloup zázemí).....	99
11.20	Střešní ztužidlo	102
11.21	Stěnové ztužidlo	104
12	Návrh a posouzení vybraných spojů.....	107
12.1	Spoj stropnice zázemí k průvlaku zázemí	107
12.2	Spoj průvlaku zázemí ke sloupu zázemí	110
12.3	Kloubová patka pod sloupem zázemí.....	112
12.4	Vetknutá patka pod sloupem prostorového příhradového nosníku	114
12.5	Montážní spoj prostorového příhradového nosníků v horním pásu.	117
12.6	Montážní spoj prostorového příhradového nosníků ve spodním pásu	120
12.7	Spoj diagonál a horního pásu prostorového příhradového nosníku.....	123
12.8	Montážní spoj rovinného příhradového nosníku spodního a horního pásu.	127
12.9	Spoj diagonál s pásy rovinného příhradového nosníku	129
12.10	Spoj ztužidla se sloupem a patním plechem.....	131
13	Závěr.....	135



1 Identifikační údaje

Stavba:	Návrh zimního stadionu
Místo stavby:	Karlovy Vary
Investor:	Studijní účely
Stupeň dokumentace:	Studijní účely
Část dokumentace:	D.1.2. Stavebně-konstrukční část
Vypracoval:	Bc. Adam Koudelka, tel.: +420 776 086 800
Kontroloval:	Ing. Břetislav Židlický

2 Předmět projektu

Předmětem projektu je návrh a posouzení ocelové konstrukce zimního stadionu a přilehlého zázemí. V rámci Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí bude zpracován návrh a posouzení ocelové konstrukce a vybraných detailů. V rámci Katedry betonových a zděných konstrukcí budou zpracovány výkresy tvaru a výztuže dvou vybraných patek. V rámci Katedry konstrukcí pozemních staveb budou zpracovány dva vybrané detaily.

3 Předané podklady

[1] Přibližný půdorys zadaného objektu.

4 Výpočtový software

Výpočet a posouzení jednotlivých prvků bylo provedeno dle příslušných podkladů a normových předpisů. Jednotlivé části konstrukce byly dimenzovány samostatně jako oddělené prvky. Veškeré prvky byly posouzeny z hlediska I. a II. mezního stavu únosnosti a použitelnosti.



5 Použitá literatura a technické normy

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, březen 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, březen 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. ČNI, červen 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, duben 2007.
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla-Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, listopad 2006.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, prosinec 2006.
- [7] ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, prosinec 2006
- [8] ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla. ČNI, září 2006

Výše uvedené normy byly použity společně s platnými Národními dodatky, Změnami a Opravami příslušné normy vydanými do doby zpracování předložené zprávy.

- [9] Kingspan Group, Kingspan přehled produktů – Brožura, 2020. Kingspan. <https://www.kingspan.com/> (accessed Oct 08, 2020).
- [10] Kingspan Group, Kingspan Průvodce projektem a stavbou – Kapitola 5 - Tabulky únosnosti, 2020. Kingspan. <https://www.kingspan.com/> (accessed Oct 08, 2020).
- [11] Kovové profily, spol. s.r.o. TABULKY ÚNOSNOSTI, 2020. KOVOVÉ PROFILY. <http://kovprof.cz/> (accessed Oct 11, 2020).



6 Přílohy

- [A] Výkres detailů ocelových spojů 1-4, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [B] Výkres detailů ocelových spojů 5-7, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [C] Výkres detailů ocelových spojů 8, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [D] Výkres detailů ocelových spojů 9-10, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [E] Výkres tvaru základových patek, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2020
- [F] Výkres výztuže základových patek, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2020
- [G] Výkres detailů KPS, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2020
- [H] Přehled zatěžovacích stavů a kombinací
- [I] Přehled produktů – Brožura, Kingspan, říjen 2020
- [J] Použitá část – Kingspan Průvodce projektem a stavbou – Kapitola 5 – Tabulky únosnosti, Kingspan, říjen 2020
- [K] Tabulky únosností paždíků, Kovové profily, říjen 2020
- [L] Půdorys ocelové konstrukce, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2020
- [M] Pohled a řezy ocelovou konstrukcí, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2020
- [N] Výstup GEO – Návrh kloubové patky, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [O] Výstup GEO – Návrh vetknuté patky, Bc. Adam Koudelka, listopad 2020
- [P] Výkres detailů ocelových spojů 11, Bc. Adam Koudelka, prosinec 2021



7 Popis stavby a konstrukčního systému

Jedná se o dvoulodní ocelovou halu s obdélníkovým půdorysem 68 x 84 m. Výška hřebene haly je 12 m, výška okapů u krajů je 8 m a ve vrcholu 11 m. Prostorové uspořádání je k nalezení v příloze [L] a v příloze [M].

V levém traktu, který je celý otevřený, se bude nacházet ledová plocha. Trakt je široký 40 m a bude zastřešen pomocí prostorových příhradových nosníků z kruhových dutých průřezů. Každý z nosníků bude na svých koncích podepřen dvojicí sloupů, které přenesou zatížení ze střešního pláště do základové konstrukce.

V pravém traktu se bude nacházet zázemí. Pravý trakt je široký 28 m, v přední a v zadní části je trakt otevřený a bude zastřešen pomocí rovinných příhradových nosníků z kruhových dutých průřezů. Ve střední části, kde se budou nacházet kanceláře a šatny, je navrhnut ocelový skelet se spřaženým ocelobetonovým stropem. V místě ocelového skeletu jsou vaznice podepřeny pomocí průvlaků mezi sloupy.

Základová konstrukce (není v rámci projektu navržena) se bude skládat ze skupin základových patek, podlaha haly bude z vodo-stavebního betonu a vyztužená pomocí drátků.

Pro část konstrukcí pozemních staveb jsou zpracovány dva detaily zobrazené v příloze [G].

Pro část betonových a zděných konstrukcí je zpracován výkres tvaru a výkres výztuže dvou vybraných patek (jedná se o patku vestavby a o patku pod sloupem S1), tyto výkresy jsou k nalezení v příloze [E] a v příloze [F]. Výpočet rozměrů patek a jejich výztuže je k nalezení v příloze [N] a v příloze [O].

Veškeré dimenze jednotlivých prvků jsou shrnuty v závěru a jejich podrobný výpočet je k nalezení dále ve statickém posudku.

8 Použité materiály

Jsou zde uvedené pouze materiály, které jsou přímo použity v některém z následujících výpočtů.

Ocelové nosné konstrukce:	S355J2
Šrouby:	8.8
Trapézový plech:	S320GD
Beton:	C20/25 XC2 – CL 0,2 – Dmax 16 – S3 C30/37 XC1 – CL 0,2 – Dmax 16 – S3
Betonářská ocel:	B500B



9 Zásady návrhu a provádění

Konstrukce jsou navrženy podle norem ČSN EN a podle požadavků investora. Vstupní data, kritéria návrhu a posouzení konstrukce jsou uvedena v následujících bodech.

9.1 Deformace nosných konstrukcí

Při návrhu prvků se uvažuje s celkovým omezením průhybů na 1/250 pro okamžitý průhyb a 1/250 pro konečný průhyb.

Zpracovatel projektu upozorňuje na skutečnost, že všechny nosné prvky objektu budou vykazovat deformace, které vyhoví požadavkům dnes platných norem a výše popsáním kritériím. Následně připojované stavební konstrukce a práce musí tyto průhyby respektovat.

9.2 Dilatace konstrukce

Konstrukce bude řešena jako jeden dilatační celek bez dilatačních spár.

9.3 Požadavky na vzhled a povrchové úpravy

Povrchová úprava konstrukce bude stanovena v architektonické nebo stavebně technické části projektové dokumentace.

9.4 Požární ochrana

Požární ochrana prvků bude stanovena v požárně bezpečnostním řešení, případné nedostatky v kolizi s požárně technickými požadavky budou řešeny úpravou nosných prvků v navazující projektové dokumentaci.

9.5 Tolerance a provádění nosných konstrukcí

Pro stavbu mohou být užity pouze schválené výrobky a materiály s příslušnou certifikací.

Stavební práce mohou provádět pouze firmy a osoby náležitě odborně způsobilé k výkonu stavebních profesí s příslušným oprávněním ke stavební činnosti. Při všech stavebních pracích dokumentovaných tímto projektem je nutno dodržovat zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, nařízení vlády č. 362/2005 Sb., o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky, vyhlášku č. 374/1990 Sb., o bezpečnosti práce a technických zariadení při stavebních pracích, a nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví na staveništích, v platném znění, a to včetně citovaných předpisů. Všechny zúčastněné osoby musí být s předpisy seznámeny před zahájením prací a mají povinnost používat při práci osobní ochranné pomůcky podle výše uvedených předpisů.

9.6 Specifické požadavky na rozsah a obsah dokumentace

Jedná se o dokumentaci zpracovanou pouze ke studijním účelům a nelze ji použít jinak. Dokumentaci není možné použít zejména pro realizaci stavby, v takovém případě je nutné vypracovat podrobnější realizační a výrobní dokumentaci. Veškerá zákonná i hmotná odpovědnost při nerespektování výše uvedeného se přenáší na realizační firmu.



10 Hodnoty zatížení uvažované při návrhu nosné konstrukce

10.1 Stálá zatížení

Obvodový plášť - stěna	Tl.	Objem.	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
	[mm]	hmot.	[kN.m ⁻²]	komb. 6.10 a	6.10 b
KS1000/1150 NC	150	-	0,15	0,21	0,18
zatížení stálé na 1 m²			0,15	0,21	0,18
Obvodový plášť - střecha	Tl.	Objem.	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
	[mm]	hmot.	[kN.m ⁻²]	komb. 6.10 a	6.10 b
KS1000 X-dek	140	-	0,26	0,36	0,30
zatížení stálé na 1 m²			0,26	0,36	0,30
Stropní konstrukce provoz	Tl.	Objem.	Char. h.	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
	[mm]	hmot.	[kN.m ⁻²]	komb. 6.10 a	6.10 b
Trapézový plech	-	-	0,13	0,17	0,14
Betonová deska	87	25	0,02	0,03	0,02
Skladba podlahy	-	-	2,00	2,70	2,30
IPE průřez (započten v programu)	-	-	-	-	-
Podhled (bude připevněn v IPE profilu)	-	-	1,00	1,35	1,15
zatížení stálé na 1 m²			3,15	4,25	3,61

10.2 Užité zatížení

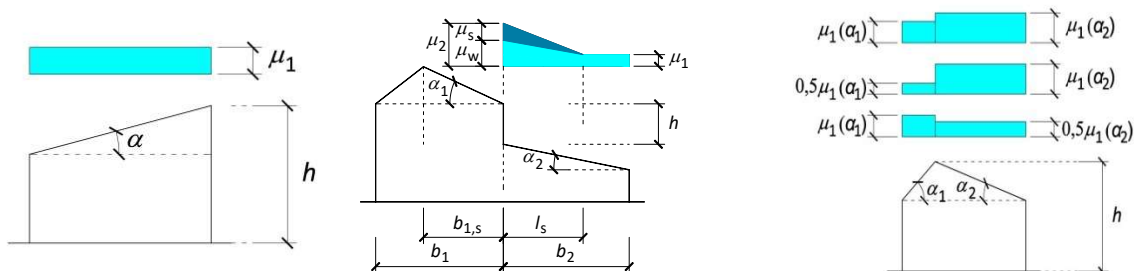
Užitné zatížení střešní konstrukce kategorie H je zanedbáno. Zatížení sněhem je větší, tudíž bude dominantní.

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²] komb. 6.10 a 6.10 b	
kategorie H	0,75	0,79	1,125
STROPNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²] komb. 6.10 a 6.10 b	
kategorie C5	5,00	5,25	7,5
STROPNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²] komb. 6.10 a 6.10 b	
Příčky	1,00	1,05	1,5
STROPNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²] komb. 6.10 a 6.10 b	
kategorie B	2,50	2,63	3,75



10.3 Zatížení sněhem

Lokalita: Karlovy Vary
 Sněhová oblast lokality objektu III $\Rightarrow s_{k,min} = 1,5 \text{ kN/m}^2$
 Typ krajiny v okolí objektu: Normální $\Rightarrow C_e = 1,0$
 Tepelná prostupnost střechy: Normální $\Rightarrow C_t = 1,0$



Obr. 1 – Schémata zatížení sněhem

Sklon střešní konstrukce: $\alpha < 3^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$
 $\alpha_1 = 3^\circ$
 $\alpha_2 = 3^\circ$
 Geometrie: $b_1 = 40 \text{ m}$
 $b_2 = 28 \text{ m}$
 $b_{1,s} = 15 \text{ m}$
 $h = 2 \text{ m}$ (konzervativní hodnota)
 Délka návěje: $5,0 \text{ m} < l_s = 2 * h \leq 15 \text{ m}$
 $l_s = 5 \text{ m}$
 Sesuv sněhu: $\alpha < 15^\circ \Rightarrow \mu_s = 0$
 Navátí sněhu: $\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma h/s_{k,min} \leq 2$
 $\mu_w = \min\{17; 2,67; 2\} = 2$
 Návěj: $\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0 + 2 = 2$
 Charakteristická hodnota plošného zatížení:

$$s_{k,1} = \mu_1 * C_e * C_t * s_{k,min} = 0,8 * 1 * 1 * 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{k,2} = \mu_2 * C_e * C_t * s_{k,min} = 2 * 1 * 1 * 1,5 = 2 \text{ kN/m}^2$$

10.4 Zatížení větrem

Lokalita: Karlovy Vary
 Větrná oblast lokality objektu I $\Rightarrow v_{b,0} = 22,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 Základní rychlost větru: $v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 22,5 = 22,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 Součinitel směru větru $C_{dir} = 1,0$
 Součinitel období $C_{season} = 1,0$



Střední rychlost větru:

$$v_{m(h)} = c_{r(h)} * c_{0(h)} * v_b = 0,78 * 1 * 22,5 = 17,9 \frac{m}{s}$$

Kategorie terénu III

$$\text{Součinitel terénu } K_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,III}}\right)^{0,07} = 0,215$$

Výška budovy $h = 12 \text{ m}$

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

$$\text{Součinitel drsnosti } c_{r(h)} = K_r * \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) = 0,79$$

Součinitel orografie $c_{0(z_e)} = c_{0(b)} = 1,0$

Max. dynamický tlak větru:

$$q_{p(h)} = \left[1 + 7 * l_v(h)\right] * \frac{1}{2} * \rho * v_{m(h)}^2$$

$$\left[1 + 7 * 0,27\right] * \frac{1}{2} * 1,25 * 17,9^2 = 0,58 \text{ kPa}$$

Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3}$

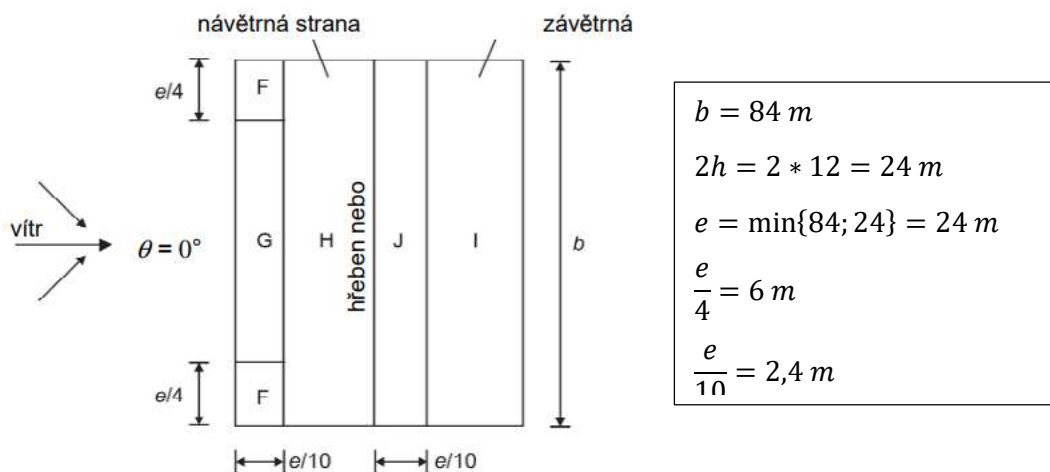
Součinitel turbulence $k_i = 1,0$

$$\text{Intenzita turbulence } \frac{k_i}{c_{0(z_e)} * \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} = 0,27$$

Zatěžovací plochy jsou zaokrouhleny vždy k nejbližším větším uzlům modelu. Zatížení je uvažováno zjednodušeně, jako by se jednalo o sedlovou střechu, tj. bez převýšení mezi zastřešením zázemí a zastřešením ledové plochy. Převýšení je zatíženo, jako by se jednalo o stěnu.

10.4.1 Zatížení střechy větrem

Zatížení střechy větrem – směr větru $\theta = 0^\circ$



Obr. 2 – Schéma zatížení větrem



Vnější tlak větru na střeše se sklonem 3°

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na střechu

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.4a:

oblast	Fmax	Gmax	Hmax	Imax	Jmax
$C_{pe,10}$	-0,46	-0,24	-0,12	-0,44	0,2
w_e	-0,27	-0,14	-0,07	-0,25	0,12

oblast	Fmin	Gmin	Hmin	Imin	Jmin
$C_{pe,10}$	-1,82	-1,2	-0,64	-0,6	-0,6
w_e	-1,05	-0,69	-0,37	-0,35	-0,35

Vnější tlak větru na střeše se sklonem 9°

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na střechu

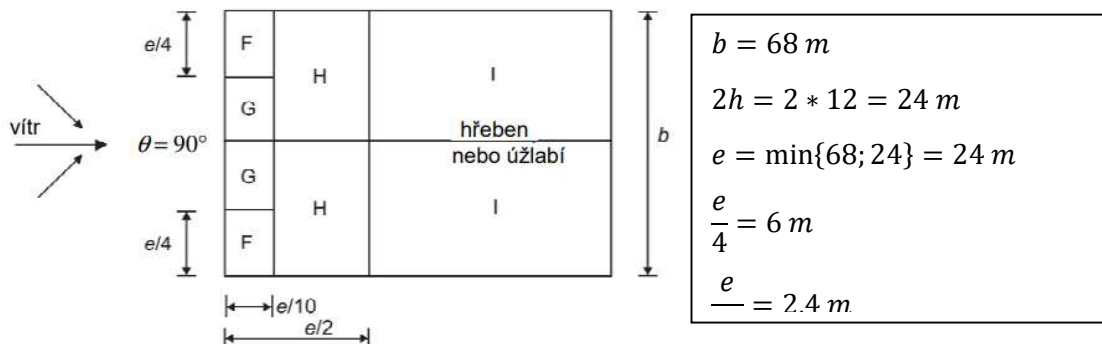
součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.4a:

oblast	Fmax	Gmax	Hmax	Imax	Jmax
$C_{pe,10}$	0,4	0,08	0,08	-0,36	0,12
w_e	0,23	0,05	0,05	-0,21	0,07

oblast	Fmin	Gmin	Hmin	Imin	Jmin
$C_{pe,10}$	-1,38	-1,04	-0,48	-0,52	-0,76
w_e	-0,80	-0,60	-0,28	-0,30	-0,44

Při $\theta = 0^\circ$ se tlaky prudce mění mezi kladnými a zápornými hodnotami. Pro tuto střechu jsou uvažovány čtyři případy, ve kterých jsou největší a nejmenší hodnoty příslušných sklonů všech oblastí F, G, H kombinovány s největšími a nejmenšími hodnotami příslušných sklonů v oblastech I a J.

Zatížení střechy větrem – směr větru $\theta = 90^\circ$



Obr. 3 – Schéma zatížení větrem



Vnější tlak větru na střeše se sklonem 3°

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na střechu

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.4b:

oblast	F	G	H	I
$C_{pe,10}$	-1,64	-1,28	-0,7	-0,6
w_e	-0,95	-0,74	-0,41	-0,35

Vnější tlak větru na se sklonem 9°

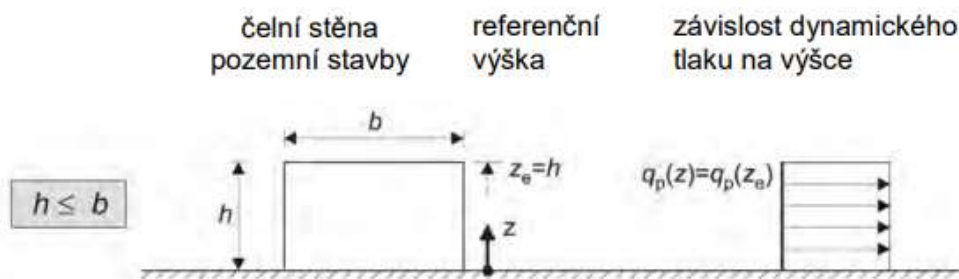
$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.4b:

oblast	F	G	H	I
$C_{pe,10}$	-1,54	-1,3	-0,68	-0,58
w_e	-0,89	-0,75	-0,39	-0,34

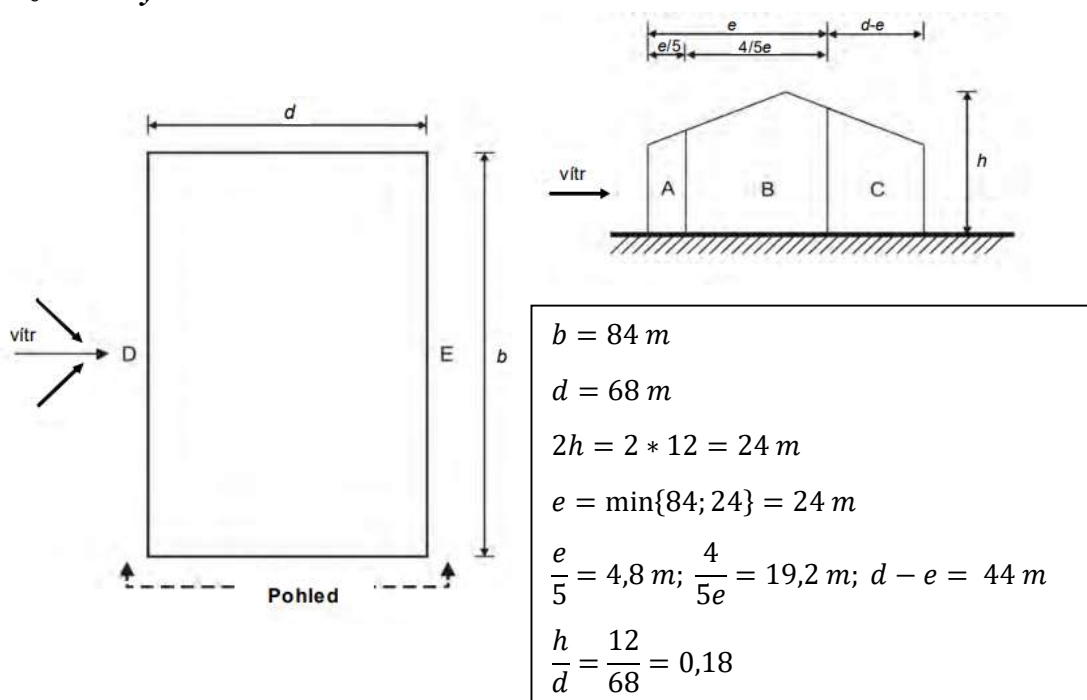
10.4.2 Zatížení stěny větrem



Obr. 4 – Schéma zatížení větrem

Pro směr větru $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 90^\circ$ je h vždy menší než b . Z toho důvodu je tlak a sání na stěnu konstantní po celé její výšce

Zatížení stěny větrem – směr větru $\theta = 0^\circ$



Obr. 5 – Schéma zatížení větrem



Vnější tlak větru na stěně se sklonem 90°

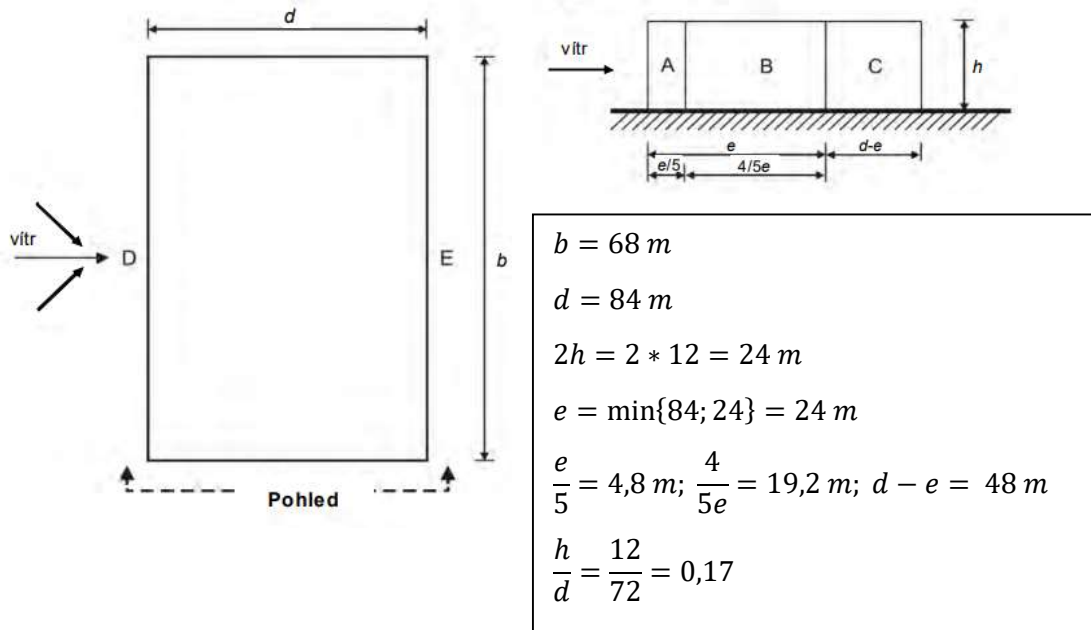
$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na stěnu

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.1:

oblast	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
w_e	-0,69	-0,46	-0,29	0,41	-0,17

Zatížení stěny větrem – směr větru $\theta = 90^\circ$



Obr. 6 – Schéma zatížení větrem

Vnější tlak větru na stěně se sklonem 90°

$$w_e = q_p(h) * c_{pe}$$

Zatížení spodní hrany - odpovídající zatížení na stěnu

součinitele vnějšího tlaku z tab. 7.1:

oblast	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
w_e	-0,69	-0,46	-0,29	0,41	-0,17

10.4.3 Zatížení tlakem větru

Stavba nemá jasnou dominantní fasádu a odhad μ není možný, proto je uvažován součinitel C_{pi} jako +0,2/-0,3. Jednotlivý přetlaky a podtlaky jsou přiřazeny k zatěžovacímu stavu, kde mají smysl.

$$C_{pi} = -0,3$$

$$C_{pi} = 0,2$$

$$w_e = q_p(h) * c_{pI} = 0,58 * -0,3 = -0,18 \text{ kPa (kNm}^{-2}\text{)}$$

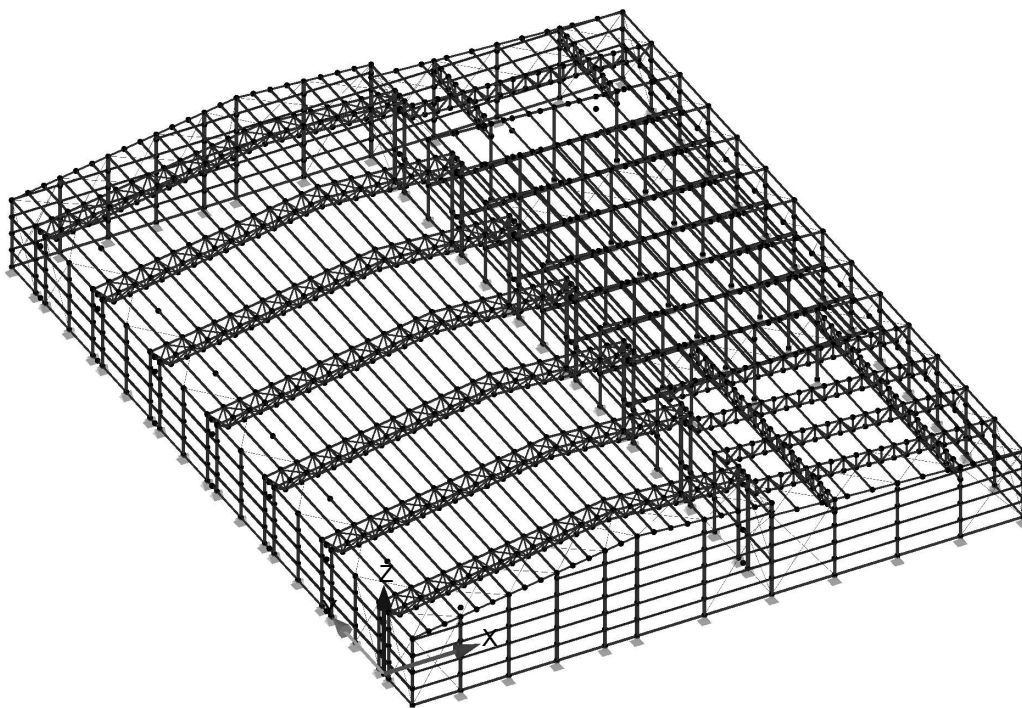
$$w_e = q_p(h) * c_{pI} = 0,58 * 0,2 = 0,12 \text{ kPa (kNm}^{-2}\text{)}$$



11 Návrh a posouzení konstrukce

Pro návrh a posouzení ocelové konstrukce byl vytvořen globální model konstrukce, který je zatížen příslušnými zatěžovacími stavy. Použité zatěžovací stavy a jejich kombinace jsou k nalezení v příloze [H]

U návrhu prvků jsou používány vnitřní síly v určitých bodech od určitého zatěžovacího stavu nebo maximální vnitřní síly z obálky MSÚ popřípadě MSP. Při přepočtech modelu a při postupné úpravě průřezu prvků dochází ke snižování vnitřních sil (zejména z důvodu snížení vlastní tíhy konstrukce). Vzhledem k časovým nárokům na přepočet modelu je na snížené vnitřní síly přepočtena pouze deformace, u MSÚ bude návrh konzervativní.



Obr. 8 - Globální model Rfem

11.1 Stěnové panely

Stěnové panely KS1000/1150NC tl. 150 mm jsou posouzeny v místě největšího rozponu na sání a tlak. Panel bude uložen spojitě minimálně vždy přes dvě pole. Stěnový panel je navrhnutý a posouzený dle technického listu výrobce Kingspan viz [10].

Rozpon	Zatížení
2000 mm	+0,41 (tlak)
2000 mm	-0,69 (sání)



TLAK										
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							[kN/m ²]	
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75		
prostý nosník ▲————▲	I., II., III.	40	45	61	75	86	97	107	116	Význam hodnot v tabulce: AA min. šířka krajní podpory [mm] X,XX max. rozpon [m] BB min. šířka střední podpory [mm] Příklady zařazení odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Připustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobá zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
	13,34	10,44	8,53	7,38	6,60	6,03	5,58	5,22		
	40	40	46	59	71	82	93	103		
spojitý nosník o 2 polích ▲——▲——▲	I.	10,91	8,18	6,98	6,21	5,68	5,29	4,98	4,74	
	60	60	91	118	141	164	185	205		
	40	40	46	59	71	82	93	103		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	II.	10,91	8,18	6,98	6,21	5,68	5,29	4,98	4,74	
	60	60	91	118	141	164	185	205		
	40	40	46	59	71	82	93	103		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	III.	10,91	8,18	6,98	6,21	5,68	5,29	4,98	4,74	
	60	60	91	118	141	164	185	205		
	40	40	46	59	71	82	93	103		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	I.	13,25	9,47	7,81	6,82	6,16	5,67	5,29	4,99	
	60	78	108	134	157	179	199	218		
	40	40	54	67	79	90	100	109		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	II.	13,25	9,47	7,81	6,82	6,16	5,67	5,29	4,99	
	60	78	108	134	157	179	199	218		
	40	40	54	67	79	90	100	109		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	III.	13,25	9,47	7,81	6,82	6,16	5,67	5,29	4,99	
	60	78	108	134	157	179	199	218		
	40	40	54	67	79	90	100	109		

SÁNÍ										
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							[kN/m ²]	
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75		
prostý nosník ▲————▲	I.	12,33	8,72	7,12	6,17	5,52	5,04	4,66	4,35	Význam hodnot v tabulce: X,XX max. rozpon [m] Příklady zařazení odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Připustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobá zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
	12,33	8,72	7,12	6,17	5,52	5,04	4,66	4,35		
	12,23	8,72	7,12	6,17	5,52	5,04	4,66	4,35		
spojitý nosník o 2 polích ▲——▲——▲	I.	12,33	8,72	7,12	5,49	4,40	3,70	3,20	2,83	
	12,33	8,72	7,12	5,31	4,25	3,55	3,07	2,72		
	10,98	8,31	6,85	5,03	4,00	3,34	2,88	2,55		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	II.	12,33	8,72	7,12	5,31	4,25	3,55	3,07	2,72	
	60	78	108	134	157	179	199	218		
	40	40	54	67	79	90	100	109		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	III.	12,33	8,72	7,12	5,31	4,25	3,55	3,07	2,72	
	60	78	108	134	157	179	199	218		
	40	40	54	67	79	90	100	109		
spojitý nosník o 3 polích ▲——▲——▲——▲	I.	12,33	8,72	7,12	6,17	5,10	4,23	3,62	3,17	
	12,33	8,72	7,12	6,17	5,02	4,16	3,55	3,10		
	12,33	8,72	7,12	6,17	4,91	4,05	3,44	3,00		

Obr. 9 – Ukázka z tabulky únosností Kingspan

Hodnoty pro posouzení jsou získané pomocí interpolace v tabulce.

2000 mm < 9162 mm
VYHOVUJE

2000 mm < 7504 mm
VYHOVUJE

Stěnový panel KS1000/1150NC tl. 150 mm od výrobce Kingspan VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 27 %.

11.2 Střešní panely

Střešní panely KS1000 X-dek tl. 140 mm jsou posouzeny v místě největšího rozponu na stání a tlak. Panel bude uložený spojitě minimálně vždy přes dvě pole. Střešní panel je navrhnuty a posouzeny dle technického listu výrobce Kingspan viz [10].

Rozpon	Zatížení
2800 mm	+1,43 (tlak) -> 0,25 vítr +1,2 sníh
2800 mm	-1,05 (sání)



Systém	Tloušťka jádra [mm]	Případ zatížení	2,00	2,50	3,00
			Prostý nosník	80	Tlak
Sání	12,42	8,56			6,39
a_{min} [mm]	150	150			148
100	Tlak	9,05		7,20	5,96
	Sání	12,91		9,03	6,83
	a_{min} [mm]	150		150	150
Spojitý nosník o 2 polích	80	Tlak	9,05	7,20	5,92
		Sání	12,42	8,56	6,39
		a_{min} [mm]	150	150	148
	100	b_{min} [mm]	300	300	297
		Tlak	9,05	7,20	5,96
		Sání	12,90	9,03	6,83
		a_{min} [mm]	150	150	150
		b_{min} [mm]	300	300	300

Obr. 10 – Ukázka z tabulky únosností Kingspan

(V prospektech schází tabulky s posouzením pro jádro tl. 140 mm. Panel je tedy posuzován tabulkou pro jádro tl. 80 mm. Tento návrh by měl být konzervativnější. V první řádce je dán rozpon v metrech, v dalších pak tlak a sání v kN/m^2).

$$1,43 \text{ kN/m}^2 < 5,92 \text{ kN/m}^2$$

VYHOVUJE

$$|-1,05| \text{ kN/m}^2 < 6,39 \text{ kN/m}^2$$

VYHOVUJE

Střešní panel KS1000 X-dek od výrobce Kingspan VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 24 %.

11.3 Paždíky

Paždíky C 270/2,5 jsou posouzeny v místě největšího zatížení a v místě největšího rozponu. Paždík je navrhnutý a posouzený dle technického listu výrobce Kovové profily [11]. Dominantní zatížení je sání větru, hodnoty zatížení vycházejí ze zatěžovacích ploch rozložených do liniového zatížení.

Rozpon	Zatížení
5000 mm	-1,38 kN/m^2
7500 mm	-0,82 kN/m^2



Profil G [kg/m]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																	
	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	
C 270/2,0 G = 6,67 kg/m	1	9.82	8.63	7.64	6.82	6.12	5.52	5.01	4.56	4.18	3.83	3.53	3.27	3.03	2.82	2.63	2.45	2.30
	2	8.15	7.13	6.28	5.58	4.98	4.47	4.03	3.65	3.31	3.02	2.77	2.54	2.34	2.16	2.00	1.85	1.72
	3	-3.21	-2.84	-2.54	-2.28	-2.06	-1.87	-1.71	-1.58	-1.45	-1.35	-1.25	-1.17	-1.09	-1.02	-0.95	-0.89	-0.83
	4	-2.49	-2.19	-1.93	-1.72	-1.53	-1.38	-1.26	-1.15	-1.05	-0.97	-0.90	-0.83	-0.77	-0.72	-0.67	-0.62	-0.58
C 270/2,5 G = 6,34 kg/m	1	13.41	11.79	10.44	9.31	8.36	7.55	6.84	6.24	5.70	5.24	4.83	4.46	4.14	3.85	3.59	3.35	3.14
	2	11.74	10.27	9.06	8.05	7.20	6.47	5.84	5.29	4.82	4.40	4.03	3.71	3.42	3.17	2.93	2.72	2.53
	3	-4.19	-3.72	-3.33	-2.99	-2.71	-2.47	-2.26	-2.08	-1.92	-1.79	-1.66	-1.55	-1.45	-1.37	-1.27	-1.19	-1.11
	4	-3.52	-3.10	-2.75	-2.46	-2.21	-2.00	-1.83	-1.67	-1.54	-1.42	-1.32	-1.23	-1.15	-1.07	-1.00	-0.93	-0.86
C 270/3,0 G = 10,01 kg/m	1	17.13	15.05	13.33	11.89	10.68	9.63	8.74	7.96	7.28	6.69	6.17	5.70	5.29	4.92	4.58	4.28	4.01
	2	15.45	13.53	11.95	10.62	9.50	8.55	7.72	7.00	6.38	5.83	5.35	4.93	4.55	4.21	3.90	3.62	3.37
	3	-5.11	-4.53	-4.05	-3.64	-3.29	-3.00	-2.75	-2.53	-2.34	-2.17	-2.03	-1.89	-1.77	-1.67	-1.55	-1.45	-1.36
	4	-4.47	-3.94	-3.50	-3.13	-2.82	-2.55	-2.33	-2.14	-1.98	-1.83	-1.70	-1.58	-1.48	-1.39	-1.29	-1.20	-1.12
G = 10,01 kg/m	5	18.7	15.4	12.8	10.8	9.19	7.88	6.81	5.92	5.18	4.56	4.04	3.59	3.20	2.87	2.59	2.34	2.12
	6	12.5	10.3	8.56	7.21	6.13	5.26	4.54	3.95	3.46	3.04	2.69	2.39	2.14	1.92	1.72	1.56	1.41

Obr. 11 – Ukázka z tabulky únosností Kovové profily

$$1,38 \text{ kN/m} < |-2,47| \text{ kN/m}$$

VYHOVUJE

$$0,82 \text{ kN/m} < |-1,19| \text{ kN/m}$$

VYHOVUJE

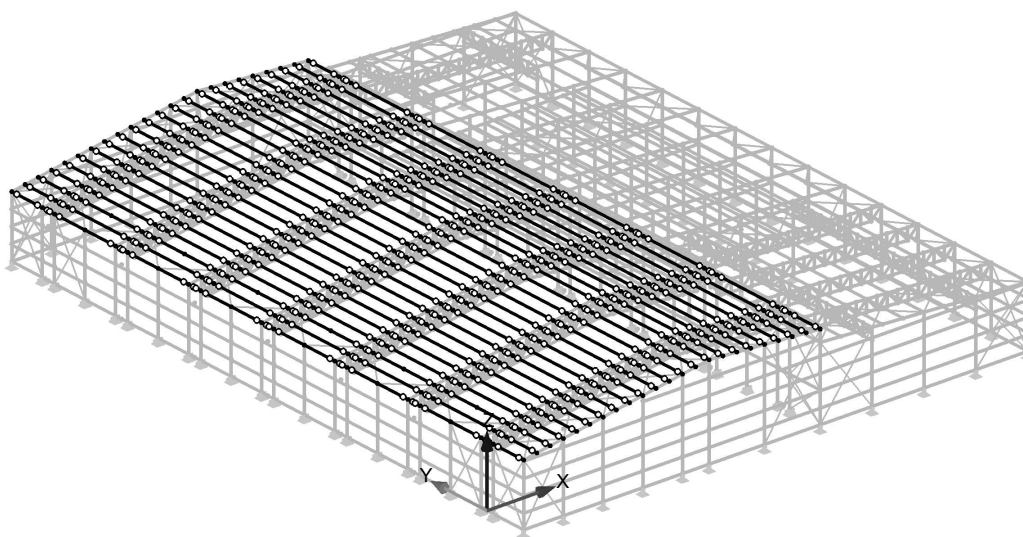
Paždík C 270/2,5 od výrobce Kovové profily VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 69 %.

11.4 Vaznice nad ledovou plochou

Vaznice nad ledovou plochou budou průřezu HEA 260 z oceli S355. Budou přenášet zatížení ze střešního pláště na prostorové příhradové nosníky. Vaznice budou spojité a rozpory jednotlivých polí budou 10 m a 2 m. Jednotlivé části vaznic budou spojeny v místech nulových momentů pomocí přípojných plechů a šroubů (spoj není v rámci diplomové práce navrhnout a posouzen).

Vaznice jsou posuzovány na kombinaci smyku, ohybu a vzpěrného tlaku. Proti klopení je vaznice zajištěna pomocí střešního pláště.

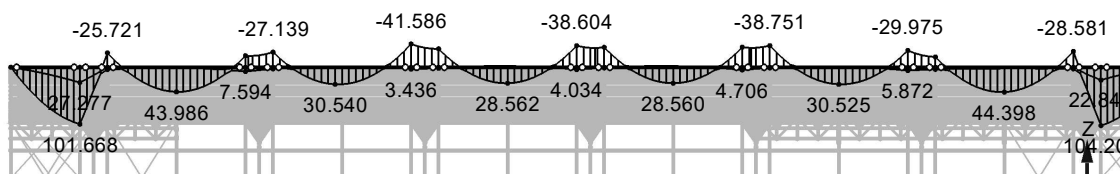
Vaznice je posouzena v pravém delším poli. Délka prutu je 10000 mm a vzpěrná délka prutu je 5000 mm k oběma osám.



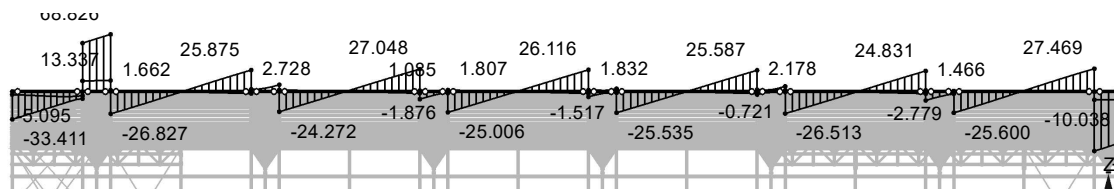
Obr. 12 - Navrhovaný prvek v axonometrii



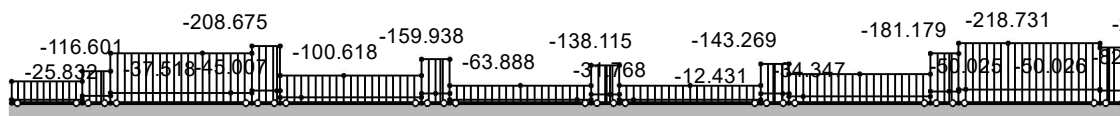
11.4.1 Vnitřní síly



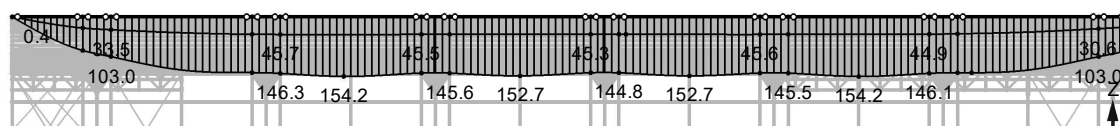
Obr. 13 - Ohybový moment – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 14 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 15 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 16 - Celková vswlá deformace – Obálka MSP – (mm)

Průřez je navrhován na maximální vnitřní síly obálky MSÚ:

$$M_y = 44,396 \text{ kNm}$$

$$N = -218,731 \text{ kN}$$

$$V_z = 71,54 \text{ kN}$$

11.4.2 Vstupní údaje HEA 260

Výška profilu	$h = 250 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 260 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 7,5 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 12,5 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblčení	$r = 24 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 8680 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	3 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	3 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} = 836400 \text{ mm}^3$
Délka prvku	$l = 10000 \text{ mm}$



11.4.3 Posouzení prvku

11.4.3.1 Smyk

$$V_{RD} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2875,8 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 589,4 \text{ kN}$$

$$A_V = 2875,8 \text{ mm}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{71,54}{589,4} = 0,13 < 1$$

$$71,54 \text{ kN} < 589,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,13 \text{ kN} < 1,0 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.4.3.2 Kombinace ohybu a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10000 * 0,5}{109,7} * \frac{1}{76,41} = 0,597$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,746 + \sqrt{0,746^2 - 0,597^2}} = 0,838$$

$$\Phi_y = 0,5 * \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 * \left[1 + 0,34(0,597 - 0,2) + 0,597^2 \right] = 0,746$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10000 * 0,5}{65} * \frac{1}{76,41} = 1,00$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$



Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,196 + \sqrt{1,196^2 - 1^2}} = 0,54$$

$$\Phi = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1 - 0,2) + 1^2] = 1,196$$

c) Interakční součinitele

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,918 \left(1 + 0,6 * 0,485 * \frac{219000}{0,890 * 355 * 8680} \right) = 0,950$$

$$k_{yy} = 0,918 \left(1 + 0,6 * \frac{219000}{0,890 * 355 * 8680} \right) = 0,984$$

$$k_{zy} = 0,8 * k_{yy} = 0,8 * 0,984 = 0,787$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 a_{hs} = 0,918$$

$$M_{h,y} = -28,581 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 44,398 \text{ kNm}$$

$$\psi = -\frac{-18,351}{-28,581} = 0,642$$

$$\alpha_{hs} = \frac{M_h}{M_s} = -\frac{28,581}{44,398} = -0,643$$

d) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = \frac{219000}{0,838 * 355 * 8680} + 0,950 * \frac{45000000}{1 * 836400 * 355}$$

$$= 0,23$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = \frac{219000}{0,54 * 355 * 8680} + 0,787 * \frac{45000000}{1 * 836400 * 355}$$

$$= 0,25$$

0,23 < 1,0
VYHOVUJE

0,25 < 1,0
VYHOVUJE



11.4.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 154,2 - \frac{146,3 + 145,6}{2} = 8,25 \text{ mm}$$

$$8,25 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

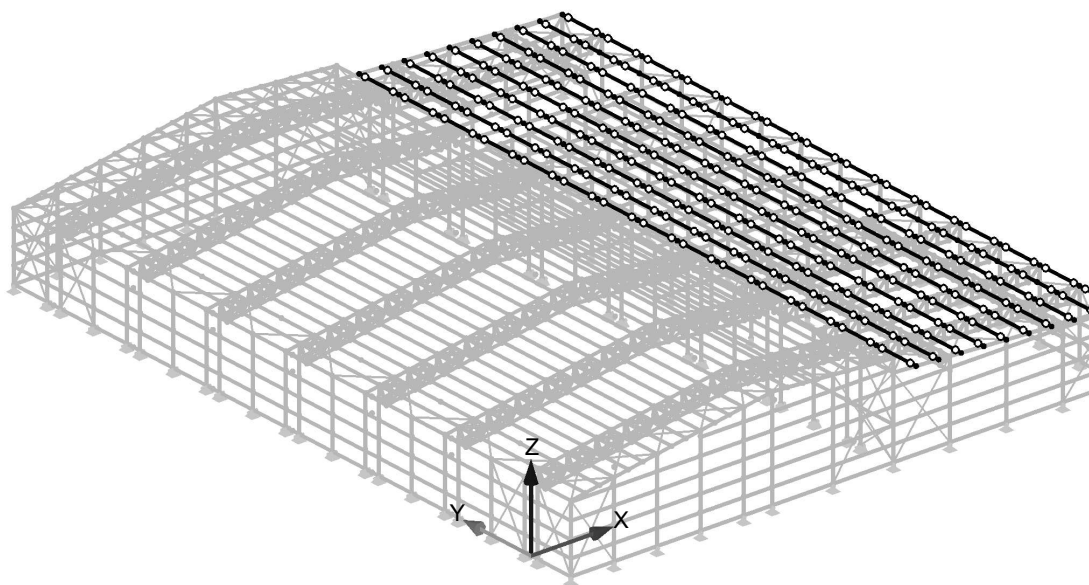
$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{8,25}{40} = 0,21 \leq 1$$

Vaznice průřezu HEA 260 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 24 %. (Využitelnost je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i_i} = \frac{10000}{65} = 153,84$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)

11.5 Vaznice nad zázemím

Vaznice nad zázemím budou průřezu IPE 240 z oceli S355. Vaznice budou přenášet zatížení ze střešního pláště na průvlaky a příhradové nosníky. Jednotlivé části vaznic budou spojeny v místech nulových momentů pomocí přípojných plechů a šroubů (tento spoj není v rámci diplomové práce navrhnout a posouzen).

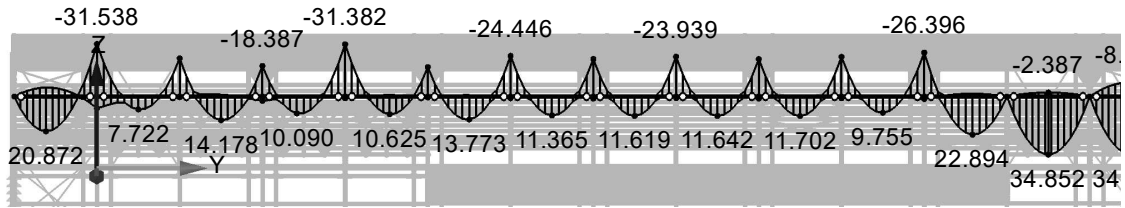
Vaznice jsou posouzeny na kombinaci ohybu a smyku. Proti klopení je vaznice v poli zajištěna střešním pláštěm a v místě podpory je malá délka klopení.



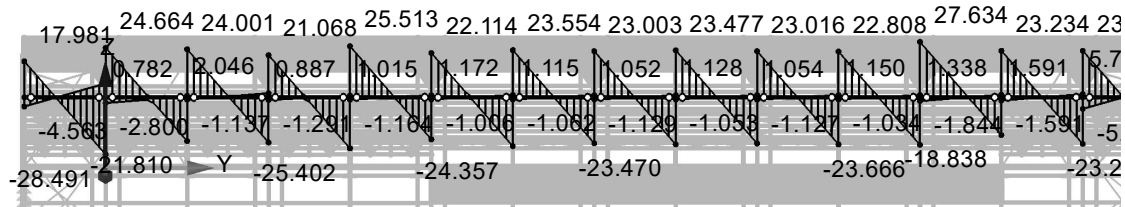
Obr. 17 - Navrhovaný prvek v axonometrii



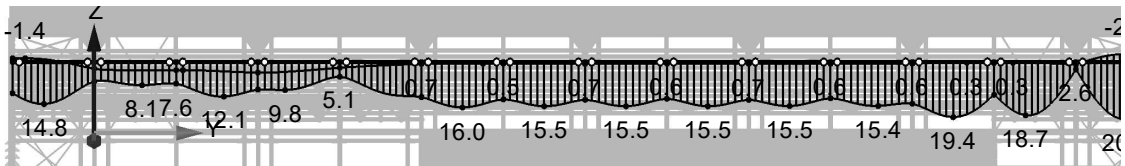
11.5.1 Vnitřní síly



Obr. 18 - Ohybový moment – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 19 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 20 - Celková svislá deformace – Obálka MSP – (mm)

Průřez je navrhován na maximální vnitřní síly obálky MSÚ:

$$M_y = 44,851 \text{ kNm}$$

$$V_z = 28,491 \text{ kN}$$

11.5.2 Vstupní údaje IPE 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 120 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 6,2 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 9,8 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 15 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 3912 \text{ mm}^2$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 366600 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 6000 \text{ mm}$



11.5.3 Posouzení průřezu

11.5.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{1914 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 392292 \text{ N} = 392,2 \text{ kN}$$

$$A_V = 1914 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{28,5}{392,2} = 0,08 < 1,0$$

$$28,5 \text{ kN} < 390,18 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50% návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

11.5.3.2 Ohyb

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{366600 * 355}{1} = 130143000 \text{ Nmm} = 130,1 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{35}{130,1} = 0,27 < 1,0$$

$$130,1 \text{ kNm} > 35 \text{ kNm}$$

$$0,27 \text{ kN} < 1,0 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$35 \text{ kNm} < 130,1 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

11.5.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{250} = 24,00 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 20,2 - \frac{0,8 + 13,9}{2} = 12,85 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{12,85}{24} = 0,54 < 1$$

$$12,85 \text{ mm} < 24 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

$$0,54 < 1,0 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

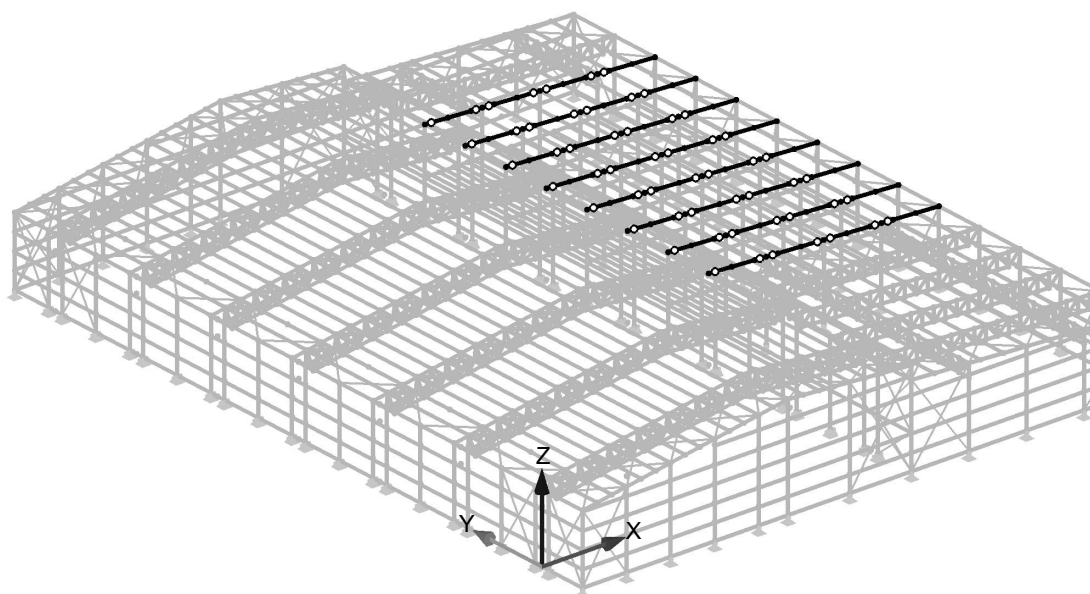
Vaznice nad zázemím VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 54 %.

11.6 Střešní průvlak

Střešní průvlak bude průřezu HEA 260 z oceli S 355. Střešní průvlak bude přenášet zatížení z vaznic do sloupů. Střešní průvlak budou kloubově spojeny se sloupem přes připojovací plech a šrouby.

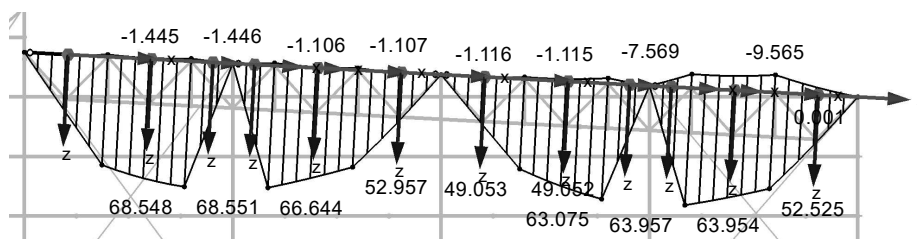


Průvlak je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku, délka střešního průvlaku je 7000 mm. Proti klopení je průvlak zajištěn pomocí vaznic (délka klopení průvlaku je snížena na 2800 mm).

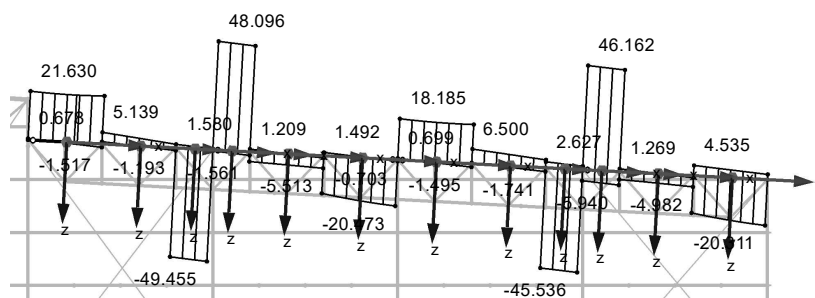


Obr. 21 - Navrhovaný prvek v axonometrii

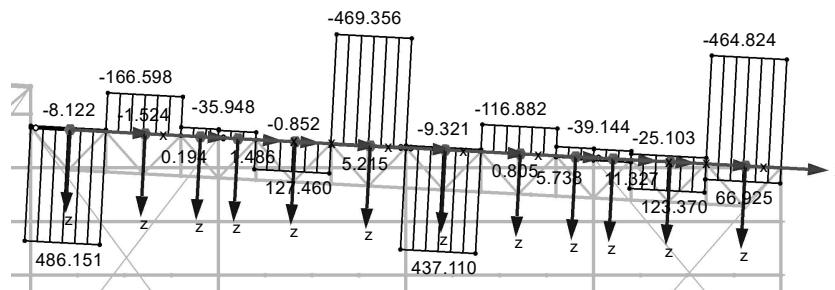
11.6.1 Vnitřní síly



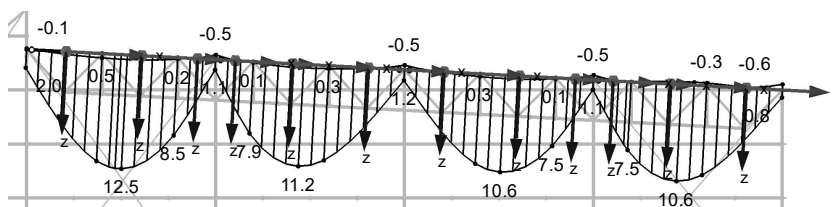
Obr. 22 - Ohybový moment – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 23 - Posouvající síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 24 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 25 - Celková svislá deformace – Obálka MSP – (mm)

Průřez je navrhován na maximální vnitřní síly obálky MSÚ. U ohybového momentu je bráno maximum z pravého pole:

$$M_y = 63,954 \text{ kNm}$$

$$N = -464,824 \text{ kN}$$

$$V_z = 49,455 \text{ kN}$$

11.6.2 Vstupní údaje HEA 260

Výška profilu	$h = 250 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 260 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 7,5 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 12,5 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 24 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 8682 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	3 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	3 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Elastický průřezový modul	$W_{el,y} = 836400 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 7010 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 104500000 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 36680000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 109,7 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 65 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 51640000000 \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 523700 \text{ mm}^4$



11.6.3 Posouzení průřezu

11.6.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2875,8 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 589,4 \text{ kN}$$

$$A_V = 2875,8 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{49,5}{589,4} = 0,09 < 1,0$$

49,5 kN < 589,4 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.6.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr_y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{7010 * 1}{109,7} * \frac{1}{76,4} = 0,836$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,4$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^{-2}}} = \frac{1}{0,956 + \sqrt{0,956^2 - 0,836^2}} = 0,704$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,836 - 0,2) + 0,836^2] = 0,956$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr_z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{7010 * 1}{65} * \frac{1}{76,4} = 1,41$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,4$$



Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,79 + \sqrt{1,79^2 - 1,41^2}} = 0,346$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1,41 - 0,2) + 1,41^2] = 1,79$$

c) Součinitel klopení

Relativní bezrozměrný kritický moment:

$$C_{1,0} = 1,13; C_{1,1} = 1,13; C_2 = 0,46; C_3 = 0,53$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \leq C_{1,1} \Rightarrow 1,13 + (1,13 - 1,13)0,716 = 1,13 \leq 1,13 \Rightarrow C_1 = 1,13$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} * \sqrt{\frac{EI_\omega}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 * 2800} * \sqrt{\frac{210000 * 5164 * 10^8}{81000 * 523700}} = 1,794$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right]$$

$$= \frac{1,13}{1} \left[\sqrt{1 + 1,794^2 + (0,46 * 1,89)^2} - (0,46 * 1,89) \right] = 1,538$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi * 125}{1 * 2800} \sqrt{\frac{210000 * 36680000}{81000 * 523700}} = 1,89$$

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,538 * \frac{\pi \sqrt{210000 * 36680000 * 81000 * 523700}}{2800} = 986,4 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{836400 * 355}{986,4 * 10^6}} = 0,549$$

Součinitel klopení:

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,549 - 0,2) + 0,549^2] = 0,71$$

$$\alpha_{lt} = 0,34 \text{ (křívka b)}$$

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{y,lt}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,549^2}} = 0,862$$

d) Interakční součinitele

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right)$$



$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + 0,6 * 0,68 * \frac{465000}{\frac{0,704 * 355 * 8680}{1}} \right) = 1,014$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + 0,6 * \frac{465000}{\frac{0,704 * 355 * 8680}{1}} \right) = 1,059$$

$$k_{zy} = 0,8 * k_{yy} = 0,8 * 1,014 = 0,811$$

$$c_{my} = c_{m,LT} = 0,95 + 0,05a_{hs} = 0,95$$

$$M_{h,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 64 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{0}{0^{+/-}} \cong 0$$

$$\alpha_{hs} = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{64} = 0$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{465 * 10^3}{\frac{0,704 * 355 * 8680}{1}} + 1,104 * \frac{64 * 10^6}{\frac{0,862 * 836400 * 355}{1}} = 0,50$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{465 * 10^3}{\frac{0,346 * 355 * 8680}{1}} + 0,811 * \frac{64 * 10^6}{\frac{0,862 * 836400 * 355}{1}} = 0,64$$

0,50 < 1,0
VYHOVUJE

0,64 < 1,0
VYHOVUJE

11.6.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{7010}{250} = 28,04 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 12,5 - \frac{2 + 1,1}{2} = 10,95 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{10,95}{28,04} = 0,39 \leq 1$$

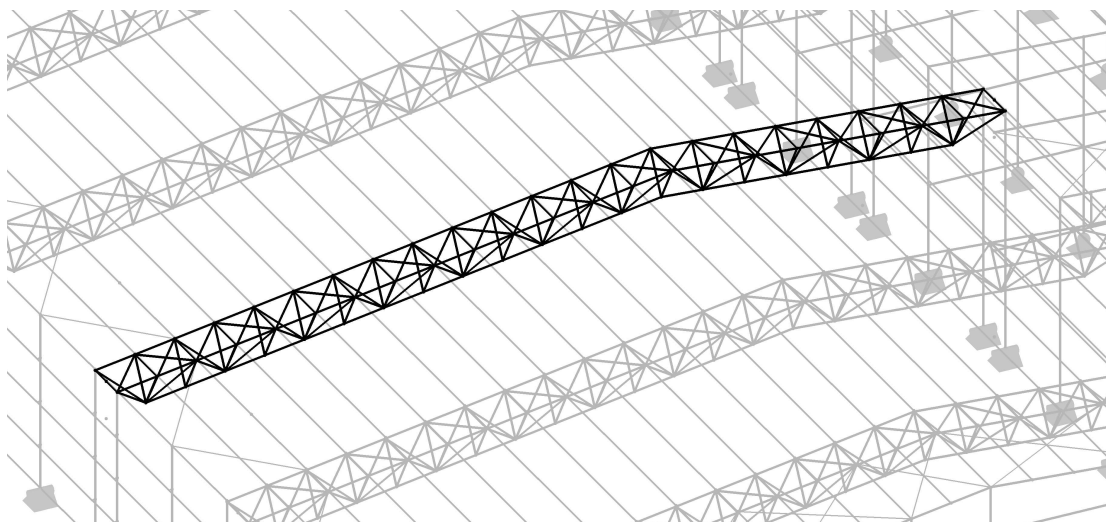
10,95 mm < 28,04 mm
VYHOVUJE

Vaznice průřezu HEA 260 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 64 %. (Průřez již nesnižují z důvodu první vlastní frekvence konstrukce. Jestliže snížím průřez o dvě třídy, tak výrazně klesne první vlastní frekvence.)

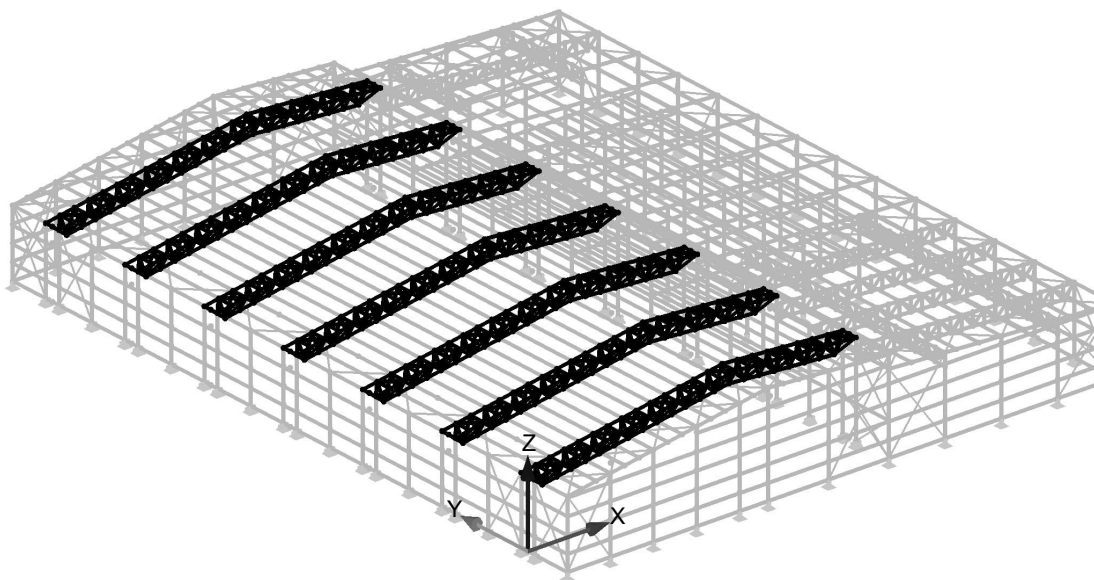


11.7 Prostorový příhradový nosník

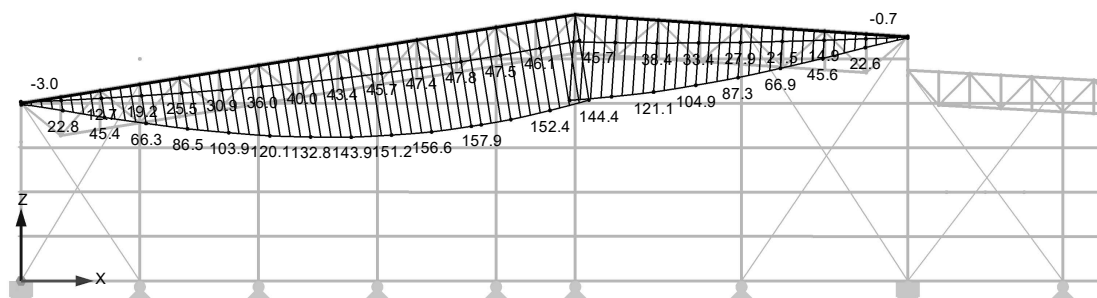
Prostorový příhradový nosník je hlavním prvkem zastřešení ledové plochy. Jeho celkový rozpon je 40 m, skládá se ze dvou horních pásů průřezu TR 244,5x25, jednoho spodního pásu průřezu TR 244,5x25 a diagonál průřezu TR 168,3x12,5. U nosníku rozhodoval zejména jeho celkový průhyb. U prostorového příhradového nosníku byly vybrány pro výpočet tyto spoje: montážní spoj horního pásu, montážní spoj spodního pásu a připojení diagonál k hornímu pásu. Tyto detaily jsou k nalezení v příloze [A], detaily 4, 5, 10.



Obr. 26 – Pohled na prostorový příhradový nosník



Obr. 27 - Pohled na prostorový příhradový nosník



Obr. 28 - Celkový průhyb prostorového příhradového nosníku – Obálka MSP – (mm)

11.7.1 Průhyb

Celkový průhyb prostorového příhradového nosníku na 40 m.

Celkové rozpětí nosníku $L = 40000 \text{ mm}$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 157,9 \text{ mm}$$

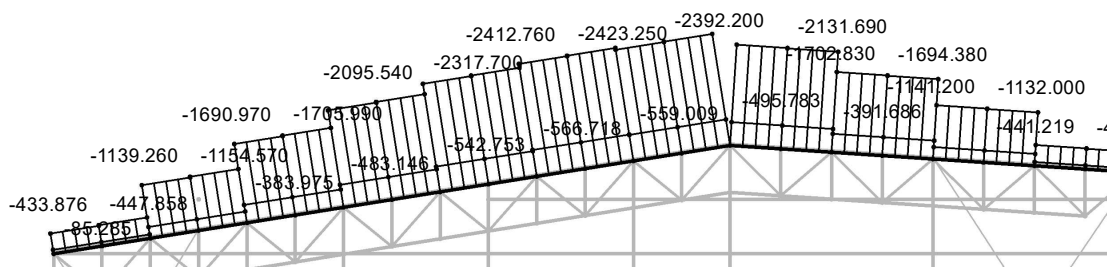
$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{157,9}{160} = 0,99 < 1$$

$157,9 \text{ mm} < 160 \text{ mm}$
VYHOVUJE

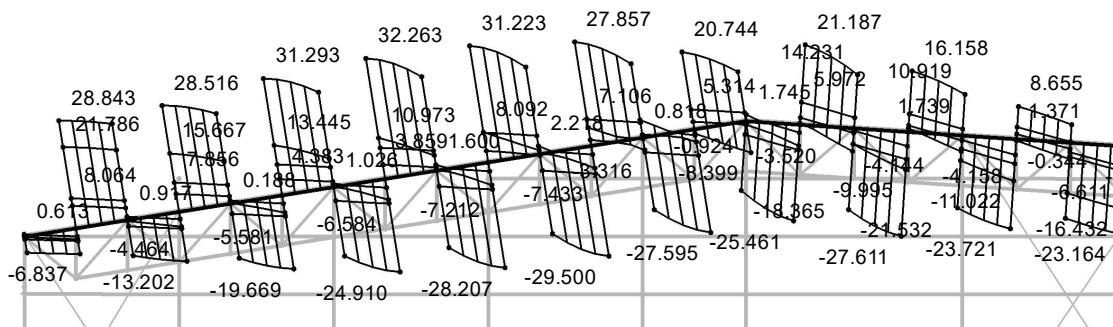
11.7.2 Horní pás

Horní pás je kruhového průřezu TR 244,5x25 z oceli S 355. Horní pás je posouzen na kombinaci osově síly (tlaku) a ohybu. Celková vzpěrná délka prvku je 1800 mm (prostorový příhradový nosník je prostorově tuhý a jeho vzpěrné délky jsou omezeny jen mezi styčníky).

11.7.2.1 Vnitřní síly



Obr. 29 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)





11.7.2.2 Vstupní údaje TR 244,5/25

Vnější průměr	$d = 244,5 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 25 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 17200 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 10949,9 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 105200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 78,1 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1210000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Délka prvku	$L = 1800 \text{ mm}$

11.7.2.3 Posouzení průřezu

11.7.2.3.1 Smyk

Konzervativně je sečten smyk v ose Y a smyk v ose Z $27,24 + 21,3 = 48,57$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{10949,9 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 2244284 \text{ N} = 2244,2$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{48,57}{2244,2} = 0,03 < 1,0$$

$$48,57 \text{ kN} < 2244,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.7.2.3.2 Kombinace ohybu a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1800 * 1}{78,1} * \frac{1}{76,409} = 0,302$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,409$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,557 + \sqrt{0,557^2 - 0,302^2}} = 0,997$$

$$\Phi_y = 0,5 * \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 * \left[1 + 0,21(0,302 - 0,2) + 0,302^2 \right] = 0,557$$



b) Vybočení kolmo k ose z-z:

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1800 * 1}{78,1} * \frac{1}{76,409} = 0,302$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,409$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,557 + \sqrt{0,557^2 - 0,302^2}} = 0,997$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,21(0,302 - 0,2) + 0,302^2] = 1,391$$

c) Interakční součinitele

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,618 \left(1 + (0,302 - 0,2) * \frac{2413260}{\frac{0,997 * 355 * 17200}{1}} \right) = 0,643$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + 0,6 * \frac{465000}{\frac{0,890 * 235 * 8680}{1}} \right) = 0,765$$

$$k_{zy} = 0,6k_{yy} = 0,6 * 0,643 = 0,386$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \left(1 + (2 * 0,302 - 0,2) \frac{2413260}{\frac{0,997 * 355 * 17200}{1}} \right) = 0,464$$

$$k_{zz} = 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{2413260}{\frac{0,997 * 355 * 17200}{1}} \right) = 0,526$$

$$k_{yz} = 0,6k_{zz} = 0,6 * 0,464 = 0,279$$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 * 0,045 = 0,618$$

$$M_{h,y} = 49,949 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 2,247 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{2,247}{49,949} = 0,045$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 * (-0,987) \Rightarrow c_{mz} = 0,4$$



$$M_{h,y} = -25,854 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 25,517 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{25,517}{-25,854} = -0,987$$

d) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku:

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

$$= \frac{2413260}{0,997 * 355 * 17200} + 0,643 * \frac{49949000}{1 * 1210000 * 355} + 0,279$$

$$* \frac{25854000}{1 * 1210000 * 355} = 0,49$$

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

$$= \frac{2413260}{0,997 * 355 * 17200} + 0,386 * \frac{49949000}{1 * 1210000 * 355} + 0,526$$

$$* \frac{25854000}{1 * 1210000 * 355} = 0,48$$

0,49 < 1,0
VYHOVUJE

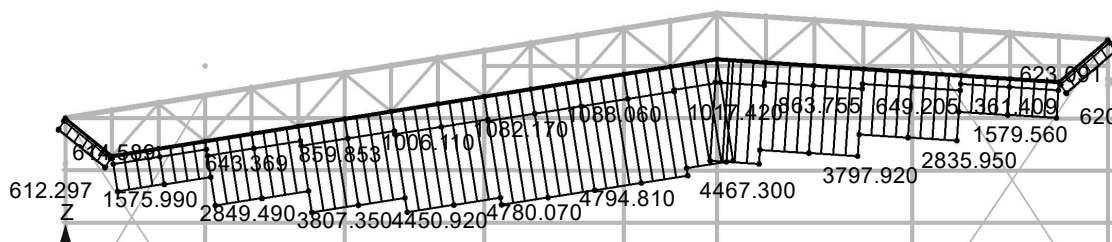
0,48 < 1,0
VYHOVUJE

Horní pás průřezu TR 244,5/25 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 49 %. Celková využitelnost prostorového příhradového nosníku je 99 %.

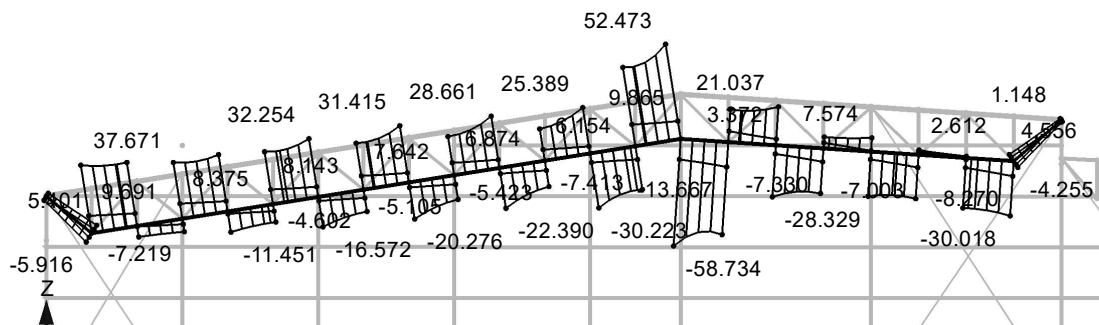
11.7.3 Spodní pás

Spodní pás je kruhového průřezu TR 244,5x25 z oceli S 355. Spodní pás je posouzen na kombinaci osově síly (tahu) a ohybu.

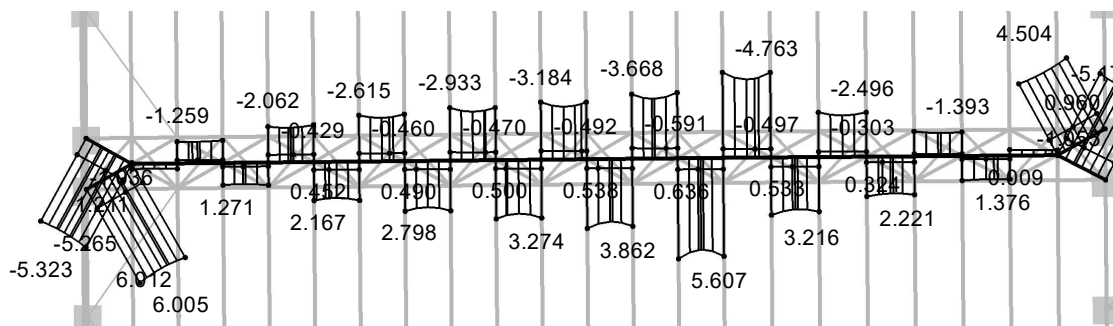
11.7.3.1 Vnitřní síly



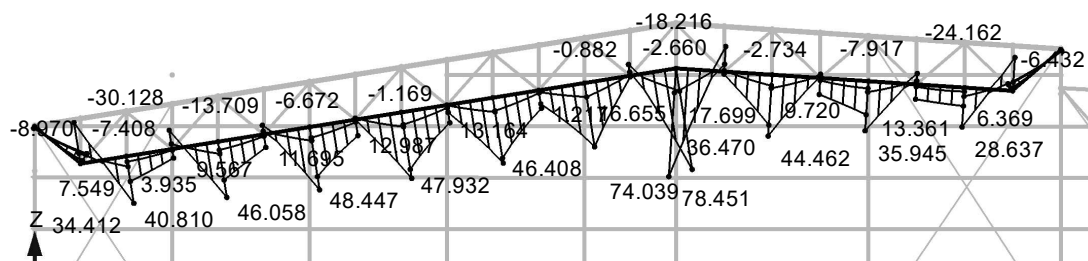
Obr. 34 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



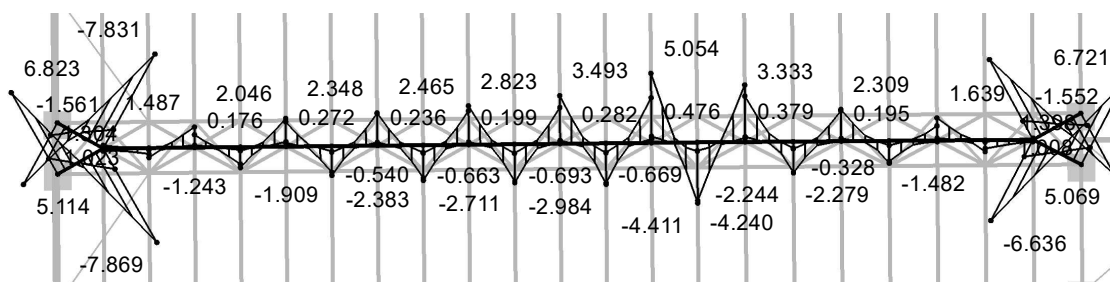
Obr. 35 - Posouvací síla ve směru VZ – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 36 - Posouvací síla ve směru VY – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 37 - Ohybový moment ve směru MY – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 38 - Ohybový moment ve směru MZ – Obálka MSÚ – (kNm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (zjištěno pomocí napětí a přídavného modulu RF-STEEL EC3):

$$N_{Ed} = 4794,31 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 3,767 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -30,223 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 46,772 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -2,984 \text{ kNm}$$



11.7.3.2 Vstupní údaje TR 244,5/25

Vnější průměr	$d = 244,5 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 25 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 17200 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 10949,9 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 105200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 78,1 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 1210000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Délka prvku	$L = 1800 \text{ mm}$

11.7.3.3 Posouzení

11.7.3.3.1 Smyk

Konzervativně je sečten smyk v ose Y a smyk v ose Z $\sqrt{3,8^2 + 30,3^2} = 30,54 \text{ kN}$.

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{10949,9 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 2244284 \text{ N} = 2244,2$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{30,54}{2244,2} = 0,02 < 1,0$$

$$30,54 \text{ kN} < 2244,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

11.7.3.3.2 Kombinace ohybu a osově síly

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{46,772 * 10^6}{144,91 * 10^6} \right]^2 + \left[\frac{2,984 * 10^6}{144,91 * 10^6} \right]^2 = 0,11$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} * (1 - n^{1,7}) = (1210000 * 355) * (1 - 0,785^{1,7}) = 144,91 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{4794,31 * 10^3}{17200 * 355} = 0,785$$

Konzervativní sečtení

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1$$

$$\left[\frac{46,772 * 10^6}{144,91 * 10^6} \right]^2 + \left[\frac{2,984 * 10^6}{144,91 * 10^6} \right]^2 + \frac{4794,31 * 10^3}{17200 * 355} = 0,89$$



Celkový pružný posudek

Norma [6] nemá úplně dobře zvládnutý posudek kombinace tahu a ohybu u kruhového dutého průřezu (je vidět, že poměr únosnosti v tlaku a návrhové tlakové síly je mnohem nepříznivější než celkový posudek). Z toho důvodu posuzuji průřez konzervativně na celkové normálové napětí.

$$\sigma_x = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \frac{4794310}{17200} + \frac{(46772000^2 + 2984000^2)^{\frac{1}{2}}}{860000} = 333 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$
$$\frac{333}{355} = 0,93 < 1,00$$

0,93 < 1
VYHOVUJE

333 MPa < 355 MPa
VYHOVUJE

Spodní pás průřezu TR 244,5/25 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 93 %. Celková využitelnost prostorového příhradového nosníku je 99 %.

11.7.4 Diagonály

Diagonály jsou kruhového průřezu TR 168,3x12,5 z oceli S 355. Diagonály jsou posouzeny pouze na maximální tlakovou sílu, jedna diagonála má délku 2500 mm.

11.7.4.1 Vnitřní síly

Report z programu Rfem je velice nepřehledný, proto zde není ukázán.

Průřez má největší využití při kombinaci vnitřních sil (zjištěno pomocí napětí a přídavného modulu RF-STEEL EC3):

$$\begin{aligned} N &= -771,524 \text{ kN} \\ V_y &= 0,847 \text{ kN} \\ V_z &= 1,014 \text{ kN} \\ M_y &= -0,464 \text{ kNm} \\ M_z &= 1,559 \text{ kN} \end{aligned}$$

U vnitřních sil dominuje tlak, všechny ostatní vnitřní síly jsou zanedbatelné. Proto bude počítáno jen s tlakem a průřez bude posouzen na vzpěrný tlak.

11.7.4.2 Vstupní údaje TR 168,3/12,5

Vnější průměr	$d = 168,3 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 12,5 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 6120 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 3896,1 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 18680000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 55,3 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 304000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Délka prvku	$L = 2500 \text{ mm}$



11.7.4.3 Posouzení – vzpěr

a) Vybočení kolmo k ose z-z/y-y

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2870 * 1}{55,3} * \frac{1}{76,409} = 0,679$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,409$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \chi_y = \frac{1}{\Phi_{z/y} + \sqrt{\Phi_{z/y}^2 - \bar{\lambda}_{z/y}^2}} = \frac{1}{0,781 + \sqrt{0,781^2 - 0,679^2}} = 0,857$$

$$\Phi_z = \Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{z,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,y}^2] = 0,5 * [1 + 0,21(0,679 - 0,2) + 0,679^2] = 0,781$$

b) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$546,5 \text{ kN} < 0,857 * 355 * 6120 = 1862 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} = \frac{771524}{0,857 * 355 * 6120} = 0,42$$

$$771,6 \text{ kN} < 1862 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,42 < 1,0$$

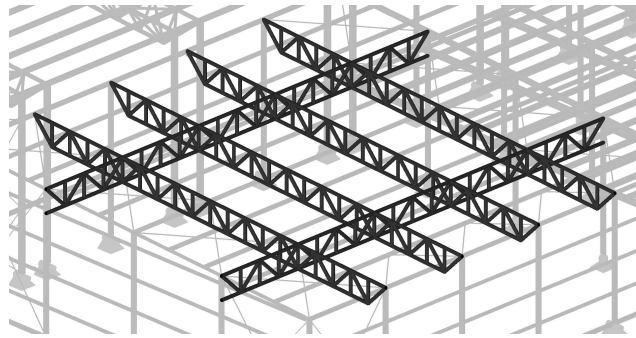
VYHOVUJE

Diagonála průřezu TR 168,3/12,5 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 42 %. Celková využitelnost prostorového příhradového nosníku je 99 %.

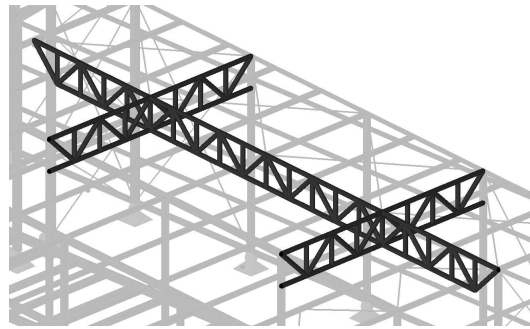
11.8 Rovinný příhradový nosník

Rovinný příhradový nosník se skládá z horního pásu s průřezem TR 168,3x12,5, spodního pásu s průřezem TR 168,3x8,0 a diagonál s průřezem 88,9x6,3. Rovinný příhradový nosník přenáší zatížení od střešního pláště u přední a zadní části zázemí do sloupů. U příhradového prostorového nosníku byly vybrány pro výpočet tyto spoje: montážní spoj horního pásu, montážní spoj spodního pásu a připojení diagonál k hornímu pásu. Tyto detaily jsou k nalezení v příloze [A], detaily 7, 8, 11.

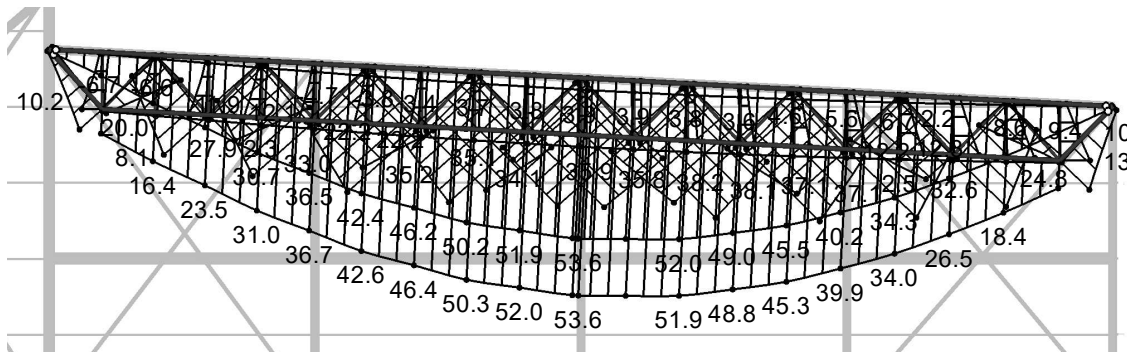
Mezi jednotlivými rovinnými příhradovými vazníky jsou příhradová ztužidla, která budou mít stejné dimenze jako rovinné příhradové nosníky.



Obr 39 - Prostorový pohled na rovinný příhradový nosník – model Rfem



Obr 40 - Prostorový pohled na rovinný příhradový nosník – model Rfem



Obr. 41 - Celkový průhyb rovinného příhradového nosníku – Obálka MSP – (mm)

11.8.1 Průhyb

Celkové rozpětí nosníku $L = 28000 \text{ mm}$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{28000}{250} = 125 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 66,9 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{53,6}{125} = 0,43 < 1$$

$0,43 < 1,0$
VYHOVUJE

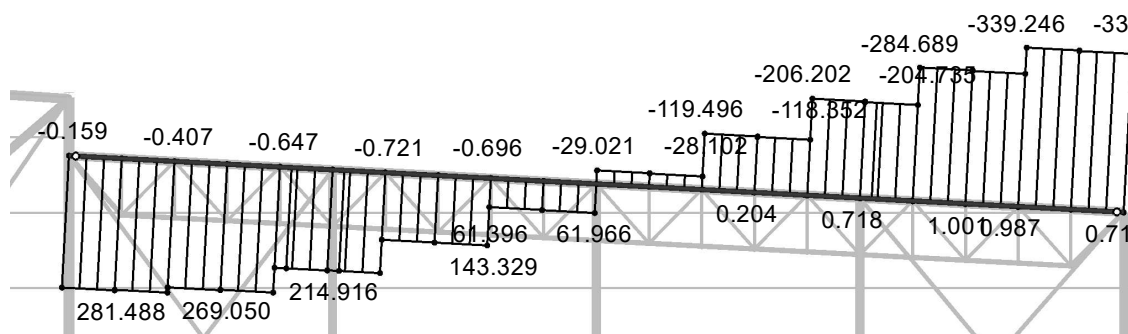
$53,6 \text{ mm} < 160 \text{ mm}$
VYHOVUJE



11.8.2 Horní pás

Horní pás je kruhového průřezu TR 139x12,5 z oceli S 355. Horní pás je posouzena na osovou sílu (tlak), vzpěrná délka horního pásu je 7000 mm (počítám s vybočením celého nosníku mezi ztužidly). U horního pásu díky globálnímu působení ostatních prvků dochází k ne zcela obvyklým vnitřním silám (levá část horního pásu je tažená, pravá část horního pásu je tlačena). Toto je způsobeno díky rozdílným posunům levé a pravé části, tuhosti příhradových ztužidel a vaznicím mezi vazníky.

11.8.2.1 Vnitřní síly



Obr. 42 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

Všechny ostatní vnitřní síly kromě normálové síly jsou zanedbatelné. Průřez má největší využití při kombinaci vnitřních sil:

$$N = -337,949 \text{ kN}$$

11.8.2.2 Vstupní údaje TR 139,7/12,5

Vnější průměr	$d = 139,7 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 12,5 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 5000 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 3180 \text{ mm}^2$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 45,2 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 139000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)

11.8.2.3 Posouzení průřezu

a) Vybočení kolmo k ose z-z

Vybočení kolmo k ose y nebude rozhodující z důvodu výrazně nižší vzpěrné délky, proto není ani počítáno.

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{7000 * 1}{45,2} * \frac{1}{76,409} = 1,998$$



$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,409$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} = \frac{1}{2,684 + \sqrt{2,684^2 - 1,998^2}} = 0,223$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,21(1,998 - 0,2) + 1,998^2] = 2,684$$

b) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$211,8 \text{ kN} < 0,223 * 355 * 5000 = 395,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} = \frac{338 * 10^3}{0,223 * 355 * 5000} = 0,86$$

γ_{M1}

1

$$338 \text{ kN} < 395,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,86 < 1,0$$

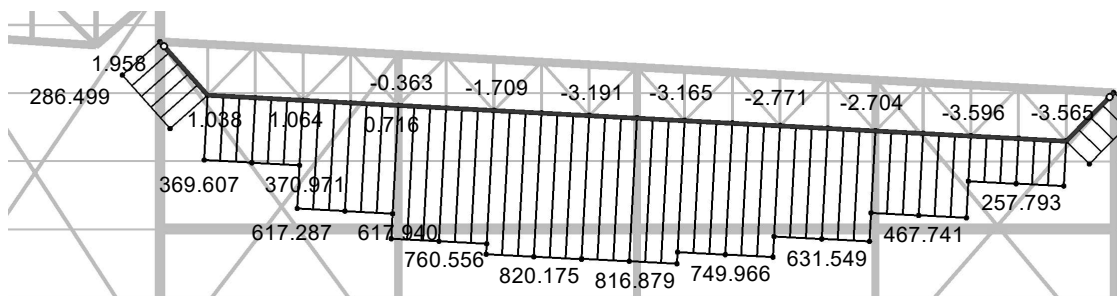
VYHOVUJE

Horní pás průřezu TR 139,7/8 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 86 %.

11.8.3 Spodní pás

Spodní pás je kruhového průřezu TR 139,7x8 z oceli S 355. Spodní pás je posouzen pouze na osovou sílu (tah), protože ostatní vnitřní síly jsou zanedbatelné.

11.8.3.1 Vnitřní síly



Obr. 43 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

Všechny ostatní vnitřní síly kromě normálové síly jsou zanedbatelné. Průřez má největší využití při kombinaci vnitřních sil:

$$N = 820,175 \text{ kN}$$



11.8.3.2 Vstupní údaje TR 139,7/8

Vnější průměr	$d = 139,7 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 8 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 3310 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 7200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 46,6 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 139000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb – dle Rfem)

11.8.3.3 Posouzení

Osová síla

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$N_{Ed} = 820,2 * 10^3 \text{ N} < A * f_y = 3310 * 355 = 1175050 \text{ N}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{820,2}{1175} = 0,7$$

$$820,2 \text{ kN} < 1175 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,70 < 1,0$$

VYHOVUJE

Spodní pás průřezu TR 114,3/8 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 70 %.

11.8.4 Diagonály

Diagonály jsou kruhového průřezu TR 88,9/6,3 z oceli S 355. Diagonály jsou posouzeny na vzpěrný tlak, délka diagonál je 1400 mm.

11.8.4.1 Vnitřní síly

Report z programu Rfem je velice nepřehledný, proto zde není ukázán.

Všechny ostatní vnitřní síly kromě normálové síly jsou zanedbatelné. Průřez má největší využití při kombinaci vnitřních sil:

$$N = -250,896 \text{ kN}$$

$$N = 195,752 \text{ kN}$$

U vnitřních sil dominuje tlak a všechny ostatní vnitřní síly jsou zanedbatelné, proto bude počítáno jen s tlakem a průřez bude posouzen na vzpěrný tlak.

11.8.4.2 Vstupní údaje TR 88,9/6,3

Vnější průměr	$d = 88,9 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 6,3 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 1630 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 1037,7 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 1400000 \text{ mm}^4$



Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 29,3 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 43100 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Délka prvku	$L = 1400 \text{ mm}$

11.8.4.3 Posouzení – vzpěrný tlak

a) Vybočení kolmo k ose z-z/y-y

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2000 * 1}{29,3} * \frac{1}{76,409} = 0,893$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,409$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \chi_y = \frac{1}{\Phi_{z/y} + \sqrt{\Phi_{z/y}^2 - \bar{\lambda}_{z/y}^2}} = \frac{1}{0,971 + \sqrt{0,971^2 - 0,893^2}} = 0,739$$

$$\Phi_z = \Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{z,y} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,y}^2] = 0,5 * [1 + 0,21(0,893 - 0,2) + 0,893^2] \\ = 0,971$$

b) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$250,9 \text{ kN} < 0,739 * 355 * 1630 = 427,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} = \frac{250,9 * 10^3}{0,739 * 355 * 1630} = 0,59$$
$$\frac{1}{\gamma_{M1}}$$

$$250,9 \text{ kN} < 427,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,59 < 1,0$$

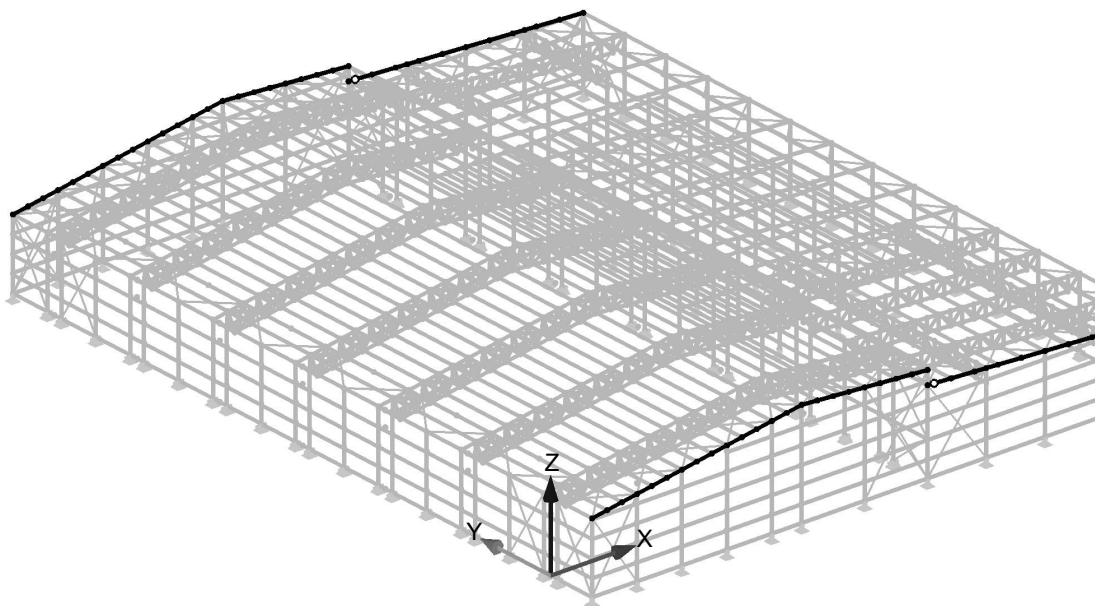
VYHOVUJE

Diagonála průřezu TR 88,9/6,3 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 59 %.



11.9 Průčelní průvlak

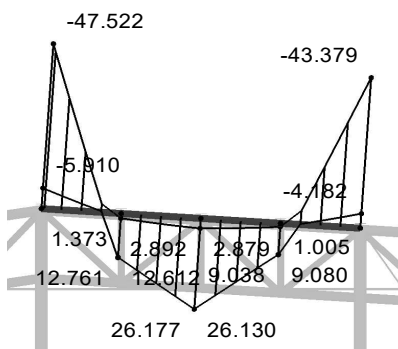
Průčelní průvlak je průřezu IPE 180 z oceli S355. Průčelní průvlak je stejný jak u průčelí ledové plochy, tak i u průčelí zázemí. Průčelní průvlak je posouzen na kombinaci smyku, ohybu a osové síly (tah).



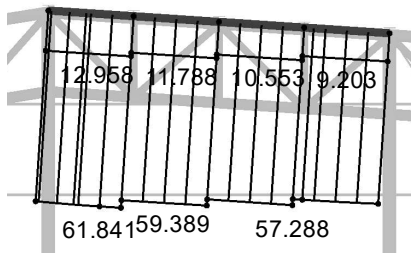
Obr. 44 - Navrhovaný prvek v axonometrii

11.9.1 Vnitřní síly

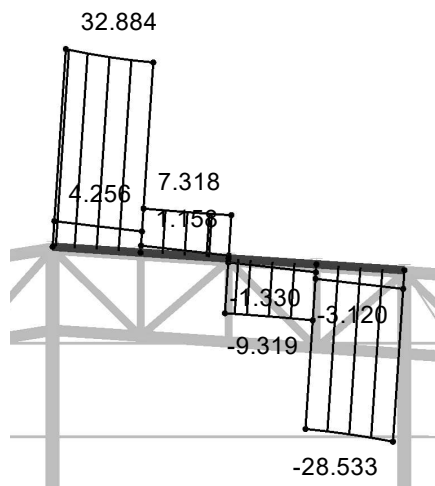
V programu Rfem bylo zjištěno místo s největší využitelností vpravo od vrcholu zastřešení ledové plochy. Průřez je tedy posouzen právě v tomto místě.



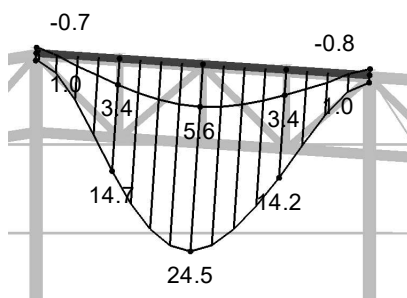
Obr. 45 - Ohybový moment – KZ35 – (kNm)



Obr. 46 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 47 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 48 - Svislá deformace – Obálka MSP – (mm)

Průřez je navrhován na maximální vnitřní síly obálky MSÚ:

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= 61,841 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= 32,884 \text{ kN} \\M_{y,Ed} &= 47,522 \text{ kNm}\end{aligned}$$

11.9.2 Vstupní údaje IPE 180

Výška	$h = 180 \text{ mm}$
Šířka	$b = 91 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 5,3 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 8 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 2395 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_v = 1152 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,317 * 10^7 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 100900 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 74,2 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 20,5 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 166400 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 34600 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)



11.9.3 Posouzení

11.9.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{1152 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 236,1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{32,9}{231,1} = 0,15 < 1,0$$

32,9 kN < 231,1 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

11.9.3.2 Kombinace ohybu a osově síly

$$N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd} \Rightarrow 61900 \text{ N} < 0,25 * 355 * 2395 = 212556 \text{ N}$$

61,9 kN < 212,5 kN
VYHOVUJE

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 61900 \text{ N} < \frac{0,5 * 164 * 5,3 * 355}{1} = 154283 \text{ N}$$

61,9 kN < 154,2 kN
VYHOVUJE

Z důvodu splnění těchto podmínek není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti při ohybu okolo osy y-y a okolo osy z-z.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166400 * 355}{1} = 59,07 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{47,6}{59,07} = 0,81 \leq 1,0$$

0,81 < 1,0
VYHOVUJE

47,6 kNm < 59,07 kNm
VYHOVUJE

11.9.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{7520}{250} = 30,08 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 24,5 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{24,5}{30,08} = 0,82 \leq 1$$

0,82 < 1,0
VYHOVUJE

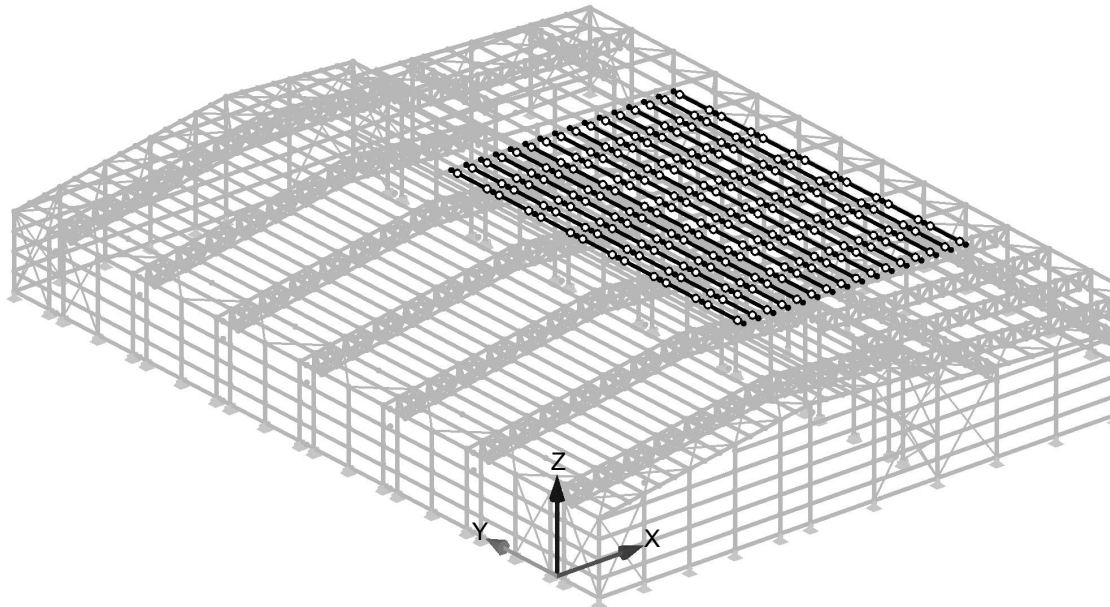
24,5 mm < 30,08 mm
VYHOVUJE

Průčelní průvlak průřezu IPE 180 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 82 %.



11.10 Stropnice spřaženého ocelobetonového stropu zázemí

Strop zázemí bude ze spřažené ocelobetonové desky, stropnice budou průřezu IPE 180 z oceli S355, na stropnicích bude profilovaný plech TR50/250 tl. 1,25 mm. Ocelová konstrukce bude spřažena pomocí spřahovacích trnů 19/100 z oceli S235 s betonovou deskou tl. 87 mm z betonu C30,37. Stropní deska bude při montážním stádiu podepřena a podepření bude odstraněno až po 28 dnech. V důsledku toho se na přenosu zatížení podílí až spřažený ocelobetonový průřez a zatížení je tedy uvažováno pouze z provozního stádia (montážní stádium nenastane).



Obr. 49 - Navrhovaný prvek v axonometrii

11.10.1 Zatížení

Stropní konstrukce provoz	Tl. [mm]	Objem. hmot.	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
				komb. 6.10 a	6.10 b
Trapézový plech	-	-	0,13	0,17	0,14
Betonová deska	87	25	0,02	0,03	0,02
Skladba podlahy	-	-	2,00	2,70	2,30
IPE průřez (započten v programu)	-	-	-	-	-
Podhled (bude připevněn v IPE profilu)	-	-	1,00	1,35	1,15
zatížení stálé na 1 m²			3,15	4,25	3,61

STROPNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
		komb. 6.10 a	6.10 b
kategorie C5	5,00	5,25	7,5

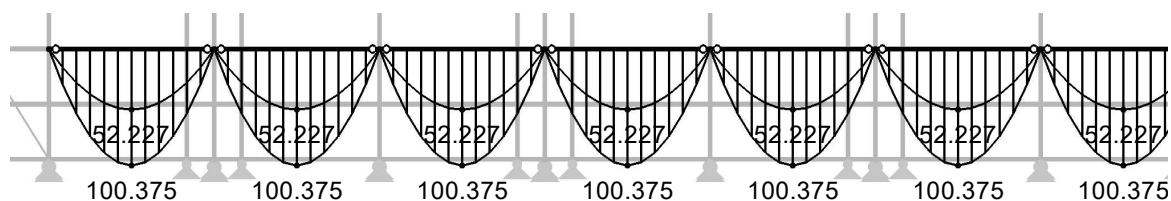
STROPNÍ KONSTRUKCE	Char. h. [kN.m ⁻²]	Návrhová hodnota [kN.m ⁻²]	
		komb. 6.10 a	6.10 b
Příčky	1,00	1,05	1,5

Srovnávací tl. betonové desky

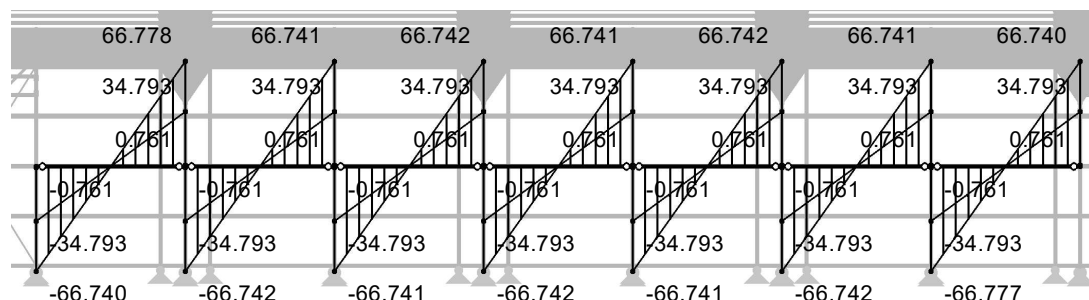
$$h_{st} = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250,0} = 87,0 \text{ mm}$$



11.10.2 Vnitřní síly



Obr. 50 - Ohybový moment – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 51 Posouvací síla Vz– Obálka MSÚ – (kN)

11.10.3 Návrh plechu

Ocelové profily jsou osově po 1750 mm, plech přes ně bude uložen spojitě minimálně přes 4 pole. Navrhují plech TR 50/250 tl. 1,25 mm.

t_N [mm]	g [kg/m ²]	Rozpětí [m]												pro spojitý nosník o třech polích lze únosnost zvýšit o 7%									
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
0,63	6,30	q_{d1}	10,24	7,34	5,54	4,34	3,49	2,88	2,41	2,05	1,76	1,54	1,35	1,19	1,06	0,96	0,86	0,77	0,69	0,63	0,57	0,53	0,48
		q_{d2}	7,40	5,92	4,87	3,85	3,13	2,60	2,19	1,87	1,62	1,42	1,25	1,11	0,99	0,89	0,81	0,74	0,67	0,62	0,57	0,52	0,48
		q_k	25,60	13,11	7,59	4,78	3,20	2,25	1,64	1,23	0,95	0,75	0,60	0,49	0,40	0,33	0,28	0,24	0,20	0,18	0,15	0,13	0,12
0,75	7,50	q_{d1}	14,43	10,32	7,77	6,07	4,88	4,01	3,36	2,85	2,46	2,13	1,87	1,66	1,48	1,31	1,17	1,05	0,95	0,86	0,79	0,72	0,66
		q_{d2}	10,90	8,72	6,84	5,40	4,38	3,63	3,06	2,62	2,26	1,98	1,74	1,55	1,38	1,24	1,12	1,02	0,93	0,85	0,79	0,72	0,66
		q_k	32,57	16,68	9,65	6,08	4,07	2,86	2,08	1,57	1,21	0,95	0,76	0,62	0,51	0,42	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15
0,88	8,80	q_{d1}	19,32	13,72	10,28	8,00	6,41	5,25	4,39	3,72	3,19	2,77	2,43	2,13	1,87	1,66	1,48	1,33	1,20	1,09	0,99	0,91	0,83
		q_{d2}	15,39	11,96	9,08	7,14	5,78	4,77	4,01	3,42	2,95	2,57	2,26	2,01	1,79	1,61	1,45	1,32	1,20	1,09	0,99	0,91	0,83
		q_k	40,61	20,79	12,03	7,58	5,08	3,57	2,60	1,95	1,50	1,18	0,95	0,77	0,63	0,53	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
1,00	10,00	q_{d1}	24,26	17,16	12,80	9,93	7,94	6,49	5,41	4,58	3,93	3,40	2,95	2,57	2,26	2,00	1,79	1,60	1,45	1,31	1,20	1,09	1,00
		q_{d2}	20,17	14,99	11,34	8,89	7,17	5,91	4,96	4,22	3,64	3,17	2,78	2,46	2,20	1,97	1,78	1,60	1,45	1,31	1,20	1,09	1,00
		q_k	48,61	24,89	14,40	9,07	6,08	4,27	3,11	2,34	1,80	1,42	1,13	0,92	0,76	0,63	0,53	0,45	0,39	0,34	0,29	0,26	0,23
1,13	11,30	q_{d1}	30,06	21,16	15,74	12,17	9,70	7,92	6,59	5,57	4,77	4,08	3,52	3,06	2,69	2,39	2,13	1,91	1,73	1,57	1,43	1,31	1,20
		q_{d2}	25,87	18,52	13,96	10,92	8,79	7,23	6,06	5,15	4,43	3,85	3,38	2,99	2,67	2,39	2,13	1,91	1,73	1,57	1,43	1,31	1,20
		q_k	58,60	30,00	17,36	10,93	7,32	5,14	3,75	2,82	2,17	1,71	1,37	1,11	0,92	0,76	0,64	0,55	0,47	0,40	0,35	0,31	0,27
1,25	12,50	q_{d1}	35,79	25,10	18,61	14,37	11,43	9,31	7,74	6,53	5,52	4,71	4,06	3,54	3,11	2,76	2,46	2,21	1,99	1,81	1,65	1,51	1,38
		q_{d2}	30,83	22,01	16,54	12,91	10,37	8,51	7,13	6,05	5,20	4,52	3,96	3,50	3,11	2,76	2,46	2,21	1,99	1,81	1,65	1,51	1,38
		q_k	68,29	34,96	20,23	12,74	8,54	5,99	4,37	3,28	2,53	1,99	1,59	1,29	1,07	0,89	0,75	0,64	0,55	0,47	0,41	0,36	0,32

LEGENDA

Prostý nosník
 q_{d1} návrhová hodnota únosnosti : přesah TR plechu min. 73 mm za podporu
 q_{d2} návrhová hodnota únosnosti : šířka podpory min. 40 mm
 q_k charakteristická (normová) hodnota zatížení pro pružnou deformaci L/200, pro jinou mezní deformaci L/xxx přenásobte tabelizovanou hodnotou qk koeficientem 200/xxx

Spojitý nosník
šířka vnitřní podpory min. 120 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm
šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm

Pro zatížení osamělým břemenem (závěsem do vlny) je spolupůsobení sousedních vln minimální, bez podrobné analýzy spolupůsobení je nutné posoudit únosnost jedné samostatné vlny.
Statický návrh trapézových plechů smí provádět pouze oprávněná osoba.
Statické tabulky slouží jako pomůcka, jejich použití nesnímá z autora statického návrhu zodpovědnost za bezpečný návrh.

Tabulky platí pouze pro daný trapézový profil ze sortimentu firmy Kovové profily, spol. s r. o. z materiálu S320GD.

Pro jiné než tabelované parametry nebo pro atypické zadání kontaktujte technické oddělení firmy Kovové profily spol. s r. o.

Obr. 52 – Tabulka únosnosti plechu TR 50/250

$$f_d = 12,61 \frac{kN}{m^2} < q_{d,2} = 12,91 kN/m^2$$

$$f_k = 9,15 \frac{kN}{m^2} < q_k = 12,74 kN/m^2$$

Trapézový plech TR 50/250 tl. 1,25 mm VYHOVUJE na mezní stav použitelnosti i na mezní stav únosnosti.



11.10.4 Návrh profilu

$$W_{pl,y,min} = 0,5 * \frac{M_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = 0,5 * \frac{100,375 * 10^6 * 1}{355} = 282746 \text{ mm}^3$$

11.10.5 Vstupní údaje IPE 180

Výška profilu	$h = 180 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 91 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 5,3 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 8 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 9 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 2395 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 911,6 \text{ mm}^2$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 166400 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 6000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,317 * 10^7 \text{ mm}^4$

11.10.6 Ocel S355

Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E = 210 \text{ GPa}$

11.10.7 Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Střední sečný modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

11.10.8 Trn 19/100

Průměr trnu	$d = 19 \text{ mm}$
Délka trnu	$h_{sc} = 100 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Mez únosnosti	$f_u = 360 \text{ MPa}$



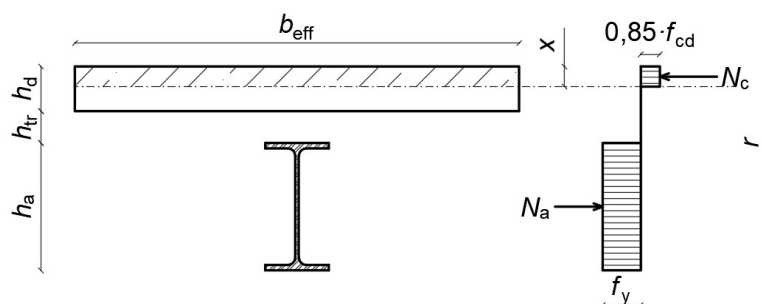
11.10.9 Posouzení průřezu

11.10.9.1 Ohyb

Účinná šířka:

$$B_{eff} = \min \left\{ \frac{2l}{8}; b \right\} = \min \left\{ \frac{2 * 6000}{8} = 1,5 \text{ m}; 1,75 \text{ m} \right\} = 1,5 \text{ m}$$

Neutrální osa:



Obr. 53 - Předpokládaná neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$\frac{A_a f_y}{\gamma_{M0}} = 0,85 x * b_{eff} * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a f_y}{0,85 * \gamma_{M0} * b_{eff} * f_{cd}} = \frac{2395 * 355}{0,85 * 1 * 1500 * \frac{30}{1,5}} = 33,34 \text{ mm}$$

$$r = \frac{h_s}{2} + h_d + h_{tr} - \frac{x}{2} = \frac{180}{2} + 70 + 50 - \frac{33,34}{2} = 193,33 \text{ mm}$$

33,34 mm < 70 mm
VYHOVUJE

Ohybová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = N_a * r = 2395 * 355 * 193,33 = 164,37 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 101 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{101}{164,37} = 0,62$$

101 kNm < 164,37 kNm
VYHOVUJE

0,62 < 1,0
VYHOVUJE



11.10.9.2 Smyk

Uvažuje se, že celou smykovou sílu přenáší pouze ocelový nosník.

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} * \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{911,6 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 186,84 \text{ kN}$$

$$V_z = 68 \text{ kN}$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{68}{186,84} = 0,37$$

$$68 \text{ kN} < 186,84 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,37 < 1,0$$

VYHOVUJE

11.10.9.3 Spřažení

Spřažení bude realizováno pomocí trnů přivařených k profilovanému plechu. V každé vlně bude jeden trn 19/100.

Návrhová únosnost trnu:

$$P_{Rd} = k_t * \min\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\} = 1,0 * \min\{65,3 \text{ kN}; 82 \text{ kN}\} = 65,3 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,1} = 0,8f_u * \frac{\pi d^2}{4} * \frac{1}{\gamma_v} = 0,8 * 390 * \frac{\pi * 19^2}{4} * \frac{1}{1,25} = 65,3 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,2} = 0,29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\gamma_v} = 0,29 * 1 * 19^2 * (30 * 32000)^{\frac{1}{2}} * \frac{1}{1,25} = 82 \text{ kN}$$

$$\alpha = \begin{cases} 0,2 * \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1\right) & \text{pro } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \\ 1,0 & \text{pro } \frac{h_{sc}}{d} > 4 \end{cases}$$

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{100}{19} = 5,3 \Rightarrow \alpha = 1,0$$

$$k_t = \min \left\{ \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} * \frac{b_0}{h_p} * \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right) \right\} = \min \left\{ \frac{0,7}{\sqrt{1,0}} * \frac{84,5}{50,0} * \left(\frac{100,0}{50,0} - 1\right) \right\} = \min \left\{ \frac{1,18}{1,0} \right\} = 1,0$$

Součinitel $k_{t,max}$ vychází z tabulky. Pro jeden trn ve vlně a tl. plechu větší než 1 je roven 1,0.

Spřahovací síla:

$$F_{cf} = N_a = N_c = A_a * f_{yd} = 2395 * 355 = 850,225 \text{ kN}$$

Počet trnů, které je potřeba pro úplné spřažení:

$$n_f = \frac{N_c}{P_{Rd}} = \frac{2 * 850,225}{65,3} = 26,04 = 27 \text{ trnů}$$



Počet trnů, které je možno umístit na nosník:

$$n = \frac{l}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ trnů}$$

27 trnů > 24 trnů
NEVYHOVUJE

Na nosník se nevejde potřebný počet trnů, z toho důvodu budou umístěny dva trny vedle sebe.

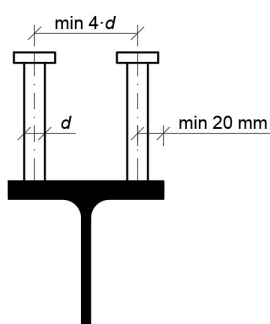
Podmínky pro umístění dvou trnů vedle sebe:

$$d_{trnu} < 2,5 * t_f$$

$$d_{trnu} = 19 \text{ mm}$$

$$2,5 * t_f = 2,5 * 9,8 = 24,5 \text{ mm}$$

24,5 mm > 19 mm
VYHOVUJE



$$b > 2 * 20 + 4d$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$b_{vlny} = 50$$

$$2 * 20 + 4d = 2 * 20 + 4 * 19 = 116 \text{ mm}$$

50 mm < 116 mm
NEVYHOVUJE

Nelze umístit dva trny vedle sebe, z toho důvodu bude počítáno s částečným spřažením.

$$\eta = \frac{n_{zeber}}{n_f} = \frac{24}{27} = 0,88$$

$$0,4 < \eta = 0,88$$

Plastická únosnost samotného IPE profilu v ohybu:

$$M_{a,pl,Rd} = W_{pl,y} * f_y * \frac{1}{\gamma_{M0}} = 166400 * 355 * 1 = 59,07 \text{ kNm}$$

Únosnost nosníku při neúplném spřažení:

$$M_{Rd} = \eta(M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}) + M_{a,pl,Rd} = 0,88 * (164,37 - 59,07) + 59,07 = 151,47 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{101}{151,47} = 0,67$$

101 kNm < 151,47 kNm
VYHOVUJE

$$0,68 < 1,0$$

VYHOVUJE

Ocelobetonový strop bude neúplně spřažen pomocí 24 trnů umístěných osově po 250 mm.



11.10.9.4 Průhyb

Náhradní modul pružnosti:

Je použit modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování betonu, konzervativně uvažují polovinu původního modulu pružnosti.

$$\bar{E}_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32000}{2} = 16000 \text{ MPa}$$

Náhradní modul pružnosti:

$$n = \frac{E_a}{\bar{E}_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

Plocha ideálního průřezu:

Konzervativně je uvažována pouze tl. desky nad plechem.

$$A_{ideal} = A_a + \frac{b_{eff} h_d}{n} = 2395 + \frac{1500 \cdot 70}{13,125} = 10395 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$X_{ideal} = \frac{A_a \cdot \frac{h_a}{2} + \frac{b_{eff} \cdot h_d}{n} \cdot \left(h_a + h_{tr} + \frac{h_d}{2} \right)}{A_i} = \frac{2395 \cdot \frac{180}{2} + \frac{1500,0 \cdot 70,0}{13,125} \cdot \left(180 + 50,0 + \frac{70,0}{2} \right)}{10395}$$
$$= 224,68 \text{ mm}$$

$h_a + h_{tr} = 180 + 50 = 230 \Rightarrow$ těžiště je pod deskou (s betonem v tahu se nepočítá)

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_{ideal} = I_{y,a} + A_a \cdot \left(X_{ideal} - \frac{h_a}{2} \right)^2 + \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{b_{eff} \cdot h_d^3}{12} + b_{eff} \cdot h_d \cdot \left(h_a + h_{tr} + \frac{h_d}{2} - X_{ideal} \right)^2 \right]$$
$$= 1,317 \cdot 10^7 + 2395 \cdot \left(224,68 - \frac{180}{2} \right)^2 + \frac{1}{13,125}$$
$$\cdot \left[\frac{1500,0 \cdot 70,0^3}{12} + 1500,0 \cdot 70,0 \cdot \left(180 + 50,0 + \frac{70,0}{2} - 224,68 \right)^2 \right]$$
$$= 72884478 \text{ mm}^4$$

Napětí v ocelovém průřezu:

$$\sigma_{a,x,max} = \frac{M_{Ek}}{I_{ideal}} \cdot \max\{z_d; z_h\} = \frac{73 \cdot 10^6}{72884478} \cdot 224,68 = 225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,x,max} = 225 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$225 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Napětí v betonové desce:

$$z_h = 180 + 50 + 70 - 224,68 = 75,32 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,x,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_{idel}} \cdot z_h = \frac{73 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 72884478} \cdot 75,32 = 5,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,x,max} = 5,85 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

$$5,75 \text{ MPa} < 25,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Nosník při charakteristickém zatížení působí pružně.



$$\delta = \frac{5 * f_k * l^4}{384 * E * I_y} = \frac{5 * 9,15 * 1,75 * 6000^4}{384 * 210000 * 72884478} = 17,66 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} = \frac{17,66}{24} = 0,74$$

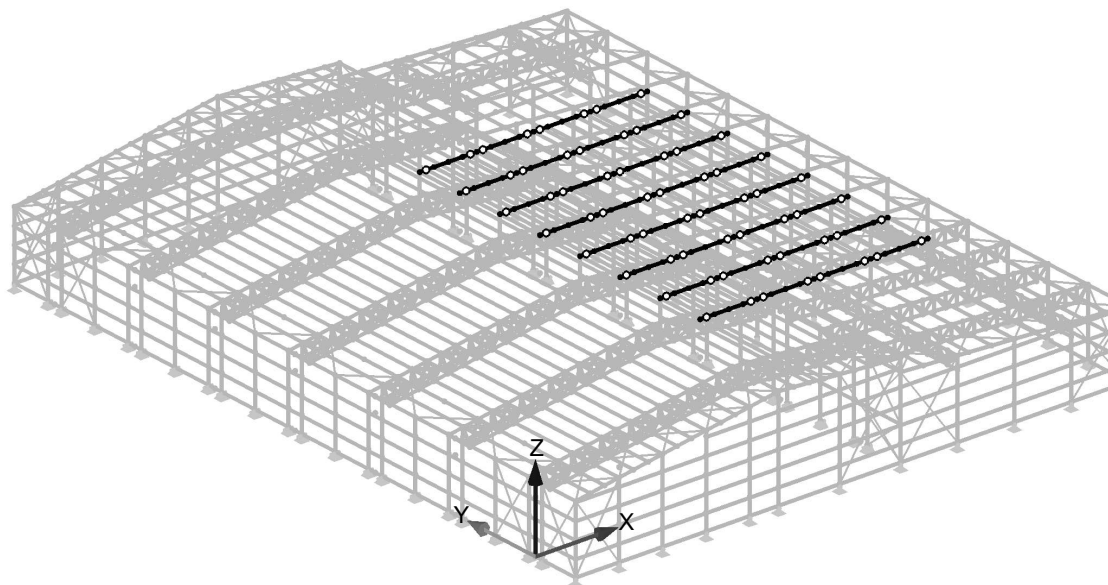
0,74 < 1,0
VYHOVUJE

17,66mm < 24 mm
VYHOVUJE

Sprážený ocelobetonový strop z plechu TR 50/250 tl. 1,25 mm, profilu IPE 180, betonu C30/37 a trnů 19/100 VYHOVUJE na mezní stav použitelnosti i na mezní stav únosnosti.

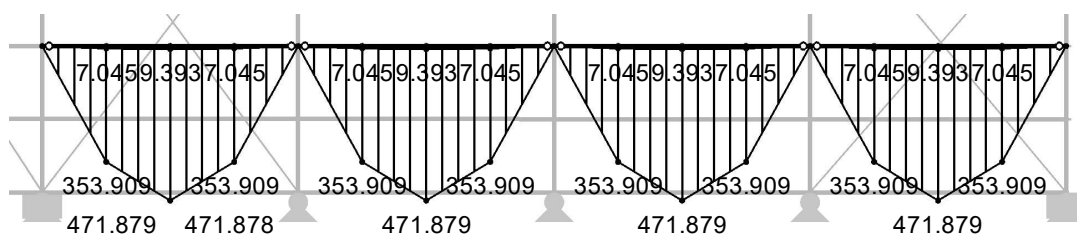
11.11 Průvlak spráženého ocelobetonového stropu zázemí

Strop zázemí bude ze sprážené ocelobetonové desky. Stropní deska bude při montážním stádiu podepřená a podepření bude odstraněno až po 28 dnech. V důsledku toho se na přenosu zatížení podílí až sprážený ocelobetonový průřez a zatížení je tedy uvažováno pouze z provozního stádia (montážní stádium nenastane).

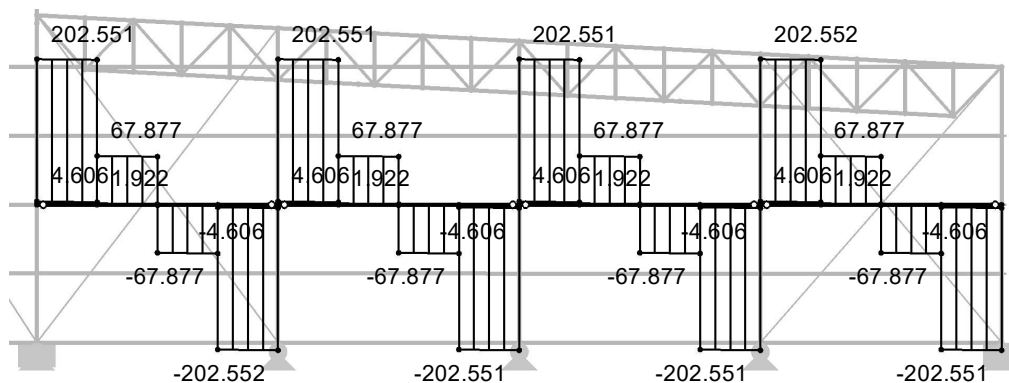


Obr. 54 - Navrhovaný prvek v axonometrii

11.11.1 Vnitřní síly



Obr. 55 - Ohybový moment – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 56 - Posouvací síla Vz- Obálka MSÚ – (kN)

11.11.2 Návrh profilu

$$W_{pl,y,min} = 0,5 * \frac{M_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = 0,5 * \frac{472 * 10^6 * 1}{355} = 664788,74 \text{ mm}^3$$

11.11.3 Vstupní údaje IPE 330

Výška profilu	$h = 330 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 160 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 7,5 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 11,5 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 18 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 6261 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2388,8 \text{ mm}^2$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 804300 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 153700 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 7000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,177 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 7881000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 137,1 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 35,5 \text{ mm}$

11.11.4 Ocel S355

Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu	$f_u = 490 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E = 210 \text{ GPa}$

11.11.5 Beton C30/37

Charakteristická válcová pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Střední sečný modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$



11.11.6 Trn 19/100

Průměr trnu	$d = 19 \text{ mm}$
Délka trnu	$h_{sc} = 100 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Mez únosnosti	$f_u = 360 \text{ MPa}$

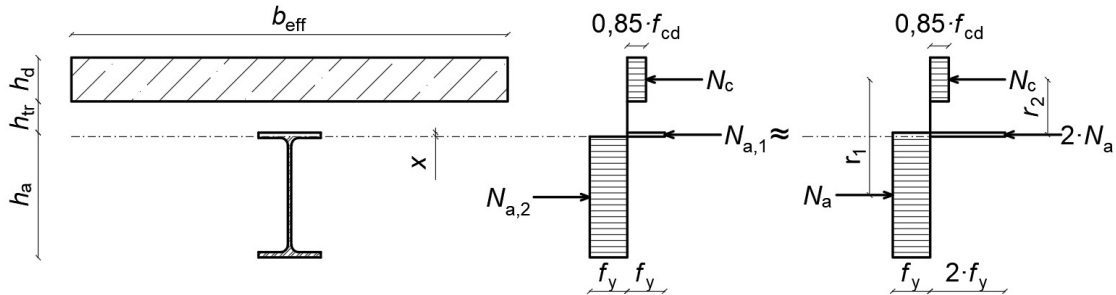
11.11.7 Posouzení průřezu

11.11.7.1 Ohyb

Účinná šířka:

$$b_{eff} = \min\left\{\frac{2l}{8}; b\right\} = \min\left\{\frac{2 \cdot 7000}{8} = 1,750 \text{ m}; 7 \text{ m}\right\} = 1,5 \text{ m}$$

Neutrální osa:



Obr. 57 - Předpokládána neutrální osa je v pásnici ocelového profilu

$$N_c + N_{a,1} = N_{a,2}$$

$$N_c + 2 \cdot N_{a,1} = N_a$$

$$N_c = 0,85 \cdot b_{eff} \cdot h_d \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 1750 \cdot 70 \cdot \frac{30}{1,5} = 2082,5 \text{ kN}$$

$$N_a = A_a \cdot f_{yd} = 6261 \cdot 355 = 2222,655 \text{ kN}$$

$$N_{a,1} = b_f \cdot x \cdot f_{yd} = 160 \cdot 1,23 \cdot 355 = 69,864 \text{ kN}$$

$$0,85 \cdot b_{eff} \cdot h_d \cdot f_{cd} + 2 \cdot b_f \cdot x \cdot f_{yd} = A_a \cdot f_y$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot b_{eff} \cdot h_d \cdot f_{cd}}{2 \cdot b_f \cdot f_{yd}} = \frac{6261 \cdot 355 - 0,85 \cdot 1750 \cdot 70 \cdot \frac{30}{1,5}}{2 \cdot 160 \cdot 355} = 1,23 \text{ mm}$$

Ohybová únosnost:

$$r_1 = \frac{h_d}{2} + h_{tr} + \frac{h_a}{2} = \frac{70}{2} + 50 + \frac{330}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{h_d}{2} + h_{tr} + \frac{x}{2} = \frac{70}{2} + 50 + \frac{1,23}{2} = 85,6 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r_1 - 2 \cdot N_{a,1} \cdot r_2 = 2222655 \cdot 250 + 69864 \cdot 85,6 = 561,644 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 472 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{472}{561,644} = 0,84$$

$$472 \text{ kNm} < 561,6 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$0,84 < 1,0$$

VYHOVUJE



11.11.7.2 Smyk

Uvažuje se, že celou smykovou sílu přenáší pouze ocelový nosník.

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{2388,8 \cdot \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 489,6 \text{ kN}$$

$$V_z = 202,6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_z}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{202,6}{489,6} = 0,42$$

$$202,6 \text{ kN} < 489,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$0,42 < 1,0$$

VYHOVUJE

11.11.7.3 Spřažení

Spřažení bude realizováno pomocí trnů 19/100.

Návrhová únosnost trnu:

$$P_{Rd} = k_t \cdot \min\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\} = 1 \cdot \min\{65,3 \text{ kN}; 82 \text{ kN}\} = 65,3 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,1} = 0,8 f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_v} = 0,8 \cdot 390 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} \cdot \frac{1}{1,25} = 65,3 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,2} = 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v} = 0,29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot (30 \cdot 32000)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{1,25} = 82 \text{ kN}$$

$$\alpha = \begin{cases} 0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1\right) & \text{pro } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \\ 1,0 & \text{pro } \frac{h_{sc}}{d} > 4 \end{cases}$$

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{100}{19} = 5,3 \Rightarrow \alpha = 1,0$$

$$k_t = \min \left\{ \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right) \right\} = \min \left\{ \frac{0,7}{\sqrt{1,0}} \cdot \frac{84,5}{50,0} \cdot \left(\frac{100,0}{50,0} - 1\right) \right\} = \min \left\{ \frac{1,18}{1} \right\} 1,0$$

Součinitel $k_{t,max}$ vychází z tabulky pro dva trny ve vlně a tl. plechu větší než 1.

Spřahovací síla:

$$F_{cf} = N_a = N_c = A_a \cdot f_{yd} = 6261 \cdot 355 = 2222,66 \text{ kN}$$

Počet trnů, které je potřeba pro úplné spřažení:

$$n_f = \frac{N_c}{P_{Rd}} = \frac{2 \cdot 2222,66}{65,3} = 68 \text{ trnů}$$

Maximální možná vzdálenost trnů na nosníku:

$$\frac{l}{\frac{n_f}{2}} = \frac{7000}{68} = 102,94 \Rightarrow \text{trny osově po } 100 \text{ mm}$$

$$\frac{7000}{100} = 70 \text{ Trnů}$$

$$68 \text{ Trnů} < 70 \text{ trnů}$$

VYHOVUJE



Ocelobetonový strop bude plně spřažen pomocí 70 trnů umístěných po 100 mm.

11.11.7.4 Průhyb

Náhradní modul pružnosti:

Modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování betonu, konzervativně uvažují polovinu původního modulu pružnosti.

$$\bar{E}_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32000}{2} = 16000 \text{ MPa}$$

Náhradní modul pružnosti:

$$n = \frac{E_a}{\bar{E}_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

Plocha ideálního průřezu:

Konzervativně je uvažována pouze tl. desky nad plechem.

$$A_{ideal} = A_a + \frac{b_{eff} h_d}{n} = 6261 + \frac{1750 \cdot 70}{13,125} = 15594 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu:

$$X_{ideal} = \frac{A_a \cdot \frac{h_a}{2} + \frac{b_{eff} \cdot h_d}{n} \cdot \left(h_a + h_{tr} + \frac{h_d}{2} \right)}{A_i} \\ = \frac{6261 \cdot \frac{330}{2} + \frac{1750,0 \cdot 70,0}{13,125} \cdot \left(330 + 50,0 + \frac{70,0}{2} \right)}{15594} = 314,63 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_{ideal} = I_{y,a} + A_a \cdot \left(X_{ideal} - \frac{h_a}{2} \right)^2 + \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{b_{eff} \cdot h_d^3}{12} + b_{eff} \cdot h_d \cdot \left(h_a + h_{tr} + \frac{h_d}{2} - X_{ideal} \right)^2 \right] \\ = 1,177 \cdot 10^8 + 6261 \cdot \left(314,63 - \frac{330}{2} \right)^2 + \frac{1}{13,125} \\ \cdot \left[\frac{1750,0 \cdot 70,0^3}{12} + 1750,0 \cdot 70,0 \cdot \left(330 + 50,0 + \frac{70,0}{2} - 314,63 \right)^2 \right] \\ = 355714775 \text{ mm}^4$$

Napětí v ocelovém průřezu:

$$\sigma_{a,x,max} = \frac{M_{Ek}}{I_{ideal}} \cdot \max\{z_d; z_h\} = \frac{350,7 \cdot 10^6}{355714775} \cdot 314,63 = 310,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,x,max} = 310,19 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

310,19 MPa < 355 MPa
VYHOVUJE

Napětí v betonové desce:

$$z_h = 330 + 50 + 70 - 314,63 = 135,37 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,x,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_{idel}} \cdot z_h = \frac{350,7 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 355714775} \cdot 135,37 = 10,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,x,max} = 3,8 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

10,15 MPa < 25,5 MPa
VYHOVUJE



Nosník při charakteristickém zatížení působí pružně.

Zjednodušeně počítám s konstantním liniovým zatížením po celé délce průvlaku, průvlak má zatěžovací šířku 6 m. (Ve vzorci se míchají jednotky z důvodu zatížení v kN/m², které je přenásobené zatěžovací šířkou 6 m. Při následném převodu z kN/m² na N/mm² zůstává hodnota neměnná.)

$$\delta = \frac{5 * f_k * l^4}{384 * E * I_y} = \frac{5 * 9,15 * 6 * 7000^4}{384 * 210000 * 355714775} = 22,98 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{7000}{250} = 28 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta}{\delta_{lim}} = \frac{22,98}{28} = 0,64$$

$$0,82 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$22,98 \text{ mm} < 28 \text{ mm}$$

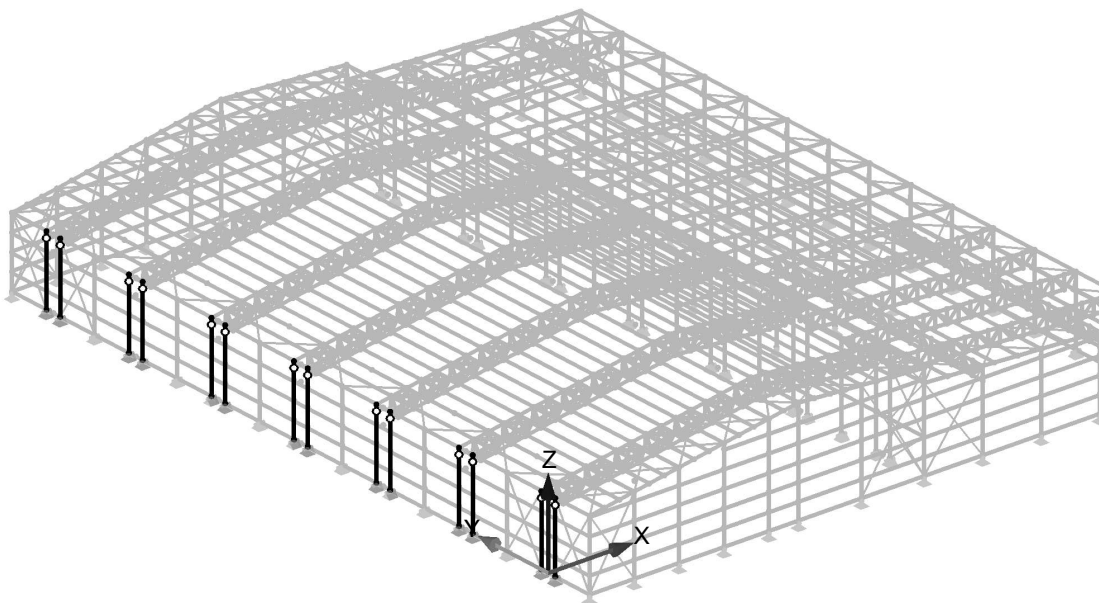
VYHOVUJE

Spražený ocelobetonový strop z plechu TR 50/250 tl. 1,25 mm, profilu IPE 330, betonu C30/37 a trnů 19/100 VYHOVUJE na mezní stav použitelnosti i na mezní stav únosnosti.

11.12 Sloup S1 (levý sloup pod prostorovým příhradovým nosníkem)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup bude přenášet zatížení od prostorových příhradových nosníků do základů. Každý prostorový příhradový nosník je nesen dvěma sloupy o délce 8000 mm.

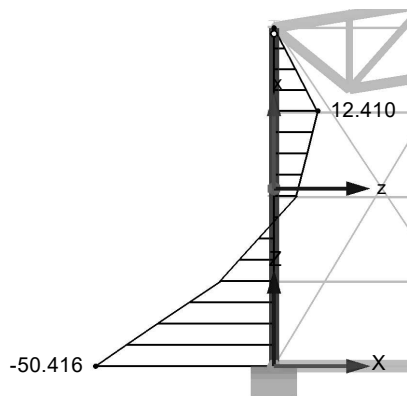
Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (8000 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (8000 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna 70 % délky sloupu (5600 mm).



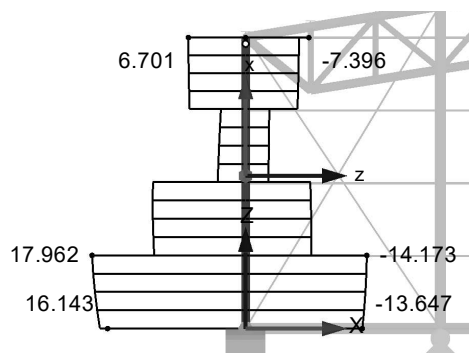
Obr. 58 - Navrhovaný prvek v axonometrii



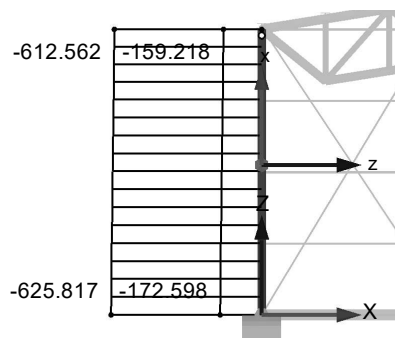
11.12.1 Vnitřní síly



Obr. 59 - Ohybový moment – KZ35 – (kNm)



Obr. 60 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 61 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



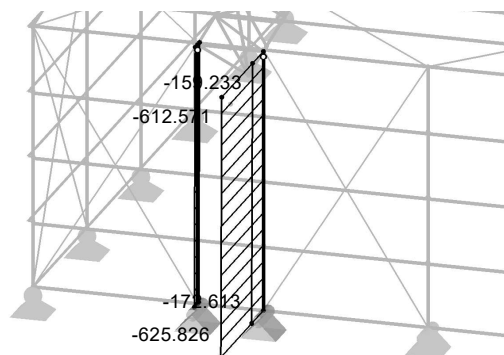
Obr. 62 - Vodorovná deformace – zatížení větrem ve směru Y+(90) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ35):

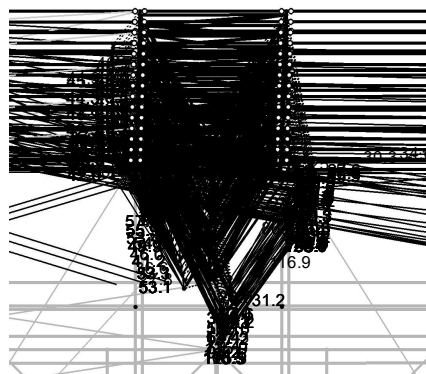
$$N_{Ed} = -625,817 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 17,962 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 50,416 \text{ kNm}$$



Obr. 63 - Normálová síla dvojsloupí (kN)



Obr. 64 - Celková deformace (mm)

U krajních sloupů dochází z důvodu kroucení prostorového příhradového nosníku k velkému rozdílu ve vnitřních silách dvojice sloupů.

11.12.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 327000 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 8000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 39200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$



11.12.3 Posouzení průřezu

11.12.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{Rd}} = \frac{18}{457} = 0,05 < 1,0$$

18 kN < 457,1 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.12.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 0,7}{103} * \frac{1}{76,41} = 0,711$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,840 + \sqrt{0,840^2 - 0,711^2}} = 0,777$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,711 - 0,2) + 0,711^2] = 0,840$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 1,722$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,355 + \sqrt{2,355^2 - 1,722^2}} = 0,252$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1,722 - 0,2) + 1,722^2] = 2,355$$



c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 954,055 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1054000 * 355}{954,055 * 10^6}} = 0,626$$

Součinitel klopení:

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,626 - 0,2) + 0,626^2] = 0,686$$

$$\alpha_{lt} = 0,34 \text{ (křivka b)}$$

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{y,lt}^2}} = \frac{1}{0,686 + \sqrt{0,686^2 - 0,626^2}} \Rightarrow 1,0$$

d) Interakční součinitele

Interakční součinitele byly vypočteny v MS Excel pomocí vzorců z tabulky B.2.

$$k_{yy} = 0,491$$

$$k_{zy} = 0,561$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4 \Rightarrow c_{my} = 0,4$$

$$M_{h,y} = -50,416 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 12,410 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_{hs} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{12,410}{-50,416} = -0,246$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{625817}{0,840 * 355 * 10600} + 0,491 * \frac{50,416 * 10^6}{1 * 1054000 * 355} = 0,27$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{625817}{0,252 * 355 * 10600} + 0,561 * \frac{50,416 * 10^6}{1 * 1054000 * 355} = 0,74$$

0,27 < 1,0
VYHOVUJE

0,74 < 1,0
VYHOVUJE

11.12.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{8000}{300} = 26,67 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 9,6 \text{ mm}$$



$$\frac{W_{RFEM,max}}{W_{lim}} = \frac{9,6}{26,67} = 0,36 \leq 1$$

$$0,36 < 1,00$$

VYHOVUJE

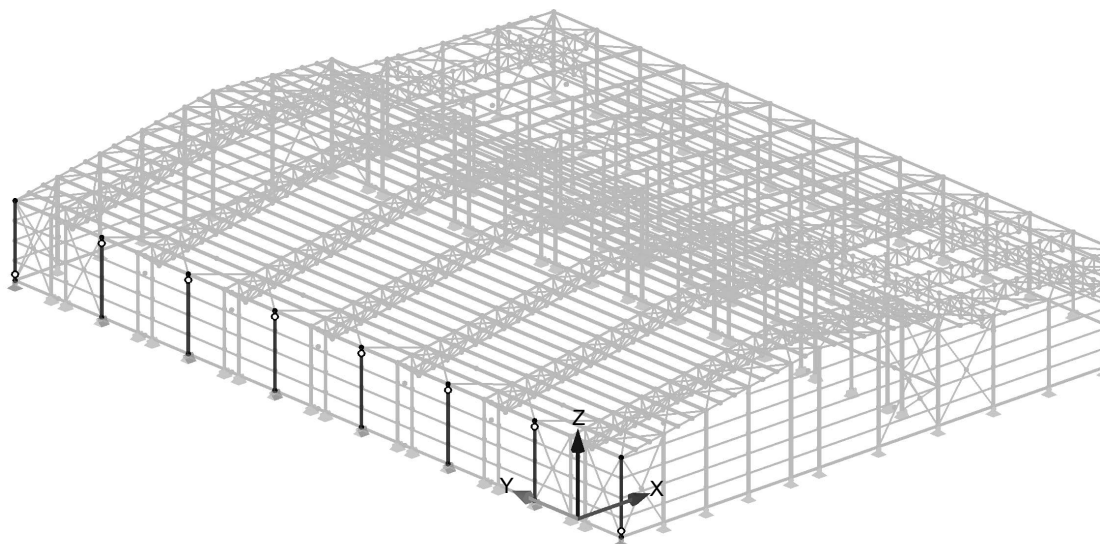
$$8,25 \text{ mm} < 28,04 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 74 %. (Využitelnost je malá, ale prvek je celkem štíhlý $\frac{l}{i} = \frac{8000}{60,8} = 131,57$ a podpírá velkorozponové příhradové nosníky. Z těchto důvodů již nesnižují třídu průřezu.)

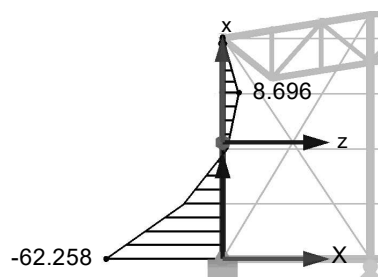
11.13 Sloup S2 (mezilehlé sloupy na levé straně ledové plochy)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (8000 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (8000 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna 70 % délky sloupu (5600 mm).

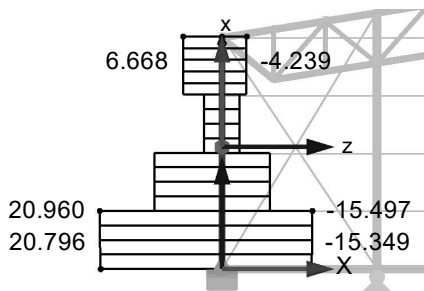


Obr. 65 - Navrhovaný prvek v axonometrii

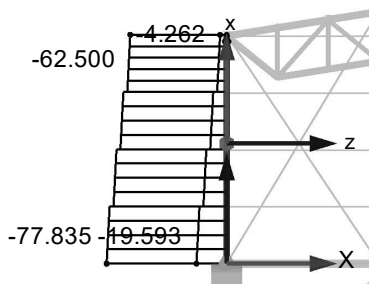
11.13.1 Vnitřní síly



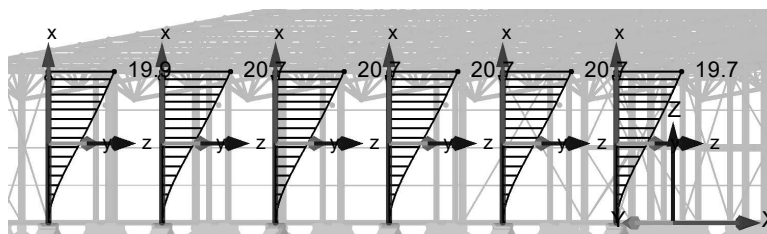
Obr. 66 - Ohybový moment – KZ35 – (kNm)



Obr. 67 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 68 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 69 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ35):

$$N_{Ed} = -77,835 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 20,960 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 62,258 \text{ kN}$$

11.13.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatížení ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatížení ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 327000 \text{ mm}^3$



Délka nosníku	$l = 8000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 39200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$

11.13.3 Posouzení průřezu

11.13.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{21}{457} = 0,06 < 1,0$$

21 kN < 457 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.13.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 0,7}{103} * \frac{1}{76,41} = 0,711$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,840 + \sqrt{0,840^2 - 0,711^2}} = 0,777$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,711 - 0,2) + 0,711^2] = 0,840$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$



Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 1,722$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,355 + \sqrt{2,355^2 - 1,722^2}} = 0,252$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1,722 - 0,2) + 1,722^2] = 2,355$$

c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 858,679 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1054000 * 355}{858,679 * 10^6}} = 0,660$$

Součinitel klopení:

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha_{lt}(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,660 - 0,2) + 0,660^2] = 0,707$$

$$\alpha_{lt} = 0,34 \text{ (křívka b)}$$

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{y,lt}^2}} = \frac{1}{0,707 + \sqrt{0,707^2 - 0,660^2}} = > 1,0$$

d) Interakční součinitele

Interakčních součinitele byly vypočteny v MS Excel pomocí vzorců z tabulky B.2.

$$k_{yy} = 0,406$$

$$k_{zy} = 0,945$$

$$c_{my} = 0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4 \Rightarrow c_{my} = 0,4$$

$$M_{h,y} = -62,258 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 8,696 \text{ kNm}$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_{hs} = \frac{M_s}{M_h} = \frac{8,696}{-62,258} = -0,139$$



e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{77900}{0,840 * 355 * 10600} + 0,406 * \frac{62,3 * 10^6}{1 * 1054000 * 355} = 0,10$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{77900}{0,252 * 355 * 10600} + 0,945 * \frac{62,3 * 10^6}{1 * 1054000 * 355} = 0,24$$

0,10 < 1,0
VYHOVUJE

0,24 < 1,0
VYHOVUJE

11.13.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{8000}{300} = 26,67 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 20,7 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{20,7}{26,67} = 0,78 \leq 1$$

0,78 < 1,0
VYHOVUJE

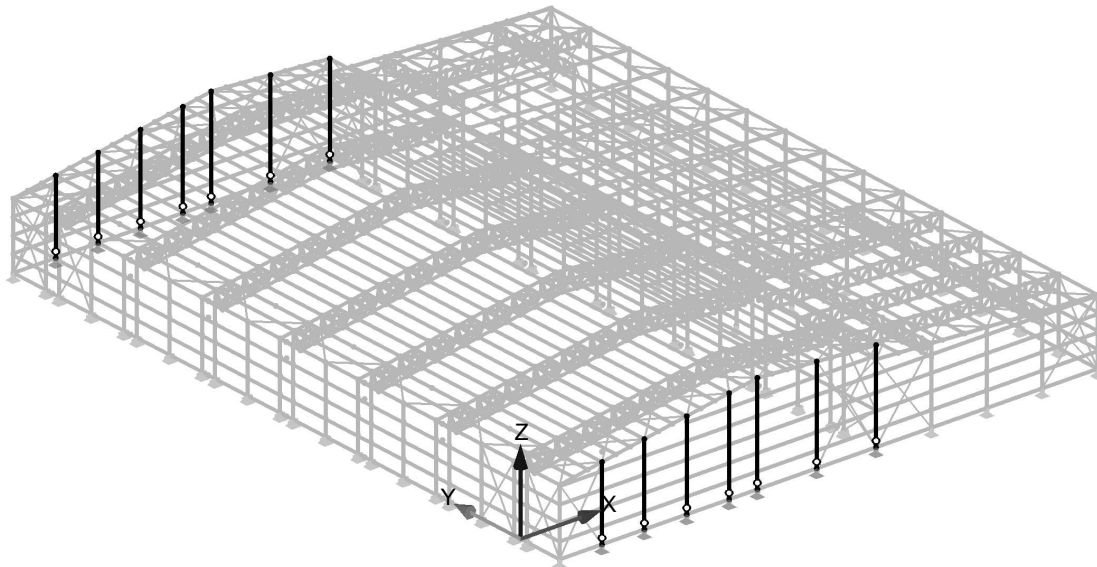
20,7 mm < 26,67 mm
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 78 %. (Využitelnost je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i_i} = \frac{8000}{60,8} = 131,57$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)



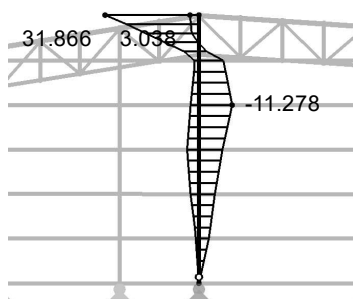
11.14 Sloup S3 (sloupy průčelí ledové plochy)

Sloup bude průřezu HEB 300 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (12000 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (12000 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna délce sloupu (12000 mm).

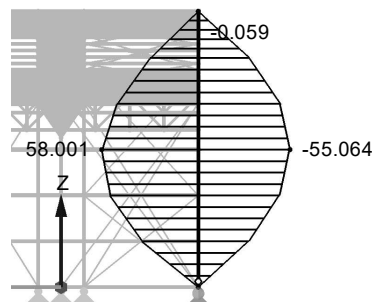


Obr. 70 - Navrhovaný prvek v axonometrii

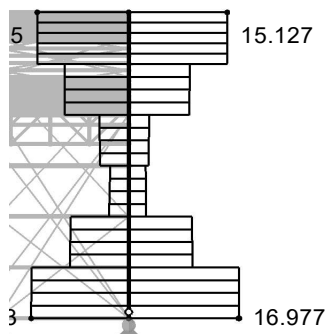
11.14.1 Vnitřní síly



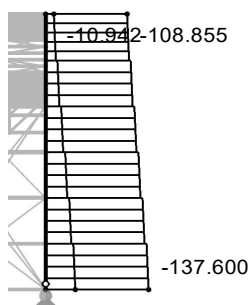
Obr. 71 - Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)



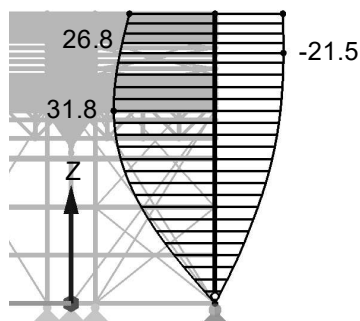
Obr. 72 - Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



Obr. 73 - Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 74 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 75 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Průřez je navrhován na maximální vnitřní síly obálky MSÚ:

$$N_{Ed} = -123,3 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 16,977 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 58,001 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -11,278 \text{ kN}$$

11.14.2 Vstupní údaje HEB 300

Výška profilu	$h = 300 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 300 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 11 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 19 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblění	$r = 27 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 14910 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 4745,0 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1869000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 570900 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 12000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 2,517 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 85630000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 129,9 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 75,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 1,688 * 10^{12} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1850000 \text{ mm}^4$



11.14.3 Posouzení průřezu

11.14.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{4745 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 972,5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{17}{972,5} = 0,02 < 1,0$$

17 kN < 972,5 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.14.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{12000 * 1}{129,9} * \frac{1}{76,41} = 1,208$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,405 + \sqrt{1,405^2 - 1,208^2}} = 0,471$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(1,208 - 0,2) + 1,208^2] = 1,405$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{12000 * 1}{75,8} * \frac{1}{76,41} = 2,072$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,541 + \sqrt{3,541^2 - 2,072^2}} = 0,156$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(2,072 - 0,2) + 2,072^2] = 3,541$$



c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 443,243 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1869000 * 355}{443,243 * 10^6}} = 1,223$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt} - \bar{\lambda}_{lt}^2}} = \frac{1}{1,433 + \sqrt{1,433^2 - 1,223^2}} = 0,458$$

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(1,223 - 0,2) + 1,223^2] = 1,433$$

d) Interakční součinitele

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,932 \left(1 + 0,6 * 1,208 * \frac{123300}{0,407 * 355 * 14910} \right) = 0,97$$

$$k_{yy} = 0,4 \left(1 + 0,6 * \frac{123300}{0,407 * 355 * 14910} \right) = 0,964$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 * 2,072}{0,932 - 0,25} * \frac{123300}{0,156 * 355 * 14910} \right] = 0,954$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1}{0,932 - 0,25} * \frac{123300}{0,156 * 355 * 14910} \right] = 0,978$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \left(1 + (2 * 2,072 - 0,2) \frac{123300}{0,407 * 355 * 14910} \right) = 0,490$$

$$k_{zz} = 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{123300}{0,407 * 355 * 14910} \right) = 0,418$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz} = 0,6 * 0,418 = 0,251$$

$$c_{mIT} = 0,95 + 0,05 \alpha_h = 0,95 + 0,05 * (-0,354) = 0,932$$



$$M_{h,y} = 31,866 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -11,278 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{-11,278}{31,866} = -0,354$$

$$\psi = 0$$

$$c_{mz} = 0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4 \Rightarrow 0,4$$

$$M_{h,z} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{s,z} = 58 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{0}{58} = 0$$

$$\psi = 0$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} \\ &= \frac{123300}{0,407 * 355 * 14910} + 0,964 * \frac{58 * 10^6}{0,458 * 1869000 * 355} + 0,251 \\ & \quad * \frac{11,3 * 10^6}{1 * 570900 * 355} = 0,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} \\ &= \frac{123300}{0,156 * 355 * 14910} + 0,978 * \frac{58 * 10^6}{0,458 * 1869000 * 355} + 0,418 \\ & \quad * \frac{11,3 * 10^6}{1 * 570900 * 355} = 0,37 \end{aligned}$$

0,26 < 1,0
VYHOVUJE

0,37 < 1,0
VYHOVUJE

11.14.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 31,8 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{31,8}{40} = 0,80 \leq 1$$

0,80 < 1,0
VYHOVUJE

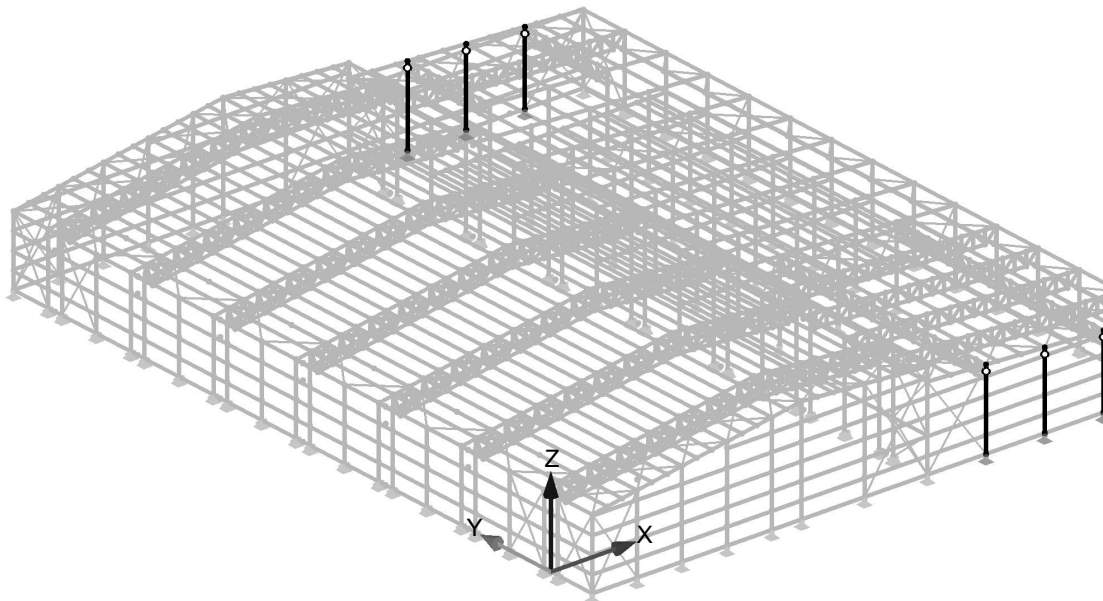
31,8 mm < 40 mm
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 300 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 80 %. (Využitelnost při MSÚ je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i} = \frac{12000}{75,8} = 158,31$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)



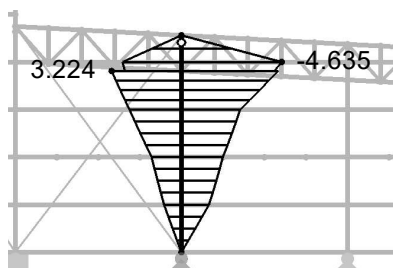
11.15 Sloup S4 (sloupy průčelí zázemí)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (9125 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (9125 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna délce sloupu (9125 mm).

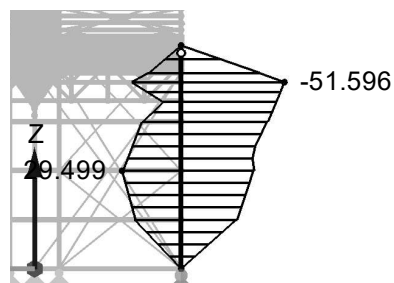


Obr. 76 - Navrhovaný prvek v axonometrii

11.15.1 Vnitřní síly

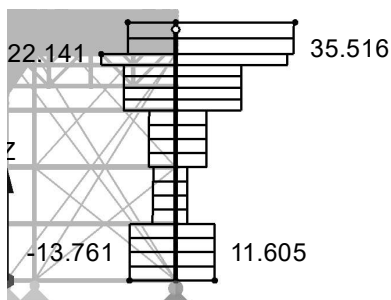


Obr. 77 - Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)

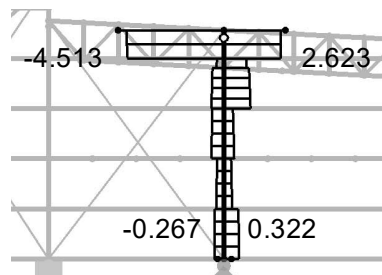


Zakrytá hodnota 29,499 kNm

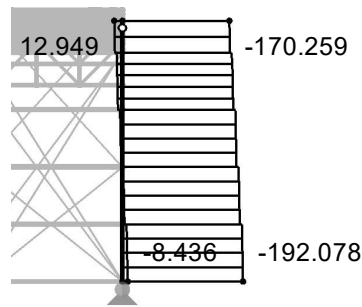
Obr. 78 - Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



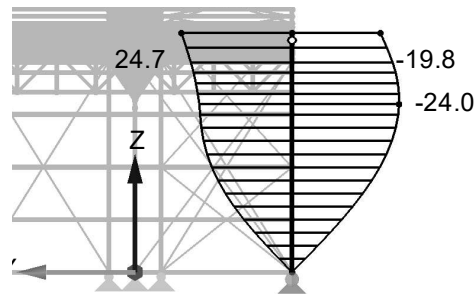
Obr. 79 - Posouvací síla V_z – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 80 - Posouvací síla V_y – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 81 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 82 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ25):

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= -191,597 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= -8,400 \text{ kN} \\V_{y,Ed} &= 0,449 \text{ kN} \\M_{y,Ed} &= -4,216 \text{ kNm} \\M_{z,Ed} &= 0,226 \cong 0 \text{ kNm}\end{aligned}$$

11.15.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatížení ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatížení ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 327000 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 8000 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 39200000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$



11.15.3 Posouzení průřezu

11.15.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = (0,5^2 + 8,4^2)^{\frac{1}{2}} = 8,5$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{8,5}{457} = 0,02 < 1,0$$

8,5 kN < 457 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřez při působení ohybu a osově síly.

11.15.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{9125 * 1}{103} * \frac{1}{76,41} = 1,159$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,334 + \sqrt{1,334^2 - 1,159^2}} = 0,501$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(1,159 - 0,2) + 1,159^2] = 1,334$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{9125 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 1,964$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$



Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} = \frac{1}{2,860 + \sqrt{2,860^2 - 1,964^2}} = 0,202$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2}] = 0,5 * [1 + 0,49(1,946 - 0,2) + 1,964^2] = 2,860$$

c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 308,492 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1054000 * 355}{308,492 * 10^6}} = 1,101$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^{-2}}} = \frac{1}{1,209 + \sqrt{1,209^2 - 1,101^2}} = 0,585$$

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^{-2}] = 0,5 * [1 + 0,34(1,101 - 0,2) + 1,101^2] = 1,209$$

d) Interakční součinitele

Interakční součinitele byly vypočteny v MS Excel pomocí vzorců z tabulky B.2.

$$k_{yy} = 0,973$$

$$k_{zy} = 0,961$$

$$c_{my} = 0,90 + 0,10\alpha_h = 0,95 + 0,05 * (0) = 0,90$$

$$M_{h,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -19,739 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{0}{-19,739} = 0$$

$$\psi = 0$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{191,6 * 10^3}{0,501 * 355 * 10600} + 0,973 * \frac{4,216 * 10^6}{0,585 * 1054000 * 355} = 0,12$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{191,6 * 10^3}{0,202 * 355 * 10600} + 0,961 * \frac{4,216 * 10^6}{0,585 * 105400 * 355} = 0,27$$

0,12 < 1,0
VYHOVUJE

0,27 < 1,0
VYHOVUJE



11.15.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{9125}{300} = 30,41 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 24,7 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{24,7}{30,41} = 0,81 \leq 1$$

0,81 < 1,0
VYHOVUJE

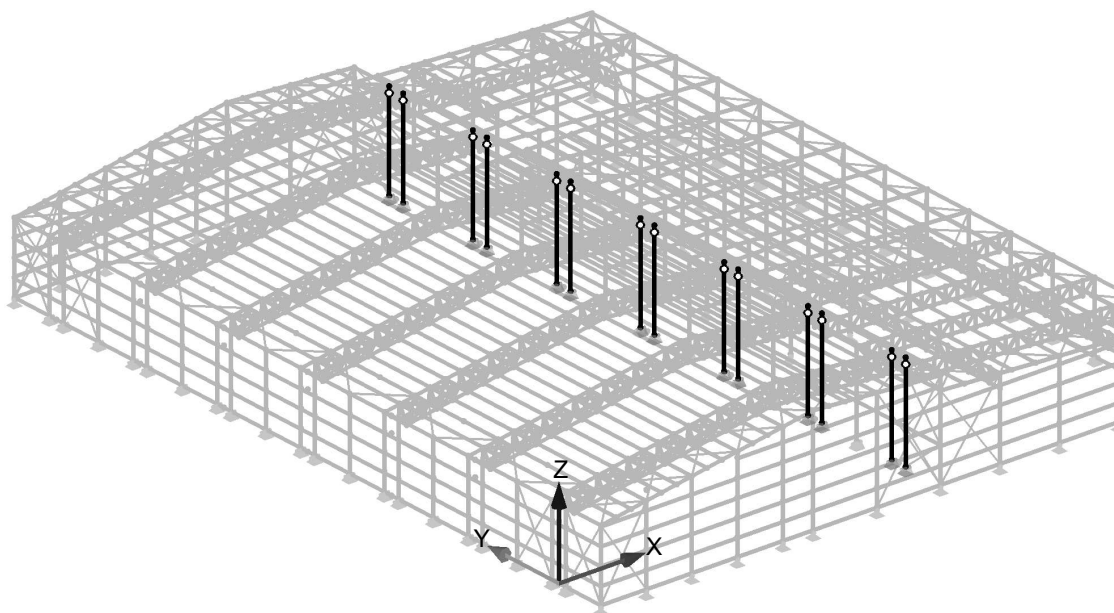
24,7 mm < 30,41 mm
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 81 %. (Využitelnost při MSÚ je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i_i} = \frac{9125}{60,8} = 150,1$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)

11.16 Sloup S5 (levý sloup pod prostorovým příhradovým nosníkem)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup bude přenášet zatížení od prostorových příhradových nosníků do základů. Každý příhradový nosník je nesen dvěma sloupy o délce 8000 mm.

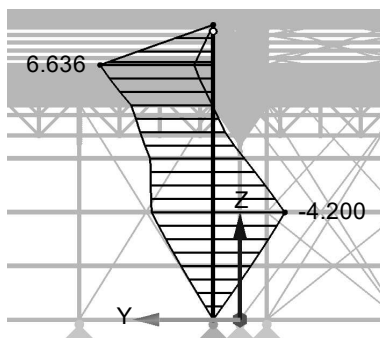
Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (8000 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (8000 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna 70 % délky sloupu (5600 mm).



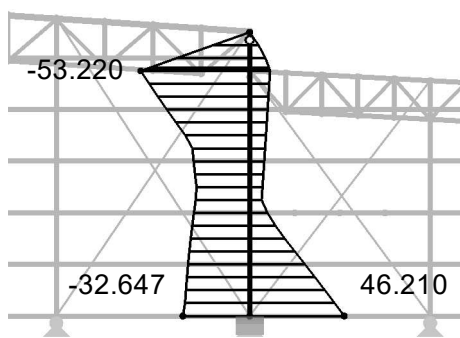
Obr. 83 – Navrhovaný prvek v axonometrii



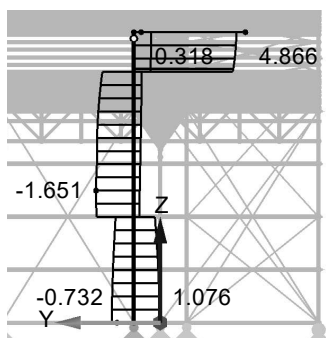
11.16.1 Vnitřní síly



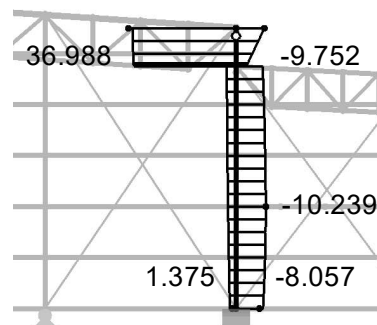
Obr. 84 – Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)



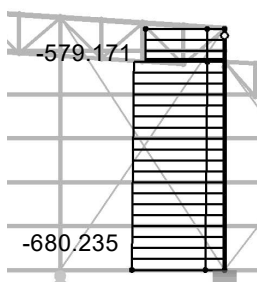
Obr. 85 – Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



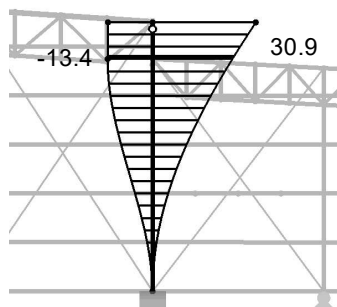
Obr. 86 – Posouvací síla V_y – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 87 – Posouvací síla V_z – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 88 – Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 89 – Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ25):

$$N_{Ed} = -674,858 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -24,149 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = -1,487 \text{ kN}$$



11.16.2 Vstupní údaje HEB 300

Výška profilu	$h = 300 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 300 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 11 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 19 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 27 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 14910 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 4745,0 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1869000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 570900 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 11000 \text{ (6000) mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 2,517 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 85630000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 129,9 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 75,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 1,688 * 10^{12} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1850000 \text{ mm}^4$

11.16.3 Posouzení průřezu

11.16.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{4745 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 972,5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{\sqrt{37^2 + 4,9^2}}{972,5} = 0,04 < 1,0$$

37,4 kN < 972,5 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.16.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{6000 * 1}{129,9} * \frac{1}{76,41} = 0,604$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$



Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,751 + \sqrt{0,751^2 - 0,604^2}} = 0,835$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,604 - 0,2) + 0,604^2] = 0,751$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{6000 * 1}{75,8} * \frac{1}{76,41} = 1,036$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,241 + \sqrt{1,241^2 - 1,036^2}} = 0,519$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1,036 - 0,2) + 1,036^2] = 1,241$$

c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 520,104 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1869000 * 355}{520,104 * 10^6}} = 1,129$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^2}} = \frac{1}{1,295 + \sqrt{1,295^2 - 1,129^2}} = 0,518$$

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(1,129 - 0,2) + 1,129^2] = 1,295$$

d) Interakční součinitele

Interakční součinitele jsou dopočteny v MS Excel a shodují se s hodnotami v programu Rfem (chyba je 1 %).

$$k_{yy} = 1,013$$

$$k_{zy} = 0,965$$

$$k_{zz} = 1,212$$



$$k_{yz} = 0,727$$

$$c_{my} = c_{mIT} = 0,90 + 0,10\alpha_h = 0,90 + 0,10 * 0,537 = 0,954$$

$$M_{h,y} = -14,324 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -26,688 \text{ kNm}$$

$$c_{mz} = \text{konzervativně uvažují } 0,9$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \\ & \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \\ & = \frac{671858}{0,835 * 355 * 14910} + 1,013 * \frac{24,149 * 10^6}{0,518 * 1869000 * 355} + 0,727 \\ & * \frac{1,487 * 10^6}{570900 * 355} = 0,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \\ & \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \\ & = \frac{671858}{0,519 * 355 * 14910} + 0,965 * \frac{24,149 * 10^6}{0,518 * 1869000 * 355} + 1,212 \\ & * \frac{1,487 * 10^6}{1 * 570900 * 355} = 0,33 \end{aligned}$$

0,23 < 1,0
VYHOVUJE

0,33 < 1,0
VYHOVUJE

11.16.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{11000}{300} = 36,66 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 30,9 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{30,9}{36,66} = 0,85 \leq 1$$

0,85 < 1,0
VYHOVUJE

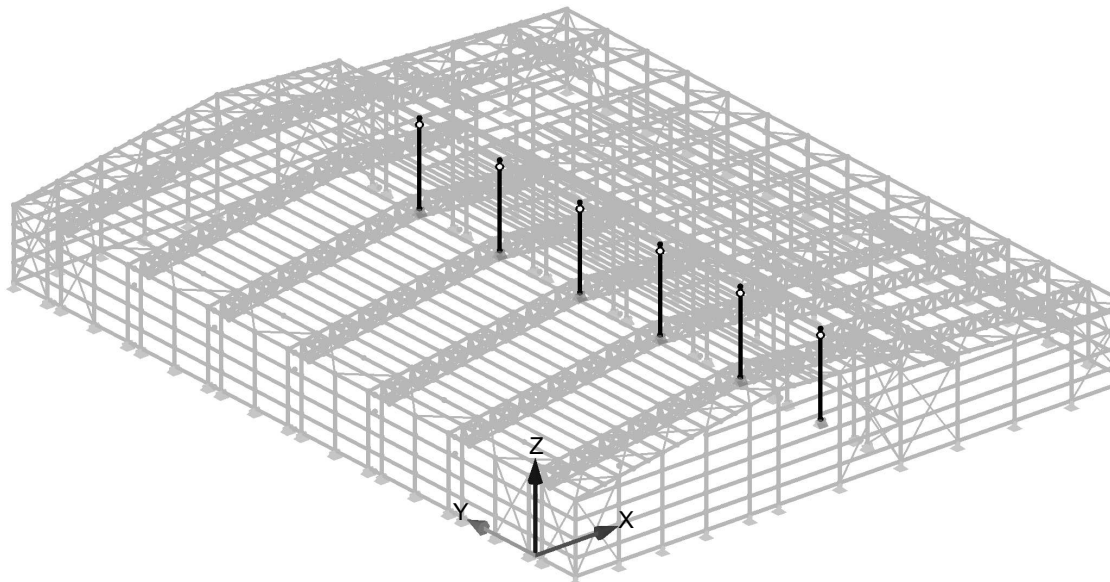
30,9 mm < 36,66 mm
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 300 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 85 %. (Využitelnost při MSÚ je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i_i} = \frac{11000}{75,8} = 155,11$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)



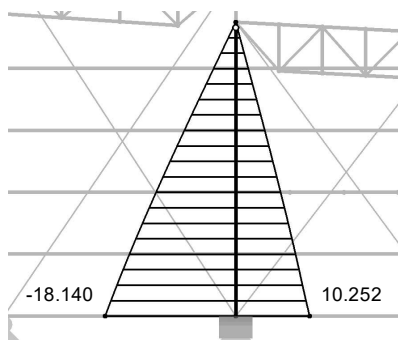
11.17 Sloup S6 (mezilehlé sloupy na levé straně ledové plochy)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (9500 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (9500 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna 70 % délky sloupu (6650 mm).

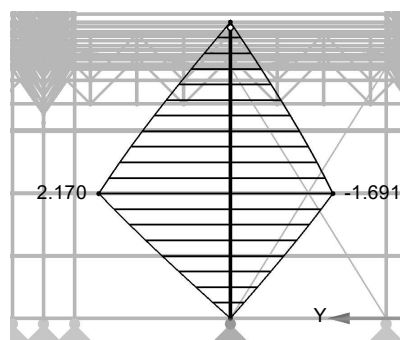


Obr. 90 - Navrhovaný prvek v axonometrii

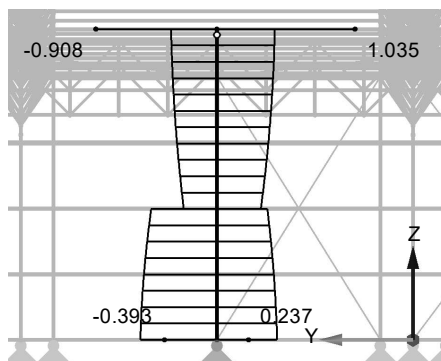
11.17.1 Vnitřní síly



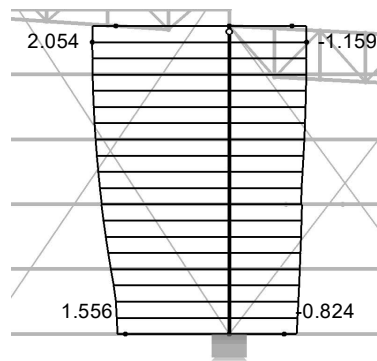
Obr. 91 - Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



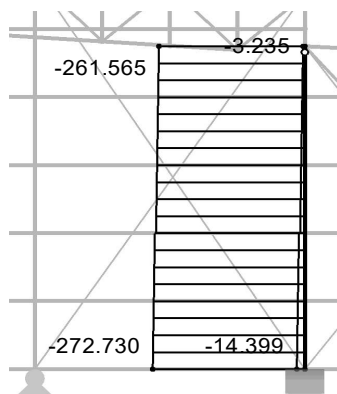
Obr. 92 - Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)



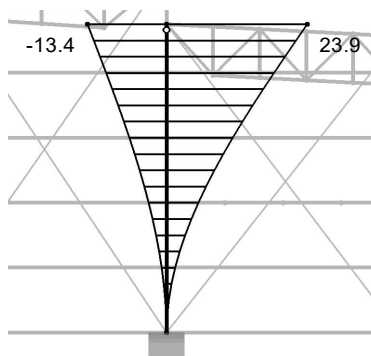
Obr. 93 - Posouvací síla V_y – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 94 - Posouvací síla V_z – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 95 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 96 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ25):

$$N_{Ed} = -251,713 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -13,597 \text{ kN}$$

11.17.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 498419 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 9500 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 3,920 * 10^7 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$



11.17.3 Posouzení průřezu

11.17.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{\sqrt{1,1^2 + 2,1^2}}{457} = 0,0 < 1,0$$

$$2,37 \text{ kN} < 457 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.17.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{9500 * 0,7 * 1}{103} * \frac{1}{76,41} = 0,844$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,966 + \sqrt{0,966^2 - 0,844^2}} = 0,697$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,844 - 0,2) + 0,844^2] = 0,966$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{9500 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 2,045$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,042 + \sqrt{3,042^2 - 2,045^2}} = 0,189$$



$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(2,045 - 0,2) + 2,045^2] = 3,042$$

c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 474,126 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1054000 * 355}{474,126 * 10^6}} = 0,888$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^2}} = \frac{1}{1,011 + \sqrt{1,011^2 - 0,888^2}} = 0,669$$

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,888 - 0,2) + 0,888^2] = 1,011$$

d) Interakční součinitele

Interakční součinitele jsou dopočteny v MS Excel a shodují se s hodnotami v programu Rfem (chyba je 1 %).

$$k_{yy} = 0,688$$

$$k_{zy} = 0,911$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 * \alpha_{s,y} = 0,2 + 0,8 * 0,560 = 0,648$$

$$M_{h,y} = -14,324 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -26,688 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{14,324}{26,688} = 0,560$$

$$\psi = 0$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{251713}{0,697 * 355 * 10600} + 0,688 * \frac{13,597 * 10^6}{0,669 * 1054000 * 355} = 0,14$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{251713}{0,189 * 355 * 10600} + 0,911 * \frac{13,597 * 10^6}{0,669 * 1054000 * 355} = 0,41$$

0,14 < 1,0
VYHOVUJE

0,41 < 1,0
VYHOVUJE



11.17.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{9500}{300} = 31,66 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 23,9 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{23,9}{31,66} = 0,76 \leq 1$$

$$0,76 < 1,0$$

VYHOVUJE

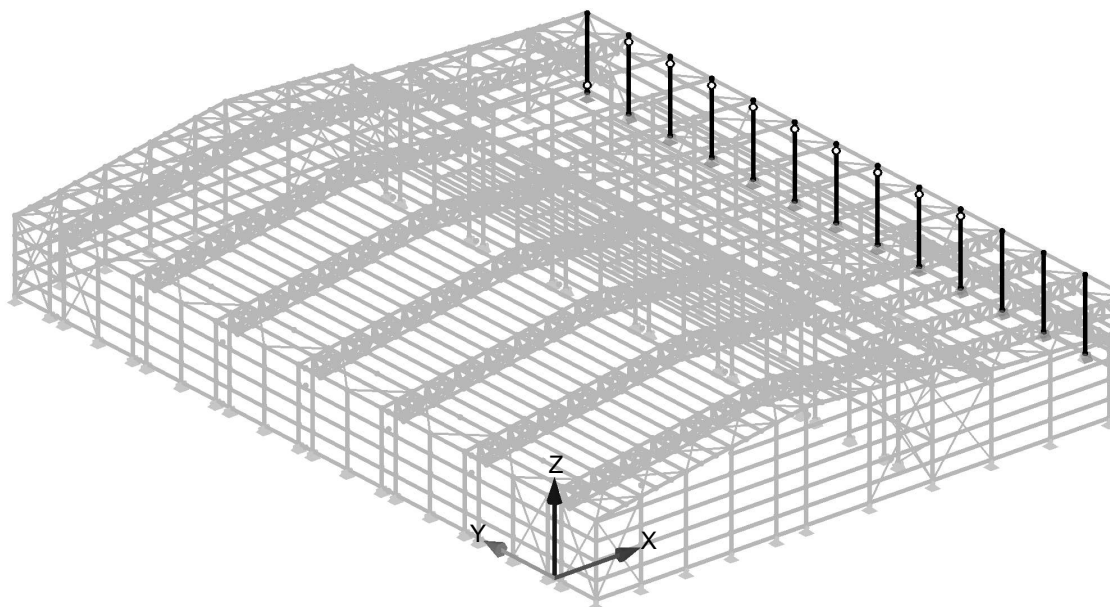
$$23,9 \text{ mm} < 31,66 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 76 %. (Využitelnost při MSÚ je malá, ale prvek je štíhlý $\frac{l}{i} = \frac{9500}{60,8} = 156,25$, z toho důvodu nesnižují řád průřezu.)

11.18 Sloup S7 (podélné sloupy zázemí)

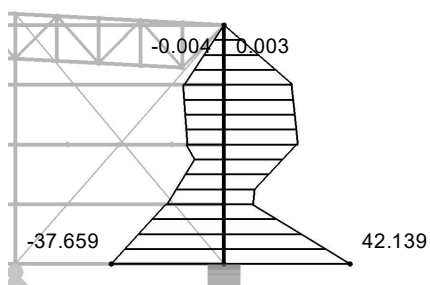
Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci klopení, smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná délka klopení rovna délce sloupu (8000 mm), vzpěrná délka ve směru x je rovna délce sloupu (8000 mm) a vzpěrná délka ve směru z je rovna 70 % délky sloupu (5600 mm).



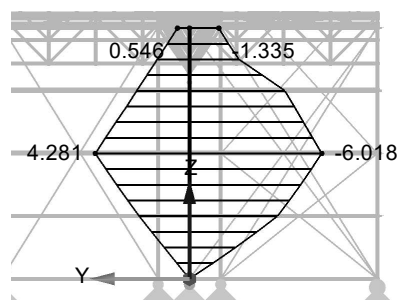
Obr. 97 - Navrhovaný prvek v axonometrii



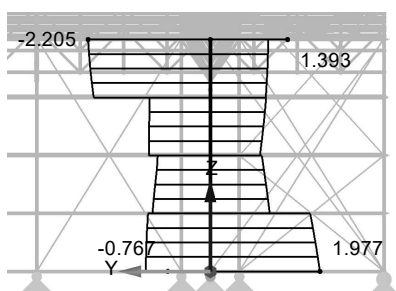
11.18.1 vnitřní síly



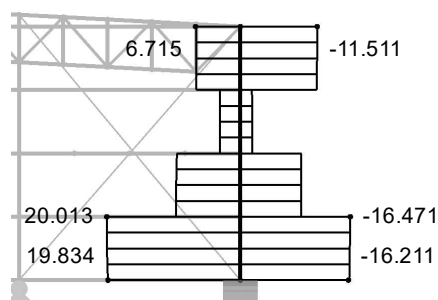
Obr. 98 - Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



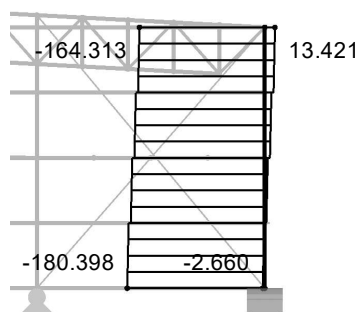
Obr. 99 - Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)



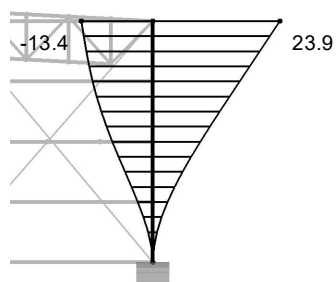
Obr. 100 - Posouvací síla V_y – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 101 - Posouvací síla V_z – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 102 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 103 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ53):

$$N_{Ed} = -136,875 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -35,627 \text{ kN}$$



11.18.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 498419 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 9500 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 3,920 * 10^7 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$

11.18.3 Posouzení průřezu

11.18.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{\sqrt{16,3^2 + 2^2}}{457} = 0,04 < 1,0$$

16,42 kN < 457 kN
VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.18.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 0,7 * 1}{103} * \frac{1}{76,41} = 0,711$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$



Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,590 + \sqrt{0,590^2 - 0,356^2}} = 0,777$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,711 - 0,2) + 0,711^2] = 0,840$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8000 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 1,722$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,355 + \sqrt{2,355^2 - 1,722^2}} = 0,252$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(1,722 - 0,2) + 1,722^2] = 2,355$$

c) Součinitel klopení

Pružný kritický moment při klopení:

$$M_{cr} = 449,036 \text{ kNm}$$

Kritický moment při klopení byl spočten pomocí Rfem modulu RF-STEEL EC3.

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1054000 * 355}{449,036 * 10^6}} = 0,913$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\Phi_{lt} + \sqrt{\Phi_{lt}^2 - \bar{\lambda}_{lt}^2}} = \frac{1}{1,038 + \sqrt{1,038^2 - 0,913^2}} = 0,623$$

$$\Phi_{lt} = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{lt} - 0,2) + \bar{\lambda}_{lt}^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,913 - 0,2) + 0,913^2] = 1,038$$

d) Interakční součinitele

Interakční součinitele jsou dopočteny v MS Excel a shodují se s hodnotami v programu Rfem (chyba je 1 %).

$$k_{yy} = 0,556$$

$$k_{zy} = 0,951$$



$$c_{my} = -0,8\alpha_s = 0,8 * 0,678 = 0,543$$

$$M_{h,y} = -35,626 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 24,171 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{s,y} = \frac{24,171}{-35,626} = -0,678$$

$$\psi = 0$$

e) Podmínka únosnosti pro kombinaci ohybu a osového tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{136875}{0,777 * 355 * 10600} + 0,556 * \frac{35,627 * 10^6}{0,623 * 1054000 * 355} = 0,14$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} = \frac{136875}{0,252 * 355 * 10600} + 0,951 * \frac{35,627 * 10^6}{0,623 * 1054000 * 355} = 0,29$$

$$0,14 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$0,29 < 1,0$$

VYHOVUJE

11.18.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{8000}{300} = 26,66 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 23,9 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{23,9}{26,66} = 0,90 \leq 1$$

$$0,90 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$23,9 \text{ mm} < 26,66 \text{ mm}$$

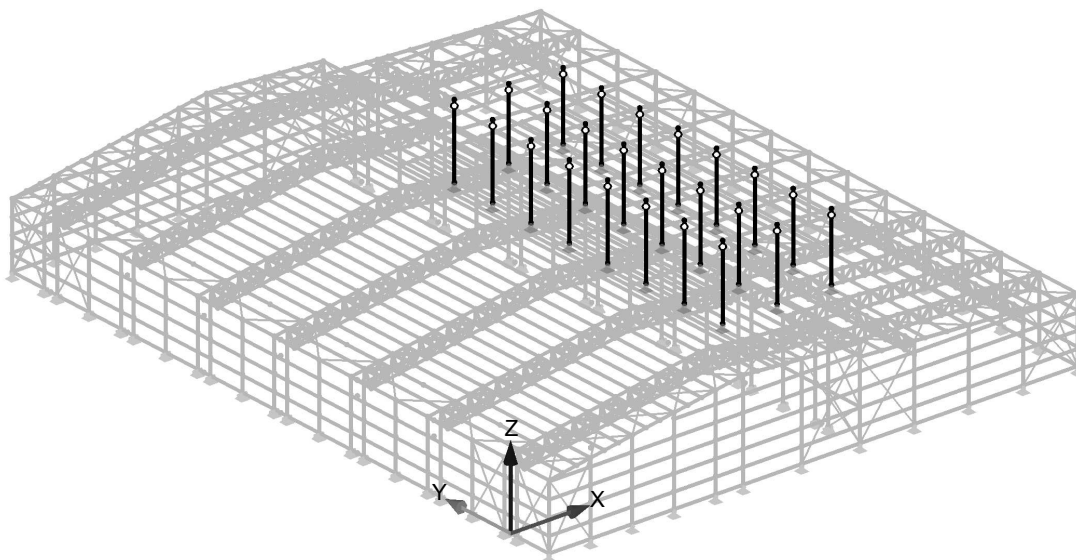
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 80 %.



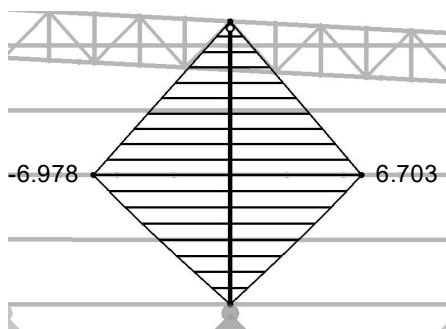
11.19 Sloup S8 (sloup zázemí)

Sloup bude průřezu HEB 240 z oceli S 355. Sloup je posouzen na kombinaci smyku a vzpěrného tlaku. U sloupu je uvažovaná vzpěrná délka 4000 mm.

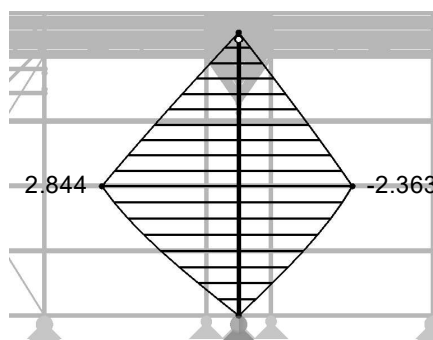


Obr. 104 - Navrhovaný prvek v axonometrii

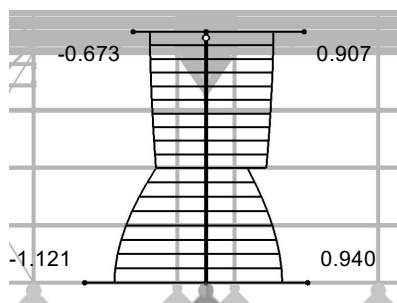
11.19.1 Vnitřní síly



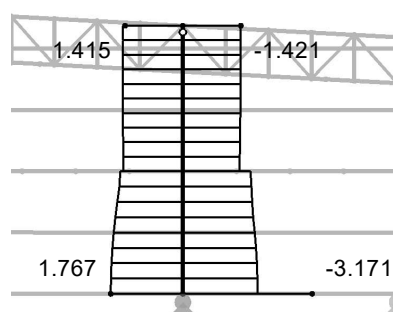
Obr. 105 - Ohybový moment M_y – Obálka MSÚ – (kNm)



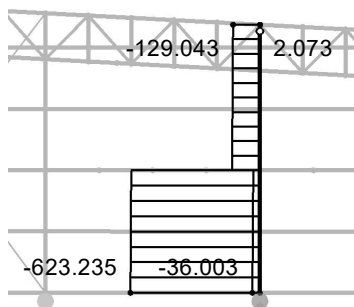
Obr. 106 - Ohybový moment M_z – Obálka MSÚ – (kNm)



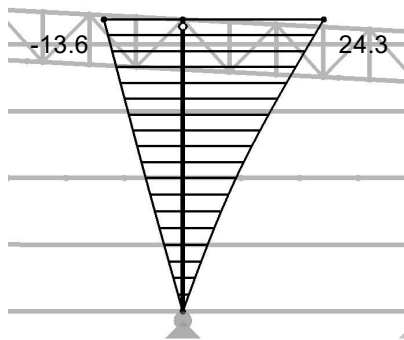
Obr. 107 - Posouvací síla V_y – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 108 - Posouvací síla V_z – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 109 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 110 - Vodorovná deformace – Zatížení větrem ve směru X+(0) – (mm)

Největší využitelnost průřezu je při kombinaci vnitřních sil (využitelnost zjištěna pomocí RF_STEEL EC3, největší využitelnost má průřez při kombinaci KZ20, všechny vnitřní síly kromě N_{Ed} jsou zanedbatelné, proto je prvek posouzen jen na vzpěrný tlak):

$$N_{Ed} = -623,235 \text{ kN}$$

11.19.2 Vstupní údaje HEB 240

Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 240 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr zaoblení	$r = 21 \text{ mm}$
Průřezová plocha	$A = 10600 \text{ mm}^2$
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z} = 2230 \text{ mm}^2$
Třída průřezu pásnice	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Třída průřezu stojny	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = 1054000 \text{ mm}^3$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z} = 498419 \text{ mm}^3$
Délka nosníku	$l = 9500 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti	$I_y = 1,126 * 10^8 \text{ mm}^4$
Moment setrvačnosti	$I_z = 3,920 * 10^7 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = 103 \text{ mm}$
Poloměr setrvačnosti	$i_z = 60,8 \text{ mm}$
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega = 4,869 * 10^{11} \text{ mm}^6$
Moment tuhosti v kroucení	$I_t = 1030000 \text{ mm}^4$



11.19.3 Posouzení průřezu

11.19.3.1 Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2230 * \frac{355}{\sqrt{3}}}{1} = 457 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ED}}{V_{RD}} = \frac{\sqrt{1,2^2 + 3,2^2}}{457} = 0,01 < 1,0$$

$$3,4 \text{ kN} < 457 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Jelikož V_{ED} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti, zanedbáváme její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osové síly.

11.19.3.2 Kombinace klopení a vzpěru

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,34 \text{ (křivka B)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cry}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4000 * 1}{103} * \frac{1}{76,41} = 0,508$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,681 + \sqrt{0,681^2 - 0,508^2}} = 0,881$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34(0,508 - 0,2) + 0,508^2] = 0,681$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,49 \text{ (křivka C)}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{crz}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4000 * 1}{60,8} * \frac{1}{76,41} = 0,861$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,032 + \sqrt{1,032^2 - 0,861^2}} = 0,624$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49(0,861 - 0,2) + 0,861^2] = 1,032$$



c) Podmínka únosnosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} = \frac{623233}{0,861 * 355 * 10600} = 0,20 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} = \frac{623233}{0,624 * 355 * 10600} = 0,27 < 1$$

0,20 < 1,0
VYHOVUJE

0,27 < 1,0
VYHOVUJE

11.19.3.3 Průhyb

$$w_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{4000}{300} = 13,33 \text{ mm}$$

$$w_{RFEM,max} = 13,0 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{RFEM,max}}{w_{lim}} = \frac{13,0}{13,33} = 0,98 \leq 1$$

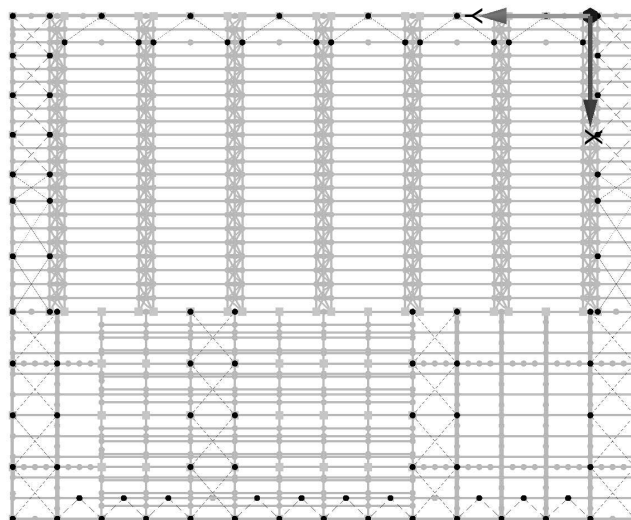
0,98 < 1,0
VYHOVUJE

13 mm < 13,33 mm
VYHOVUJE

Sloup průřezu HEB 240 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 98 %.

11.20 Střešní ztužidlo

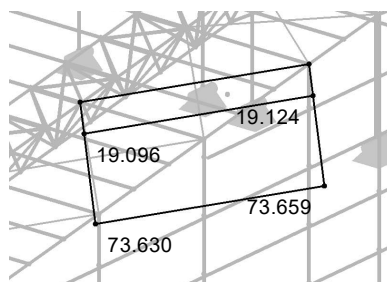
Střešní ztužidlo bude průřezu RO 60,3x3,2 z oceli S355. Působení střešního ztužidla se předpokládá pouze v tahu. Střešní ztužidlo je navrženo a posouzeno na maximální tahovou sílu.



Obr. 111 – Navrhovaný prvek v půdorysu



11.20.1 Vnitřní síly



Obr. 112 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

Průřez je navrhnout a posouzen na maximální normálovou sílu obálky MSÚ.

$$N_{Ed} = +73,659 \text{ kN}$$

11.20.2 Vstupní údaje RO 60,3x3,2

Vnější průměr	$d = 60,3 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 3,2 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 574 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 365,4 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 235000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 20,2 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 10400 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Maximální délka	$l = 7400 \text{ mm}$

11.20.3 Posouzení průřezu – tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{73659}{\frac{574 * 355}{1}} = 0,37 < 1,0$$

$$N_{Ed} = 73,7 < N_{Rd} = 203,7 \text{ kN}$$

$$0,37 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$73,7 \text{ kN} < 203,7 \text{ kN}$$

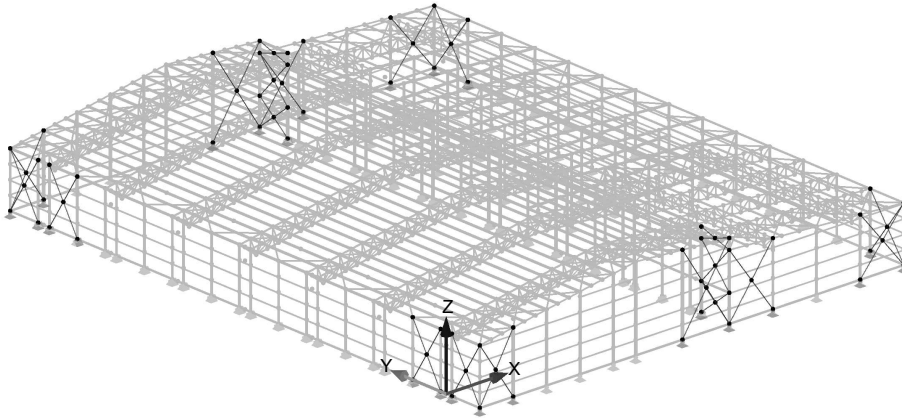
VYHOVUJE

Střešní ztužidlo průřezu RO 60,3x3,2 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 37 %. (Třídou průřezu i přes malou využitelnost nebudu snižovat, protože je prvek velice štíhlý $\frac{l}{i} = \frac{7400}{20,2} = 366,6$.)



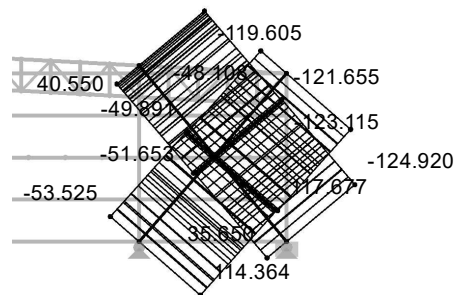
11.21 Stěnové ztužidlo

Stěnové ztužidlo bude průřezu RO 168,3x4,0 z oceli S355. Působí jak v tahu, tak v tlaku. Posouzeno bude na vzpěrný tlak, kde se předpokládá větší využitelnost než v tahu z důvodu vzpěru.



Obr. 113 – Navrhovaný prvek v axonometrii

11.21.1 Vnitřní síly



Obr. 114 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

Průřez je navrhnut a posouzen na maximální normálovou sílu obálky MSÚ.

$$N_{Ed,tlač} = -124,920 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,taz} = 119,452 \text{ kN}$$

11.21.2 Vstupní údaje RO 168,3x4

Vnější průměr	$d = 168,3 \text{ mm}$
Tloušťka stěny	$t = 4 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$A = 2060 \text{ mm}^2$
Účinná smyková plocha	$A_{v,y} = A_{v,z} = 1314,4 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti	$I_y = I_z = 6970000 \text{ mm}^4$
Poloměr setrvačnosti	$i_y = i_z = 58,1 \text{ mm}$
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 108000 \text{ mm}^3$
Třída průřezu	1 (zatřídění ohyb/tlak – dle Rfem)
Délka prutu	$l = 11200 \text{ mm}$



11.21.3 Posouzení průřezu – vzpěrný tlak

a) Vybočení kolmo k ose y-y

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$L_{cr,y} = \frac{0,9l}{2} = \frac{0,9 * 11200}{2} = 5040 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5040 * 1}{58,1} * \frac{1}{76,41} = 1,135$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose y-y:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,243 + \sqrt{1,243^2 - 1,135^2}} = 0,571$$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,21(1,135 - 0,2) + 1,135^2] = 1,243$$

b) Vybočení kolmo k ose z-z

$$\alpha = 0,21 \text{ (křivka A)}$$

Poměrná štíhlost:

$$L_{cr,z} = l * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,taž} * l_{taž}}{N_{Ed,tlač} * l_{tlač}}} = 11200 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{119,5}{125}} = 5958 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5958}{58,1} * \frac{1}{76,41} = 1,342$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

Součinitel imperfekce kolmo k ose z-z:

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,520 + \sqrt{1,520^2 - 1,342^2}} = 0,447$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,21(1,342 - 0,2) + 1,342^2] = 1,520$$



Využitelnost:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_{min} * A * f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{124920}{\frac{0,447 * 2060 * 355}{1}} = 0,39 < 1,0$$

$$N_{Ed} = 125 \text{ kN} < N_{Rd} = 326,8 \text{ kN}$$

$$0,39 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$125 \text{ kN} < 326,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Stěnové ztužidlo průřezu RO 168,3x4,0 VYHOVUJE na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 39 %. (Třidu průřezu i přes malou využitelnost nebudu snižovat, protože je prvek velice štíhlý $\frac{l}{i_i} = \frac{11200}{58,1} = 192,8$.)



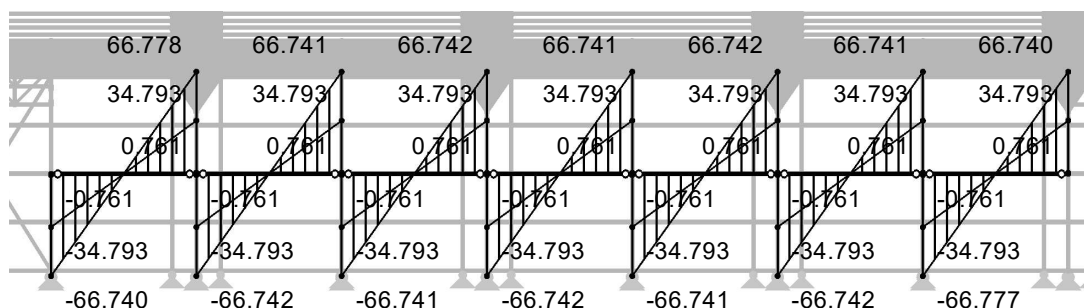
12 Návrh a posouzení vybraných spojů

Z důvodu rozsahu projektu byly pro výpočet vybrány jen tyto spoje:

- spoj stropnice zázemí k průvlaku zázemí (příloha [A], detail 1),
- spoj průvlaku zázemí k sloupu zázemí (příloha [A], detail 2),
- vetknutá patka sloupu pod prostorovým příhradovým vazníkem (příloha [D], detail 10),
- kloubová patka pod sloupem zázemí (příloha [A], detail 3),
- montážní spoj prostorového příhradového vazníku – horní pás (příloha [A], detail 4),
- montážní spoj prostorového příhradového vazníku – dolní pás (příloha [B], detail 5),
- spoj diagonály prostorového příhradového vazníku k hornímu a spodnímu pásu (příloha [C], detail 8),
- montážní spoj rovinného příhradového vazníku – horní pás (příloha [B], detail 7),
- montážní spoj rovinného příhradového vazníku – spodní pás (příloha [B], detail 6),
- spoj diagonály rovinného příhradového vazníku k hornímu a spodnímu pásu (příloha [D], detail 9),
- spoj vybraného ztužidla se sloupem.

12.1 Spoj stropnice zázemí k průvlaku zázemí

Stropnice zázemí bude s průvlakem zázemí spojena pomocí styčnickového plechu přivařeného k průvlaku a sadami šroubů. Detail spoje je k nalezení v příloze [A], detail 1.



Obr. 115 - Smyková síla – Obálka MSÚ – (kN)

12.1.1 Šroub M16 – 8.8

Plocha dříku	$A_s = 157 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 16 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 18 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

12.1.2 Plech P10 – S355

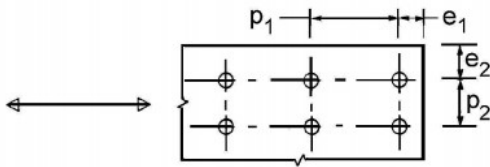
Tloušťka plechu	$t_p = 10 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 510 \text{ MPa}$



12.1.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 18 = 43,2 \text{ mm}$$

Skutečné rozteče:

$$e_{1,skut} = 35 \text{ mm}$$

$$p_{1,skut} = 60 \text{ mm}$$

b) Posouzení únosnosti plechu

$$\sigma_p = \frac{M_{Ed,p}}{W_p} = \frac{e * V_{Ed}}{\frac{1}{6} * b_p * h_p^2} = \frac{120 * 66,8 * 10^3}{\frac{1}{6} * 10 * 120^2} = 334 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = 334 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_p}{f_y} = \frac{334}{355} = 0,94$$

$$0,94 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$334 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

c) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 157}{1,25} = 60,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro třídu oceli 8.8)}$$

$$n = 2 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 2 * 60,2 = 120,4 \text{ kN} > V_{Ed} = 66,8 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{66,8}{120,4} = 0,56$$

$$0,56 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$66,8 \text{ kN} < 120,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



d) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,55 * 490 * 16 * 5,3}{1,25} = 45,7$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{510} = 1,57; 1,0; \frac{35}{3 * 18} = 0,555 \right\} = 0,55$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

$n = 2$ (počet šroubů)

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 2 * 45,7 = 91,4 \text{ kN} > V_{Ed} = 66,8 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{66,8}{91,4} = 0,38$$

$$0,74 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$66,8 \text{ kN} < 91,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

e) Únosnost svaru plech/IPE330

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 * l * a} = \frac{66,8 * 10^3}{2 * 130 * 5} = 51,38 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{(e * V_{Ed})}{\frac{1}{6} * b_s * h_s^2 * 2} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{120 * 66,8 * 10^3}{\frac{1}{6} * 5 * 130^2 * 2} = 201,24 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{201,24^2 + 3(201,24^2 + 51,38^2)} = 412,2 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{412,2}{435,5} = 0,95$$

$$0,95 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$412,2 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

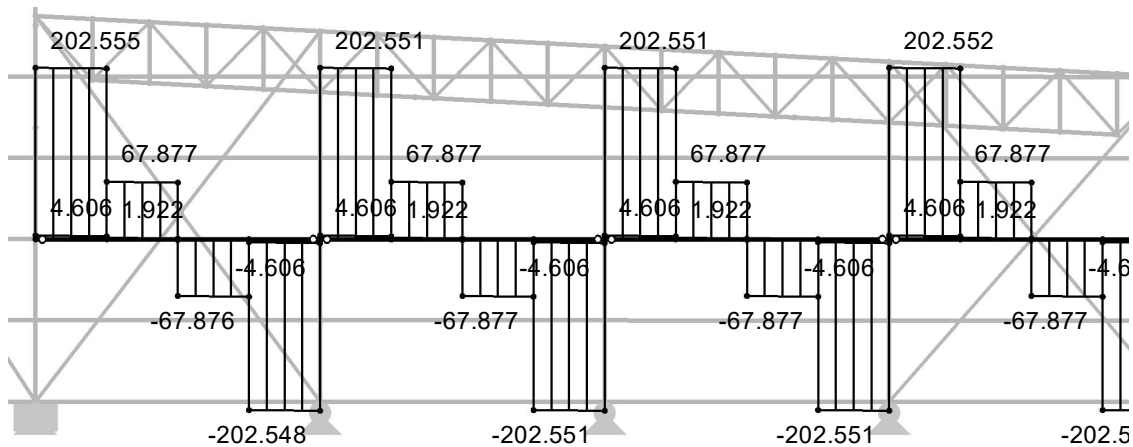
VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 94 % (k největší využitelnosti dochází v plechu).



12.2 Spoj průvlaku zázemí ke sloupu zázemí

Průvlak zázemí bude se sloupem zázemí spojen pomocí styčnickového plechu přivařeného ke sloupu a sadami šroubů. Detail spoje je k nalezení v příloze [A], detail 2.



Obr. 116 - Smyková síla – Obálka MSÚ – (kN)

12.2.1 Šroub M16 – 8.8

Plocha dřívku	$A_s = 157 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 16 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 18 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

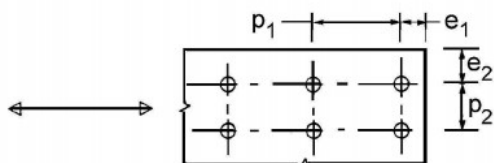
12.2.2 Plech P10 – S355

Tloušťka plechu	$t_p = 10 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 510 \text{ MPa}$

12.2.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 18 = 43,2 \text{ mm}$$

Skutečné rozteče:

$$e_{1,skut} = 40 \text{ mm}$$

$$p_{1,skut} = 60 \text{ mm}$$



b) Posouzení únosnosti plechu

$$\sigma_p = \frac{M_{Ed,p}}{W_p} = \frac{e * V_{Ed}}{\frac{1}{6} * b_p * h_p^2} = \frac{50 * 202,6 * 10^3}{\frac{1}{6} * 10 * 260^2} = 90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = 90 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_p}{f_y} = \frac{90}{355} = 0,26$$

0,26 < 1,0
VYHOVUJE

90 MPa < 355 MPa
VYHOVUJE

c) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 157}{1,25} = 60,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro třídu oceli 8.8)}$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 4 * 60,2 = 240,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 202,6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{202,6}{240,8} = 0,85$$

0,85 < 1,0
VYHOVUJE

202,6 kN < 240,8 kN
VYHOVUJE

d) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 490 * 16 * 7,5}{1,25} = 87 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{510} = 1,57; 1,0; \frac{40}{3 * 18} = 0,74 \right\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 4 * 87 = 348 \text{ kN} > V_{Ed} = 202,6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{202,6}{348} = 0,59$$

0,59 < 1,0
VYHOVUJE

202,6 kN < 348 kN
VYHOVUJE



e) Únosnost svaru plech s IPE330:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 * l * a} = \frac{202,6 * 10^3}{2 * 260 * 5} = 78 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{(e * V_{Ed})}{\frac{1}{6} * b_s * h_s^2 * 2} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{50 * 202,6 * 10^3}{\frac{1}{6} * 5 * 260^2 * 2} = 63,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{63,6^2 + 3(63,6^2 + 78^2)} = 185,6 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25}$$

$$= 453,33 \text{ MPa}$$

$$\frac{185,6}{435,5} = 0,41$$

$$0,43 < 1,0$$

VYHOVUJE

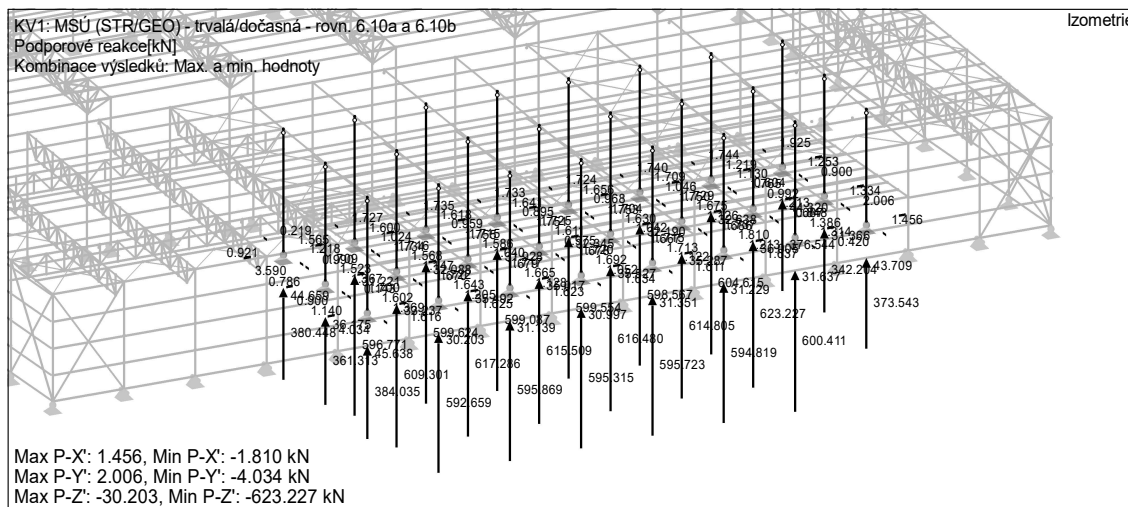
$$185,6 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 85 % (k největší využitelnosti dochází u šroubu).

12.3 Kloubová patka pod sloupem zázemí

Připojení sloupu zázemí k základové patce bude řešené přes patní plech a chemické kotvy. Detail je k nalezení v příloze [A], detail 3.



Obr. 117 - Reakce – Obálka MSÚ – (kN)

12.3.1 Patka

Výška	$h = 800 \text{ mm}$
Délka	$l = 2400 \text{ mm}$
Šířka	$b = 2400 \text{ mm}$
Beton	C20/25
Výztuž	B500B



12.3.2 Beton C20/25

Pevnost v tlaku $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$

12.3.3 Připojovací plech

Třída oceli S355
Tloušťka plechu $tl. : 30 \text{ mm}$

12.3.4 Posouzení prvků

a) Tlaková únosnost

Rozměry betonové patky:

$$h = 800 \text{ mm}; l = 2400 \text{ mm}; b = 2400 \text{ mm}$$

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min\{3a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 400; 400 + 800; 2400\} = 1200 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 400; 400 + 800; 2400\} = 1200 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{1200 * 1200}{400 * 400}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu:

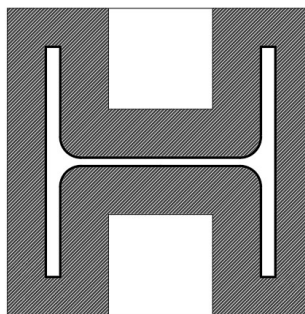
$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{3 * 20}{1,5} = 26,66 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd}}} = 30 * \sqrt{\frac{355}{3 * 26,66}} = 63,20$$

Efektivní plocha:

$$A_{eff} = 124232 \text{ mm}^2 \text{ (stanovena graficky)}$$





Únosnost patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 124232 * 26,66 = 3312 \text{ kN} > N_{Ed} = 623,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{623,3}{3312} = 0,19$$

$$0,19 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$623,3 \text{ kN} < 3312 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

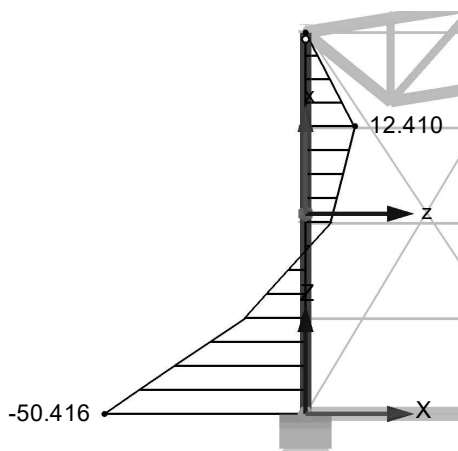
b) Posouzení ve smyku

Vzhledem k nízké smykové síle není nutná smyková zarážka ani posuzovat svar ocelového profilu s patním plechem, jednotlivé komponenty na smykovou sílu bezpečně vyhoví.

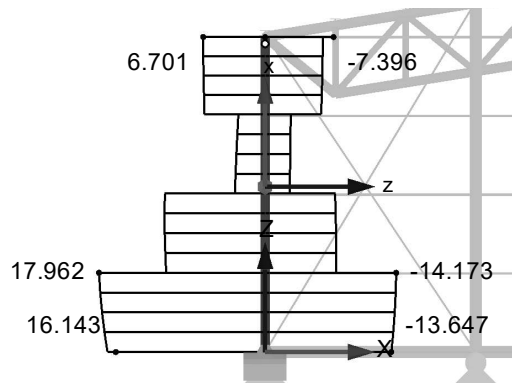
Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 19 %.

12.4 Vetknutá patka pod sloupem prostorového příhradového nosníku

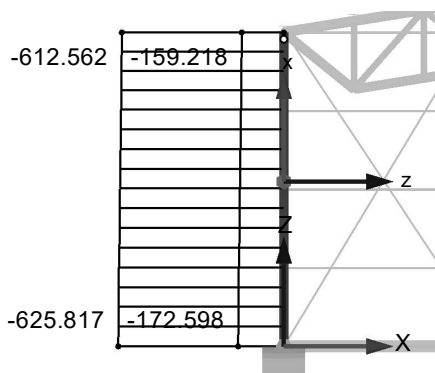
Jedná se o patku vetknutou v jednom směru, spoj bude navržen na kombinaci maximálních a minimálních vnitřních sil obálky MSÚ. Pro spoj bude použita vetknutá patka s výztuhami. Detail spoje je k nalezení v příloze [D], detail 10.



Obr. 118 - Ohybový moment – KZ35 – (kNm)



Obr. 119 – Posouvací síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 120 – Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

12.4.1 Patka

Výška	$h = 800 \text{ mm}$
Délka	$l = 2400 \text{ mm}$
Šířka	$b = 2400 \text{ mm}$
Beton	C20/25
Výztuž	B500B

12.4.2 Beton C20/25

Pevnost v tlaku	$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu	$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$

12.4.3 Připojovací plech

Třída oceli	S355
Tloušťka plechu	$tl. : 30 \text{ mm}$

12.4.4 Posouzení prvků

a) Tlaková únosnost

Rozměry betonové patky:

$$h = 800 \text{ mm}; l = 2600 \text{ mm}; b = 2000 \text{ mm}$$

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min\{3a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 400; 400 + 800; 2600\} = 1200 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 430; 430 + 800; 2000\} = 1230 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{1200 * 1230}{400 * 430}} = 2,93$$



Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{2,93 * 20}{1,5} = 26,04 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd}}} = 30 * \sqrt{\frac{355}{3 * 26,04}} = 63,95$$

Efektivní plocha:

$$A_{eff} = 122345 \text{ mm}^2 \text{ (stanovena graficky)}$$

Únosnost patky na tlak:

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 122345 * 26,04 = 3185,8 \text{ kN} > N_{Ed} = 625,9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{625,9}{3185,8} = 0,20$$

$$0,20 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$625,9 \text{ kN} < 3185,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Účinná šířka patního plechu:

$$b_{eff} = 2 * 15 + 4 * c = 2 * 15 + 4 * 63,95 = 285,8$$

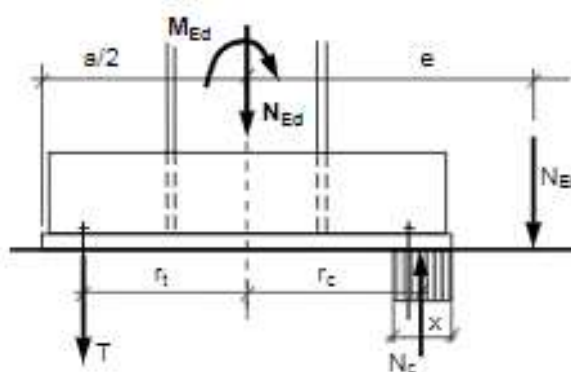
Excentricita působíště normálové síly:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{50,5 * 10^6}{625,9 * 10^3} = 80,9 \text{ mm}$$

Délka tlačené oblasti:

$$N_{Ed} * (e + r_t) = N_c \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} * f_{jd}$$



$$b_{eff} * f_{jd} * x^2 - b_{eff} * f_{jd} * (2r_t + a) * x + 2N_{Ed}(e + r_t) = 0$$

$$285,8 * 26,04 * x^2 - 285,8 * 26,04 * (2 * 160 + 400) * x + 2 * 625900 * (80,9 + 160) = 0$$

$$x_1 = 658,46 \text{ mm (postráda smysl)}$$

$$x_2 = 61,53 \text{ mm}$$

Síla v tlačené části vetknuté patky:

$$N_c = 285,8 * 61,53 * 26,04 = 457,92 \text{ kN}$$



Síla do kotevních šroubů:

$$T = N_c - N_{Ed} = 457,92 - 625,9 \text{ kN (nedochází k tahu ve šroubech)}$$

V žádném šroubu patky nedochází k tahu. Výpočet byl porovnáván i s ostatními zatěžovacími stavy, ale z důvodu podobného poměru normálové síly, momentu a posouvací síly se excentricita skoro nemění. Taktéž v žádném ze šroubů nedojde k tahu.

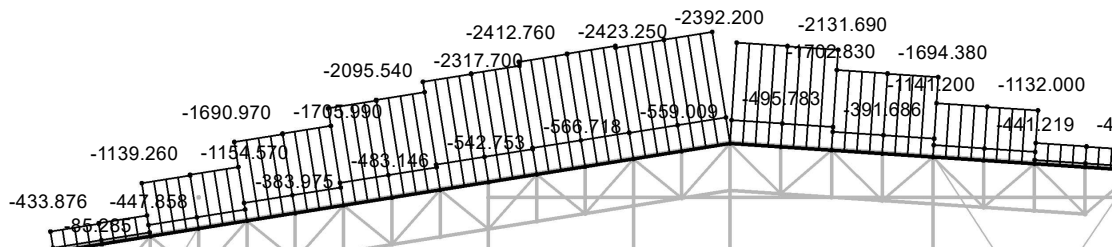
b) Posouzení ve smyku

Tření mezi ocelovým plechem a betonem je dostatečné pro zajištění stability a není důvod navrhovat smykovou zarážku.

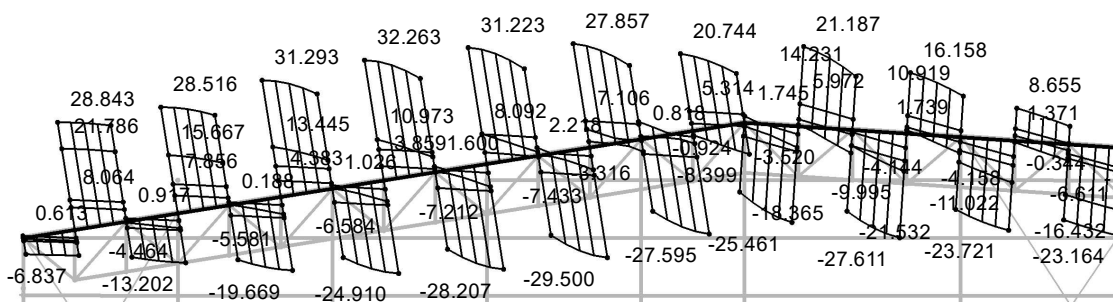
Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 19 %.

12.5 Montážní spoj prostorového příhradového nosníku v horním pásu.

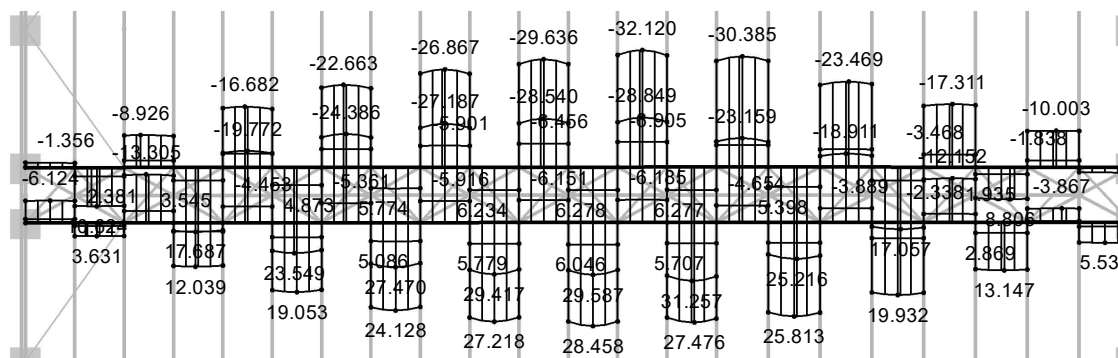
Montážní spoj horního pásu prostorového příhradového nosníku bude řešen pomocí přivařené příruby a sady šroubů. V horním pásu je tlaková osová síla a ve spoji se plechy do sebe opřou, proto není důvod tento spoj navrhovat na tah. Ve spoji ale vzniká smyková síla, proto bude tento spoj posouzen na největší smykovou sílu, ke které na horním pásu dochází. Montážní spoj spodního pásu je k nalezení v příloze [A], detail 4.



Obr. 121 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 122 - Posouvací síla ve směru VZ – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 123 - Posouvací síla ve směru VY – Obálka MSÚ – (kN)

12.5.1 Šroub M20 – 8.8

Plocha dřívku	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 20 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 22 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

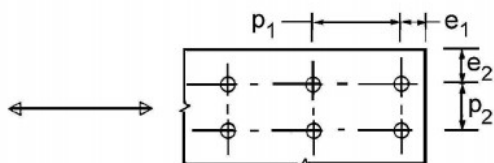
12.5.2 Plech P20 – S355

Tloušťka plechu	$t_p = 20 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$

12.5.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 22 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 22 = 52,8 \text{ mm}$$

Skutečné rozteče:

$$e_{1,skut} = 80 \text{ mm}$$

$$p_{1,skut} = 360 \text{ mm}$$

$$e_{2,skut} = 50 \text{ mm}$$

$$p_{2,skut} = 600 \text{ mm}$$



b) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

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

$\alpha_v = 0,6$ (pro třídu oceli 8.8)

$n = 4$ (počet šroubů)

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 4 * 94,08 = 376,3 \text{ kN} > V_{Ed} = \sqrt{32,3^2 + 32,2^2} = 45,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{45,7}{376,3} = 0,12$$

$$0,12 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$45,7 \text{ kN} < 376,3 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

c) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,7 * 490 * 20 * 20}{1,25} = 274,4 \text{ kN}$$

$\alpha_b = 0,7$ (zjednodušená úvaha)

$k_1 = 2,5$ (zjednodušená úvaha)

$n = 4$ (počet šroubů)

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 4 * 274,4 = 1097,6 \text{ kN} > V_{Ed} = 32,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{32,2}{1097,6} = 0,03$$

$$0,03 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$32,2 \text{ kN} < 1097,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

d) Únosnost svaru plech/trubka

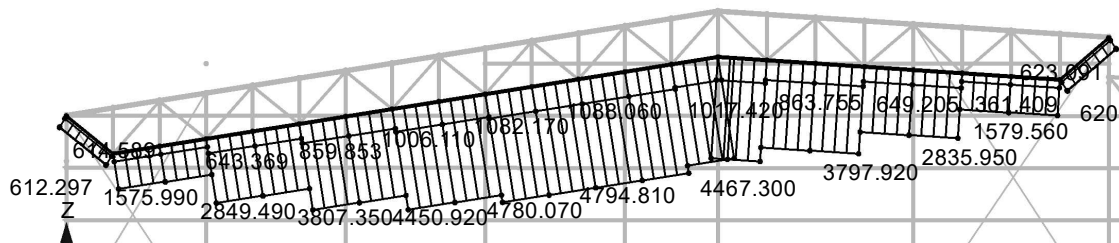
Vzhledem k velikosti trubky a posouvacích sil svar tl. 6 mm bezpečně vyhovuje.

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 9 % (k největší využitelnosti dochází u šroubu).

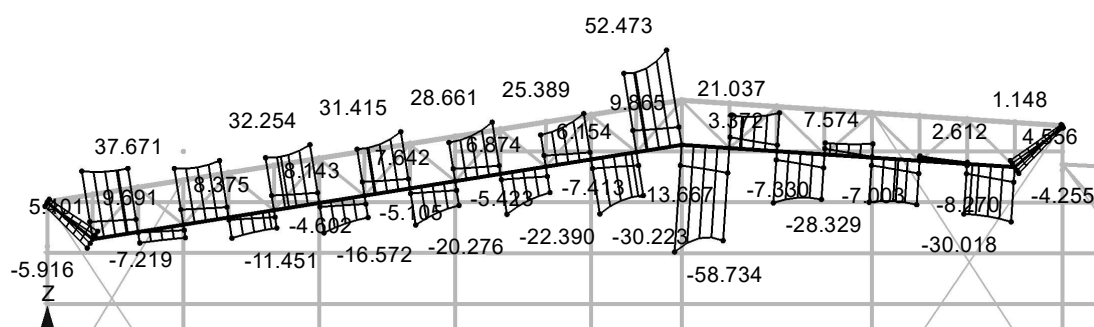


12.6 Montážní spoj prostorového příhradového nosníků ve spodním pásu

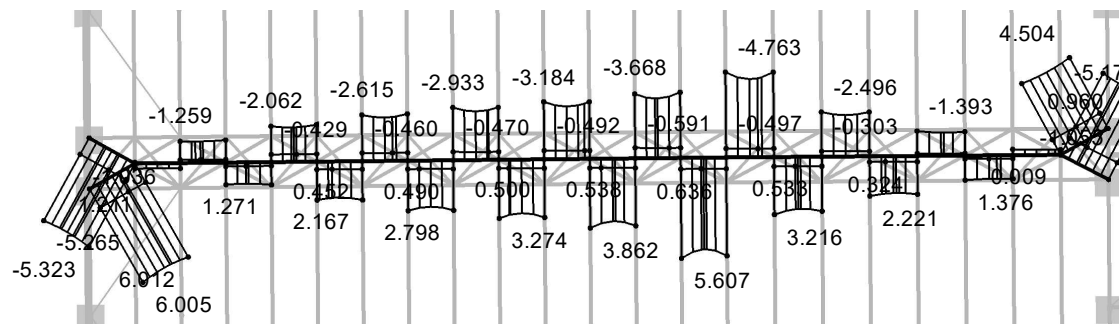
Montážní spoj spodního pásu prostorového příhradového nosníku bude řešen pomocí přivařené příruby a sady šroubů. Montážní spoj spodního pásu je k nalezení v příloze [B], detail 5.



Obr. 124 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 125 - Posouvací síla ve směru VZ – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 126 - Posouvací síla ve směru VY – Obálka MSÚ – (kN)

12.6.1 Šroub M30 – 8.8

Plocha dřívku	$A_s = 561 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 30 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 23 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$



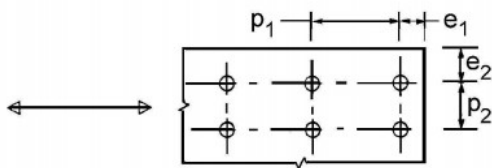
12.6.2 Plech P35 – S355

Tloušťka plechu	$t_p = 35 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$

12.6.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,\min} = 1,2d_0 = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2d_0 = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} = 2,2d_0 = 2,2 * 33 = 72,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,\min} = 2,4d_0 = 2,4 * 33 = 79,2 \text{ mm}$$

b) Návrh tloušťky plechu

Minimální tl. plechu:

$$t_e = 4,3 * \left(b * \frac{d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 * \left(75 * \frac{30^2}{75} \right)^{\frac{1}{3}} = 46 \text{ mm} \Rightarrow t_p = 50 \text{ mm}$$

Zvětšující silový součinitel:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 * \frac{t_e^3 * t^3}{d^2} = 1$$

c) Posouzení únosnosti šroubů v tahu

Tahová síla:

$$N_{t,d} = \gamma_p * N_{Ed} = 1 * 4794,9 = 4794,9 \text{ kN} < n * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 800 * 561}{1,25} = 323,1 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0,9 \text{ (šrouby nejsou zapuštěné)}$$

$$n = 15 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{t,Rd,c} = n * F_{t,Rd} = 15 * 323,1 = 4846,5 \text{ kN} > N_{t,d} = 4794,9 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{4794,9}{4846,5} = 0,99$$

$$0,99 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$4794,9 \text{ kN} < 4846,5 \text{ kN}$$

VYHOVUJE



d) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 561}{1,25} = 215,4 \text{ kN}$$

$\alpha_v = 0,6$ (pro třídu oceli 8.8)

$n = 15$ (počet šroubů)

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 15 * 215,4 = 3231 \text{ kN} > V_{Ed} = \sqrt{58,8^2 + 5,7^2} = 59,1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{59,1}{3231} = 0,02$$

$$0,02 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$59,1 \text{ kN} < 3231 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

e) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,7 * 490 * 30 * 35}{1,25} = 720,3 \text{ kN}$$

$\alpha_b = 0,7$ (zjednodušená úvaha)

$k_1 = 2,5$ (zjednodušená úvaha)

$n = 15$ (počet šroubů)

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 15 * 720,3 = 10804 \text{ kN} > V_{Ed} = 59,1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd,cel}} = \frac{59,1}{10804} = 0,01$$

$$0,01 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$59,1 \text{ kN} < 11245,5 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

f) Únosnost svaru plech/trubka

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 * l * a} = \frac{59,1 * 10^3}{2 * 244,5 * 6} = 20,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{N_{t,d}}{a_w * \pi * d_t} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{4794,9 * 10^3}{22 * \pi * 244,5} = 200 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{200^2 + 3(200^2 + 20,14^2)} = 401,6 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{401,6}{435,5} = 0,93$$

$$0,93 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$401,6 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

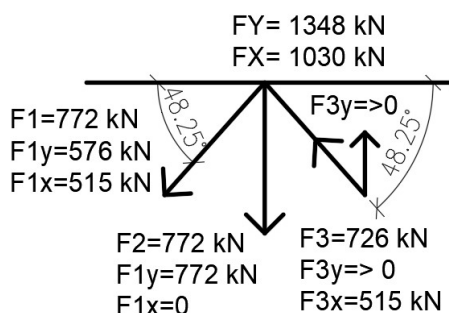
VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 99 % (k největší využitelnosti dochází u šroubu).



12.7 Spoj diagonál a horního pásu prostorového příhradového nosníku

Spoj diagonál a horního pásu prostorového příhradového nosníku bude řešen pomocí přípojného plechu, šroubů a styčnickového plechu. Výpočet spoje diagonál s horními pásy prostorového příhradového nosníku je zjednodušen a počítám s největšími vnitřními silami, které se v diagonálách nacházejí (normálová síla je řádově větší než ostatní vnitřní síly, které proto zanedbávám). Pro návrh svaru styčnickového plechu k hornímu pásu uvažuji, že jsou dvě diagonály tažené, jedna tlačенá, přičemž u tlačенé zanedbávám svislou složku síly (u diagonál horního pásu jsou například obě tlačенé a vnitřní síly pro návrh svaru by se mezi sebou odečítaly, sílu tedy otočím a použiji maximální osové síly tah/tlak, čímž nemusím každý jednotlivý styčník navrhovat zvlášť – tento návrh bude konzervativní). Jelikož je spoj navržen na největší osové síly a úhly diagonál jsou stále stejné, lze stejné komponenty použít ve všech styčnicích prostorového příhradového nosníku. Jediné, co se u styčnicku bude lišit, bude tvar styčnického plechu a délka jeho svaru. Ve výpočtu je uvedena minimální délka svaru styčnického plechu k hornímu pásu. Spoj je k nalezení v příloze [C], detail 8.



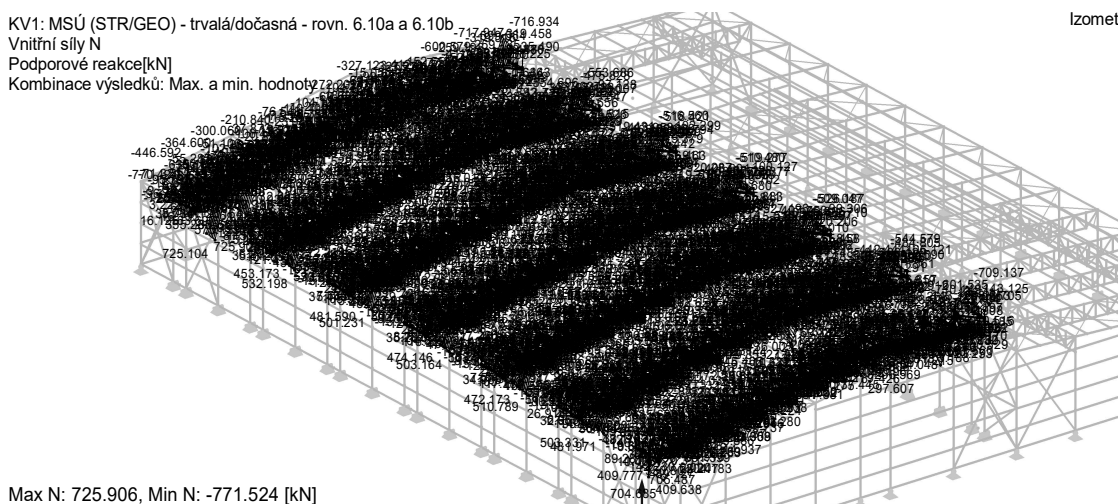
Konzervativní úvaha vnitřních sil, na které je posouzen svar styčnickového plechu a pásu prostorového příhradového nosníku

X-vodorovný směr

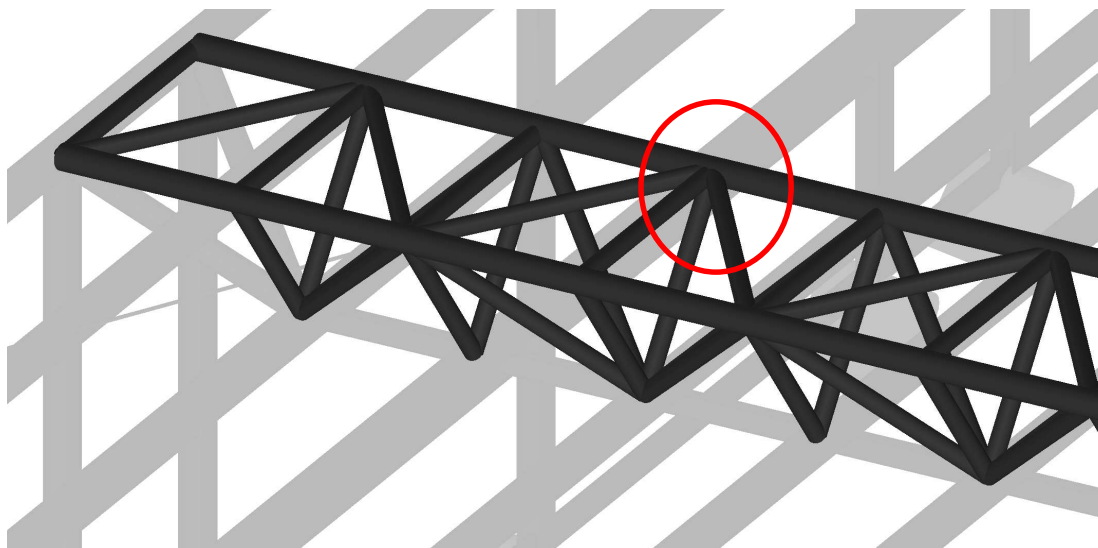
Y-svislý směr

KV1: MSÚ (STR/GEO) - trvalá/dočasná - rovn. 6.10a a 6.10b -716.934
Vnitřní síly N -717.885, 319.458
Podporové reakce [kN] -609.576, 319.458, 319.458
Kombinace výsledků: Max. a min. hodnoty 772.000, 772.000, 319.458

Izometri



Obr. 127 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)



Obr. 128 - Počítané místo

12.7.1 Šroub M30 – 8.8

Plocha dříku	$A_s = 561 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 30 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 23 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

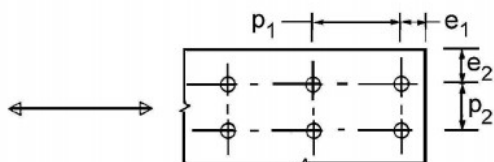
12.7.2 Plech P25 a P15 – S355

Tloušťka plechu 1	$t_p = 25 \text{ mm}$
Tloušťka plechu 2	$t_p = 15 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MP}$

12.7.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_o = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_o = 2,2 * 33 = 72,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_o = 2,4 * 33 = 79,2 \text{ mm}$$



b) Svar diagonály s přípojným plechem

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{vd}}{4 * a * l} = \frac{772 * 10^3}{4 * 6 * 140} = 138 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0 + 3 * (0 + 230^2)} = 398,37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{398,37}{435,5} = 0,92$$

$$0,92 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$398,37 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

c) Ověření únosnosti spojovacích plechů

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{A} = \frac{772 * 10^3}{25 * 180 - 2 * 33 * 25} = 270,9 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{270,9}{355} = 0,42$$

$$0,77 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$270,9 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

d) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

$$F_{v,Rd,1} = 2 * \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0,6 * 800 * 561}{1,25} = 430,8 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro třídu oceli 8.8)}$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 4 * 430,8 = 1723,2 \text{ kN} > F_{Ed} = 772 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{772}{1723,2} = 0,45$$

$$0,45 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$772 \text{ kN} < 1723,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

e) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,69 * 0,4 * 490 * 30 * 25}{1,25} = 198,7 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{490} = 1,63; 1,0; \frac{40}{3 * 33} = 0,4 \right\} = 0,4$$



$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{1,69; 2,54; 2,5\} = 1,69$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 4 * 198,7 = 794,8 \text{ kN} > F_{Ed} = 772 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{772}{794,8} = 0,97$$

$$0,96 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$772 \text{ kN} < 794,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

f) Minimální délka styčnickového svaru při styku tří prvků

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_Y}{2 * a * l} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{1348 * 10^3}{2 * 6 * 700 + 25 * 700} = 36,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_X}{2 * a * l} = \frac{1030 * 10^3}{2 * 6 * 700 + 25 * 700} = 39,8 \text{ MPa}$$

$$\left(\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 435,5 \Rightarrow l_{min} = 120 \text{ mm} \right)$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{36,8^2 + 3 * (36,8^2 + 39,8^2)} = 100,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{100,9}{435,5} = 0,24$$

(Délka koutového svaru styčnickového plechu a pásu prostorového příhradového nosníku musí být min 120 mm.)

$$0,24 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$435,3 \text{ MPa} < 453,3 \text{ MPa}$$

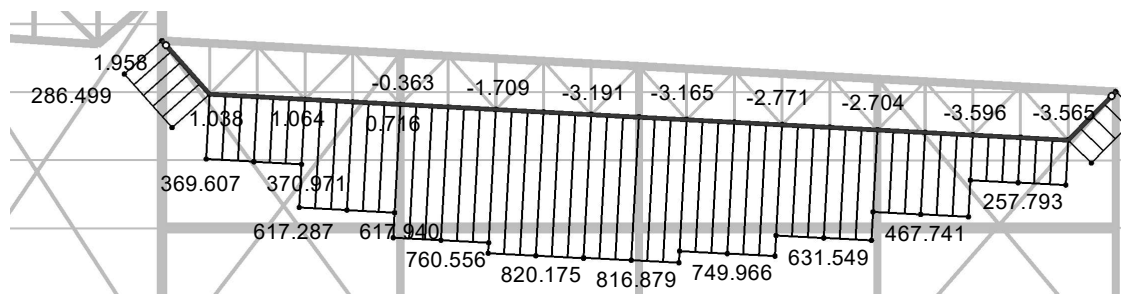
VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 96 %.



12.8 Montážní spoj rovinného příhradového nosníku spodního a horního pásu.

Montážní spoj horního a spodního pásu rovinného příhradového nosníku bude řešen pomocí přivařené příruby a sady šroubů. Montážní spoj pro spodní a horní pás bude stejný a je navržený na největší tahovou sílu v pásech (nachází se uprostřed spodního pásu, horní pás je také částečně tažený). Montážní spoj horního pásu je k nalezení v příloze [B], detail 7, montážní spoj spodního pásu je k nalezení v příloze [B], detail 6.



Obr. 129 - Normálová síla – Obálka MSÚ – (kN)

12.8.1 Šroub M24 – 8.8

Plocha dříku	$A_s = 353 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 24 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 26 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

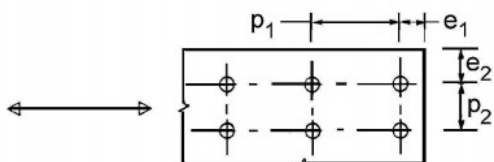
12.8.2 Plech P20 – S355

Tloušťka plechu	$t_p = 20 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$

12.8.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 26 = 31,2 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 26 = 57,2 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 26 = 62,4 \text{ mm}$$



b) Návrh tloušťky plechu

Minimální tl. plechu:

$$t_e = 4,3 * \left(b * \frac{d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 * \left(35 * \frac{24^2}{35} \right)^{\frac{1}{3}} = 35,77 \text{ mm} \Rightarrow t_p = 20 \text{ mm}$$

Zvětšující silový součinitel:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 * \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 * \frac{35,77^3 - 20^3}{30^2} = 1,21$$

c) Posouzení únosnosti šroubů v tahu

Tahová síla:

$$N_{t,d} = \gamma_p * N_{Ed} = 1,21 * 820,2 = 992,5 \text{ kN} < n * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 800 * 353}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

$k_2 = 0,9$ (šrouby nejsou zapuštěné)

$n = 6$ (počet šroubů)

$$F_{t,Rd,c} = n * F_{t,Rd} = 6 * 203,3 = 1219,8 \text{ kN} > N_{t,d} = 992,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,d}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{992,5}{1219,8} = 0,82$$

$$0,82 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$992,5 \text{ kN} < 1219,8 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

d) Posouzení únosnosti šroubů ve stříhu

Využitelnost šroubů ve stříhu je zanedbatelná.

e) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

Využitelnost šroubů ve stříhu je zanedbatelná.

f) Únosnost svaru plech/trubka

$$\tau_b = \sigma_b = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{N_{t,d}}{a_w * \pi * d_t} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{820,2 * 10^3}{6(\pi * 88,9 + 6 * 2 * 40)} = 127,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_b^2 + 3(\tau_b^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{127,3^2 + 3(127,3^2 + 0^2)} = 254,7 \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{254,7}{435,5} = 0,60$$

$$0,60 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$254,7 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

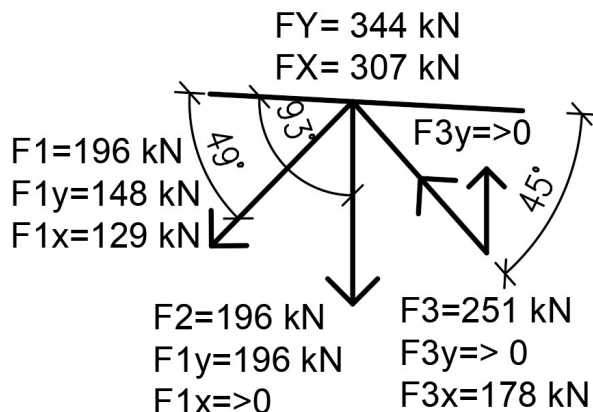
VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 82 % (k největší využitelnosti dochází u svaru).



12.9 Spoj diagonál s pásy rovinného příhradového nosníku

Spoj diagonál k pásům rovinného příhradové nosníku bude řešen pomocí přípojného plechu, šroubů a styčnickového plechu. Spoj je k nalezení v příloze [D], detail 9. V detailu je vyobrazen přípoj diagonál k hornímu pásu nosníku. Přípoj diagonál ke spodnímu pásu nosníku bude vypadat obdobně, jediná změna je tl. stěny pásu.



Konzervativní úvaha vnitřních sil, na které je posouzen svar styčnickového plechu a pásu rovinného příhradového nosníku.

X-vodorovný směr

Y-svislý směr

12.9.1 Šroub M30 – 8.8

Plocha dříku	$A_s = 245 \text{ mm}^2$
Průměr šroubu	$d = 20 \text{ mm}$
Průměr otvoru	$d_o = 22 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

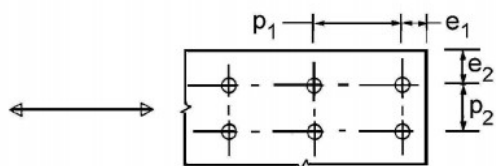
12.9.2 Plech P10 a P10 – S355

Tloušťka plechu 1	$t_p = 10 \text{ mm}$
Tloušťka plechu 2	$t_p = 10 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$

12.9.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 33 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 33 = 72,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 33 = 79,2 \text{ mm}$$



b) Svar diagonály s přípojným plechem

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{vd}}{4 * a * l} = \frac{251 * 10^3}{4 * 6 * 100} = 104,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0 + 3 * (0 + 104,6^2)} = 181,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{181,2}{435,5} = 0,42$$

$$0,42 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$181,2 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

c) Ověření únosnosti spojovacích plechů

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{A} = \frac{251 * 10^3}{10 * 120 - 33 * 10} = 326 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{326}{355} = 0,92$$

$$0,92 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$326 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

d) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 251}{1,25} = 96,38 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro třídu oceli 8.8)}$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 4 * 96,38 = 385,5 \text{ kN} > F_{Ed} = 251 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{251}{385,5} = 0,66$$

$$0,66 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$251 \text{ kN} < 385,5 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

e) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,4 * 490 * 30 * 10}{1,25} = 147 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{490} = 1,63; 1,0; \frac{50}{3 * 33} = 0,5 \right\} = 0,5$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$



$n = 2$ (počet šroubů)

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 2 * 147 = 294 \text{ kN} > F_{Ed} = 251 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{251}{294} = 0,86$$

$$0,86 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$251 \text{ kN} < 294 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

f) Posouzení únosnosti svaru styčného plechu a pásnice

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_Y}{2 * a * l} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{344 * 10^3}{2 * 6 * 525 + 10 * 525} = 21,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_X}{2 * a * l} = \frac{307 * 10^3}{2 * 6 * 525 + 10 * 525} = 26,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{21,1^2 + 3 * (21,1^2 + 26,6^2)} = 62,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{62,5}{435,5} = 0,14$$

$$0,14 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$62,5 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 92 %.

12.10 Spoj ztužidla se sloupem a patním plechem

Spoj ztužidla s patou sloupu bude řešen přes styčnickovou desku a přípojovací plech. Přípojovací plech bude přivařen do drážky v trubce pomocí čtyř koutových svarů tl. 6 mm a délky 100 mm a přišroubován pomocí dvou šroubů M20 ke styčnickovému plechu. Styčnickový plech bude pomocí svislého a podélného svaru tl. 6 mm a délek 100 mm přivařen k patnímu plechu sloupu a ke sloupu samotnému. Tento spoj je jen spočítán a není z nalezení v žádné příloze.

12.10.1 Šroub M20 – 8.8

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

Průměr šroubu $d = 20 \text{ mm}$

Průměr otvoru $d_o = 22 \text{ mm}$

Mez kluzu $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Mez pevnosti $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$



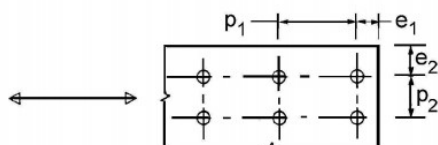
12.10.2 Plech P10 a P10 – S355

Ploušťka plechu 1	$t_p = 10 \text{ mm}$
Ploušťka plechu 2	$t_p = 10 \text{ mm}$
Mez kluzu	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Mez pevnosti	$f_u = 490 \text{ MPa}$

12.10.3 Posouzení prvků

a) Rozteče šroubů

Minimální dané rozteče:



$$e_{1,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2d_0 = 1,2 * 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2d_0 = 2,2 * 22 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4d_0 = 2,4 * 22 = 66 \text{ mm}$$

Skutečné rozteče:

- $e_1 = 30 \text{ mm}$

- $p_1 = 50 \text{ mm}$

b) Svar diagonály s přípojným plechem

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{vd}}{4 * a * l} = \frac{125 * 10^3}{4 * 6 * 100} = 52,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0 + 3 * (0 + 52,1^2)} = 90,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{90,3}{435,5} = 0,21$$

$$0,21 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$90,3 \text{ MPa} < 435,5 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

c) Ověření únosnosti spojovacích plechů

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{125 * 10^3}{10 * 120 - 22 * 10} = 127,6 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{f_y} = \frac{127,6}{355} = 0,36$$

$$0,36 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$104,2 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



d) Posouzení únosnosti šroubů ve střihu

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

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro třídu oceli 8.8)}$$

$$n = 4 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{v,Rd,c} = n * F_{v,Rd,1} = 2 * 94 = 188,1 \text{ kN} > F_{Ed} = 125 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{125}{188,1} = 0,67$$

$$0,67 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$125 \text{ kN} < 188,1 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

e) Posouzení únosnosti šroubů v otláčení

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,45 * 490 * 20 * 10}{1,25} = 88,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{490} = 1,63; 1,0; \frac{30}{3 * 22} = 0,45 \right\} = 0,45$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$n = 2 \text{ (počet šroubů)}$$

$$F_{b,Rd,c} = n * F_{b,Rd,1} = 2 * 88,2 = 176,4 \text{ kN} > F_{Ed} = 125 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd,c}} = \frac{125}{176,4} = 0,71$$

$$0,71 < 1,0$$

VYHOVUJE

$$125 \text{ kN} < 176,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

f) Posouzení únosnosti svaru styčného plechu a pásnice

$$N_{Ed,max} = 125 \text{ kN}; \alpha = 53^\circ$$

$$F_x = 125 * \cos(53) = 76 \text{ kN}$$

$$F_y = 125 * \sin(53) = 100 \text{ kN}$$

Bude počítáno pouze se svislým svarem o délce 150 mm. Jestliže tento svar vyhoví, tak je přípoj navržen konzervativně.

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_y}{2 * a * l} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{76 * 10^3}{2 * 6 * 150} = 29,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_x}{2 * a * l} = \frac{100 * 10^3}{2 * 6 * 150} = 55,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \sqrt{29,9^2 + 3 * (29,9^2 + 55,6^2)} = 113,4 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{113,4}{435,5} = 0,26$$

0,26 < 1,0
VYHOVUJE

113,4 MPa < 435,5 MPa
VYHOVUJE

Spoj vyhovuje na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti s využitelností 71 %.



13 Závěr

Předmětem projektu je návrh a posouzení ocelové konstrukce zimního stadionu a přilehlého zázemí. V rámci Katedry ocelových a dřevěných konstrukcí byl zpracován návrh a posouzení ocelové konstrukce a vybraných detailů. V rámci Katedry betonových a zděných konstrukcí byl zpracován výkres tvaru a výztuže dvou vybraných patek. V rámci Katedry konstrukcí pozemních staveb byly zpracovány dva vybrané detaily.

Konstrukce byly navrženy v následujících rozměrech:

- stěnové panely KS1000/1150NC tl. 150 mm od výrobce Kingspan,
- střešní panely KS1000 X-dek tl. 140 mm od výrobce Kingspan,
- pažďíky C270/2,5 od výrobce Kovové profily,
- vaznice nad ledovou plochou HEA 260 z oceli S355,
- vaznice nad zázemím IPE 240 z oceli S355,
- střešní průvlak HEA 260 z oceli S355,
- horní pás prostorového příhradového nosníku TR 244,5x25 z oceli S355,
- spodní pás prostorového příhradového nosníku TR 244,5x25 z oceli S355,
- diagonály prostorového příhradového nosníku TR 168,3x6,3 z oceli S355,
- horní pás rovinného příhradového nosníku TR 168,3x12,5 z oceli S355,
- spodní pás rovinného příhradového nosníku TR 168,3x8,0 z oceli S355,
- diagonály rovinného příhradového nosníku TR 88,9x6,3 z oceli S355,
- průčelní průvlak IPE 180 z oceli S355,
- stropnice spřaženého ocelobetonového stropu IPE 180 spřažená s železobetonovou deskou z betonu C30/37 pomocí trnů 19/100,
- průvlak spřaženého ocelobetonového stropu IPE 330 spřažený s železobetonovou deskou z betonu C30/37 pomocí trnů 19/100,
- sloup S1 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S2 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S3 HEB 300 z oceli S355,
- sloup S4 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S5 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S6 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S7 HEB 240 z oceli S355,
- sloup S8 HEB 240 z oceli S355,
- střešní ztužidlo TR 60,3x3,2 z oceli S355,
- stěnové ztužidlo TR 114,3x10,0 z oceli S355.



Navržené konstrukce jsou ze statického hlediska běžnými stavebními konstrukcemi a vyhovují požadovaným předpokládaným zatížením.

Při nerespektování výše uvedeného nepřebírá autor předložené zprávy žádnou zákonnou ani hmotnou odpovědnost.

Bude-li tato dokumentace použita pro realizaci stavby, přenáší se veškerá zákonná i hmotná odpovědnost na dodavatele stavby.

V Českých Budějovicích, 2. ledna 2021

Bc. Adam Koudelka

