ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021 ONDŘEJ MOHR

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Bakalářská práce

Ocelový skelet nákupní pasáže

Shopping arcade steel structure

Technická zpráva

Květen 2021

Vypracoval: Ondřej Mohr

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, s uvedením veškerých použitých zdrojů a softwaru, v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 10. května 2021

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, docentovi Michalu Janderovi, za odborné vedení, vstřícnost a trpělivost při pravidelných konzultacích této práce.

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mohr Jméno: Ondřej Osobní číslo: 477496

Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Ocelový skelet nákupní pasáže
Název bakalářské práce anglicky:

Shopping arcade steel structure

Pokyny pro vypracování:
Návrh nosné ocelové konstrukce, jejích hlavních prvků a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:
Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí ČSN EN 1991 a ČSN EN 1993.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Michal Jandera

Datum zadání bakalářské práce: 16.2.2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021
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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Abstrakt:

Tato práce představuje návrh nosné konstrukce obchodní pasáže. Obsahuje návrh hlavních nosných prvků a vybraných detailů. Použitým materiálem je ocel, případně beton. Statický výpočet byl proveden podle příslušných norem. Vnitřní síly a deformace byly vypočteny buď ručně nebo pomocí softwaru SCIA Engineer. Hlavními nosnými prvky jsou rámové vazby, stropnice, vaznice a ztužidla. Výsledkem této práce je technická zpráva, statický výpočet, výkresová dokumentace a přílohy.

Klíčová slova:

ocelová konstrukce, nákupní pasáž, obchodní dům, rámová vazba, sloup, příčel, stropnice, vaznice, ztužidlo, rámový roh, kloubová patka, šroubovaný přípoj

Abstract:

This thesis is focused on the design of a shopping arcade steel structure. It contains design of the main load-bearing members and selected connections. The material used is steel, eventualy concrete. The structural design is carried out in accordance with relevant standards. Internal forces and deformations were calculated manually or using SCIA Engineer software. Main load-bearing elements are frames, beams, purlins and diagonal bracings. The outcomes of this thesis are technical report, structural design calculation, drawing documentation and attachments.

Keywords:

steel structure, shopping arcade, department store, frame, column, girder, beam, purlin, bracing, frame connection, pinned column base, bolted connection

Obsah

1 Základní informace o stavbě 7
2 Popis nosné konstrukce 7
2.1 Rámová vazba 7
2.2 Stropní konstrukce 7
2.3 Zastřešení 8
2.4 Ztužení budovy 8
2.5 Patky sloupů 8
3 Zatížení 8
3.1 Stálé zatížení 8
3.2 Proměnné zatížení 8
3.2.1 Užitné zatížení 8
3.2.2 Zatížení sněhem 9
3.2.3 Zatížení větrem 9
4 Materiály 9
5 Výroba ocelové konstrukce 9
6 Montáž ocelové konstrukce 9
7 Ochrana proti korozi 10
8 Ochrana proti požáru 10
9 Použité zdroje 10
9.1 Normy 10
9.2 Skripta, publikace, webové stránky 11
9.3 Software 11

1 Základní informace o stavbě

Jedná se o obchodní dům obloukového tvaru. Objekt je rozdělen na tři samostatně působící dvoupodlažní budovy s plochou střechou. Mezi budovami se nachází pasáž zastřešená průsvitným sedlovým přístřeškem.

Stavba se nachází ve městě Most v České republice.

Půdorysné rozměry:

délka: 46,5 m

šířka: 31,5 m

Výška objektu:

výška hřebene přístřešku: 9,7 m

výška okapu ploché střechy: 7 m

Sklon střechy:

plochá střecha: 5%

přístřešek:

2 Popis nosné konstrukce

Hlavními prvky nosné konstrukce jsou podélné rámové vazby zalomené tak, aby kopírovali obloukový půdorysný tvar objektu. Osové vzdálenosti vazeb jsou 5 m, 5,18 m a 4,35 m. Podrobný návrh prvků byl proveden pouze ve dvou vnějších budovách objektu.

2.1 Rámová vazba

Byl proveden návrh prostřední rámové vazby dvou vnějších budov objektu. Rozpětí rámové příčle je 5,7 m. Sloupy jsou profilu HEA 220 kloubově uložené na betonových patkách, případně pasech. Příčle nad 1.NP jsou profilu IPE 300 s náběhem také profilu IPE 300. Délka náběhu je 590 mm, výška 220 mm. Příčle nad 2.NP je profilu IPE 180.

2.2 Stropní konstrukce

Stropní konstrukce je tvořena ocelobetonovou deskou spřaženou se stropnicemi profilu IPE 200. Vrstva betonu má výšku 70 mm na trapézovém plechu TR 50/250/0,88.

2.3 Zastřešení

Zastřešení prostoru prodejen je provedeno pomocí skládaného pláště tvořeného hydroizolační fólií, tepelnou izolací a nosným trapézovým plechem TR 85/280/0,88. Vaznice jsou profilu IPE 180.

Zastřešení pasáže je tvořeno polykarbonátovými deskami. Vaznice jsou z obdélníkových trubek 140/80/4,0. Nosná konstrukce střechy je tvořena příhradovými vazníky z čtvercových trubek. Osové vzdálenosti vazníků jsou 3,85 m.

Zastřešení vstupu má stejnou skladbu jako zastřešení prostoru prodejen. Vaznice jsou profilu IPE 270.

2.4 Ztužení budovy

Tuhost v příčném směru je zajištěna stěnovými ztužidly. Spodní diagonály jsou z kruhových trubek profilu 89/4,0, horní diagonály jsou profilu 63,5/4,0. Přenos příčného vodorovného zatížení do stěnových ztužidel je zajištěn střešním ztužidlem. Diagonály střešního ztužidla jsou profilu 60,3/3,6.

2.5 Patky sloupů

Všechny patky jsou kloubové. Koncové sloupy rámových vazeb jsou založené na základových pasech. Patní plech tloušťky 20 mm má rozměry 300x300 mm. Kotvení do betonového základu je zajištěno pomocí kotev HAS-U 8.8 M20x350. Smykové síly jsou přenášeny smykovou zarážkou profilu HEA 160 výšky 50 mm.

3 Zatížení

3.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení střešním pláštěm, obvodovým pláštěm a vlastní tíhou nosných prvků konstrukce je stanoveno ve statickém výpočtu.

3.2 Proměnné zatížení

3.2.1 Užitné zatížení

Užitné zatížení na 1.NP v ploše celého objektu odpovídá kategorii D1 – plochy v obchodních domech.

charakteristická hodnota plošného zatížení: $q_k = 5{,}0\ kN/m^2$

charakteristická hodnota samostatně působícího soustředěného zatížení: $Q_k = 7{,}0\ kN$

Užitné zatížení na nepochozí ploché střeše uvažujeme vždy na maximální ploše 10 m^2

$q_k = 0{,}75\, kN/m^2$

Zatížení sněhem

Stavba se nachází ve II. sněhové oblasti.

charakteristická hodnota zatížení sněhem: $s_k = 1{,}0\, kN/m^2$

3.2.2 Zatížení větrem

Stavba se nachází ve II. větrné oblasti.

Výchozí základní rychlost větru: $v_{b,0} = 27{,}5\, m/s$

Kategorie terénu: III. (oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, budovami nebo překážkami)

4 Materiály

ocel: S235

beton: C20/25

šrouby: 8.8

trapézové plechy: S320GD + Z275

5 Výroba ocelové konstrukce

Výroba ocelové konstrukce bude provedena ve výrobně dle výrobní dokumentace. Všechny svarové spoje jsou prováděny dílensky. Šroubované spoje jsou prováděny v místě stavby. Konstrukce je zařazena do třídy provedení EXC2.

6 Montáž ocelové konstrukce

Smykové zarážky jsou předem zabetonované do základových patek/pasů. Kotvení kotevními šrouby je prováděno dodatečně po zatvrdnutí betonu.

Jednotlivé montážní díly jsou šroubované. Všechny sloupy, příčle, vaznice i stropnice jsou zvláštní montážní dílce.

Sloupy budou osazeny a přikotveny podle kotevního plánu. Během další montáže budou sloupy podepřeny. Poté jsou osazeny a přišroubovány příčle nad 1.NP. Během betonáže stropní konstrukce je trapézový plech podepřen, stropnice podepřeny nejsou. Nakonec jsou osazeny a přišroubovány vaznice.

Během montáže nesmí být sestavované dílce poškozeny nebo zdeformovány nad přípustné tolerance.

7 Ochrana proti korozi

Veškeré ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru budovy, kde se nenachází agresivní ani vlhké prostředí.

Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

- stupeň korozní agresivity: C2 – nízká (prostory s občasnou kondenzaci)
- předpokládaná životnost: Vysoká (H) – 15 - 25 let
- příprava povrchu: Sa 21/2 – Otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek
- zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.
- požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru: 120 µm

Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2x základním nátěrem a 2-3x vrchním nátěrem.

8 Ochrana proti požáru

Není předmětem bakalářské práce, konstrukci by bylo nutné posoudit.

9 Použité zdroje

9.1 Normy

ČSN EN 1990,2004, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1-1,2002, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3,2003, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4,2005, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

ČSN EN 1993-1-1,2005, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-8:2005, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

ČSN EN ISO 12944 (1998), Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 1: Obecné zásady

9.2 Skripta, publikace, webové stránky

Tomáš Vraný, Michal Jandera, Martina Eliášová. Ocelové konstrukce 1: Cvičení. Vydalo ČVUT v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2015

Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy. Kovové profily, spol. s r. o. - trapézové plechy [online]. Dostupné z: http://kovprof.cz/

Zdeněk Sokol, František Wald. Ocelové konstrukce: Tabulky. 3. přepracované vydání, vydalo ČVUT v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2017

Polykarbonátové desky | Multiplast. Dodáváme polykarbonátové desky, technické plasty, plexisklo | Multiplast [online]. Copyright © 2021 TITAN [cit. 18.04.2021]. Dostupné z: https://www.multiplast.cz/eshop/polykarbonatove-desky-15

9.3 Software

SCIA Engineer 19.1

LTBeamN 1.0.3

Hilti PROFIS Engineering 3.0.69

Autodesk AutoCAD 2019

Microsoft Office Word

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Bakalářská práce

Ocelový skelet nákupní pasáže

Shopping arcade steel structure

Statický výpočet

Květen 2021

Vypracoval: Ondřej Mohr

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Předmětem bakalářské práce je návrh nosné konstrukce obchodní pasáže.

Práce se skládá ze tří částí – technické zprávy, statického výpočtu a výkresové dokumentace.

Formulář se zadáním, prohlášení, abstrakt, klíčová slova a seznam použitých zdrojů jsou součástí technické zprávy.

1 Dispozice ... 6
2 Zatížení ... 7
2.1 Proměnné zatížení ... 7
2.1.1 Zatížení sněhem ... 7
2.1.2 Zatížení větrem ... 10
2.1.3 Užitné zatížení ... 26
2.2 Stálé zatížení ... 26
2.2.1 Střešní plášť ... 26
2.2.2 Stropní konstrukce ... 26
3 Návrh zastřešení prodejen ... 26
3.1 Návrh trapézového plechu ... 27
3.2 Návrh vaznice ... 28
4 Návrh zastřešení pasáže ... 31
4.1 Návrh polykarbonátových desek ... 31
4.2 Návrh vaznice ... 32
4.3 Návrh vazníku ... 35
4.3.1 Varianta rámu s táhlem ... 37
4.3.2 Varianta příhradového vazníku ... 42
5 Návrh zastřešení vstupu ... 46
5.1 Návrh trapézového plechu ... 46
5.2 Návrh vaznice ... 48
6 Návrh stropní konstrukce ... 53
6.1 Návrh trapézového plechu ... 53
6.2 Návrh stropnice ... 55
6.2.1 Nespřažená stropnice ... 56
6.2.2 Stropnice spřažená s betonovou deskou ... 58
7 Rámová konstrukce ... 65

7.1 Zatěžovací stavy ... 66
7.1.1 ZS1 vlastní tíha rámové konstrukce ... 66
7.1.2 ZS2 ostatní stálé zatížení ... 66
7.1.3 ZS3 užitné zatížení ... 70
7.1.4 ZS4 sníh ... 71
7.1.5 ZS5 vítr příčný ... 73
7.1.6 ZS6 vítr podélný ... 75
7.2 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ ... 79
7.3 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP ... 80
7.4 Imperfekce konstrukce ... 80
7.5 Návrh rámové vazby ... 81
7.6 Posouzení prvků rámu ... 83
7.6.1 posouzení sloupu ... 83
7.6.2 posouzení příčle nad 1.NP ... 89
7.6.3 posouzení příčle nad 2.NP ... 91
8 Ztužidla ... 99
8.1 Stěnové ztužidlo ... 99
8.1.1 Spodní diagonála ... 99
8.1.2 Horní diagonála ... 100
8.2 Střešní ztužidlo ... 102
9 Návrh detailů ... 103
9.1 Rámový roh ... 103
9.1.1 Návrh svarů ... 104
9.1.2 Návrh dílčích komponent ... 105
9.2 Únosnost šroubů v tahu ... 106
9.2.2 Únosnost základních komponent ... 113
9.2.3 Rozdělení sil a momentové únosnosti ... 115

9.3 Kloubová patka + přípoj ztužidla 116

9.3.1 Přípoj ztužidla 116

9.3.2 Kloubová patka 119

9.4 Přípoj stropnice na příčel 124

1 Dispozice

Navrhovaná stavba je přístavbou ke stávající železobetonové konstrukci. Jedná se o nákupní pasáž obloukového půdorysu s plochou střechou a sedlovým přístřeškem.

umístění: Most, Ústecký kraj, Česká republika

rozměry:

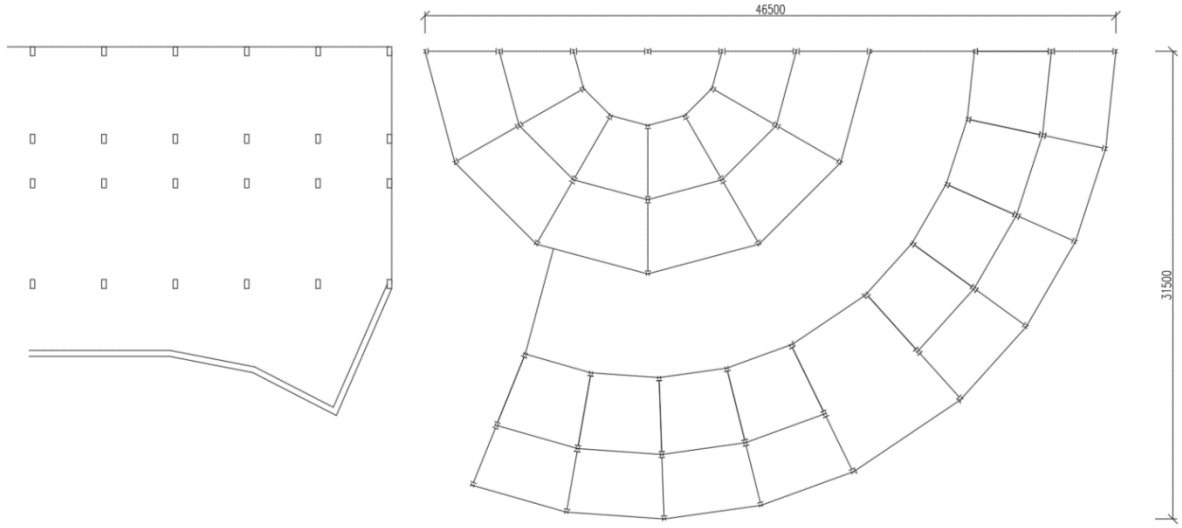
délka: 46,5 m

šířka: 31,5 m

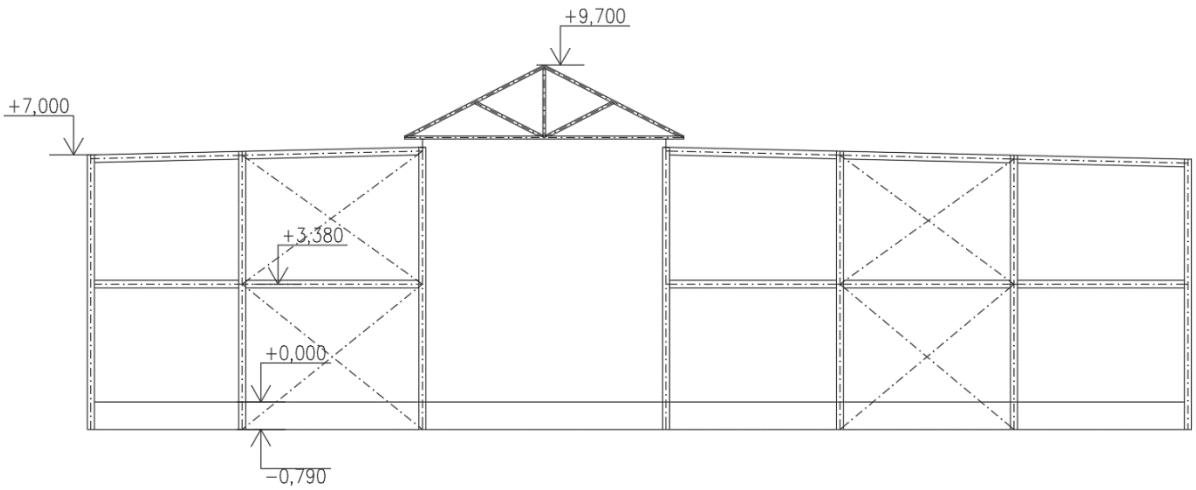
výška hřebene přístřešku: 9,7 m

výška okapu ploché střechy: 7 m

náčrt půdorysu:



příčný řez:



2 Zatížení

2.1 Proměnné zatížení

2.1.1 Zatížení sněhem

II. sněhová oblast → charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k = 1,0 kN/m^2

2.1.1.1 součinitel expozice

$C_e =$ 1,0 (normální krajina, nedochází k výraznému přemístění sněhu větrem vlivem okolního terénu nebo jiných staveb)

2.1.1.2 tepelný součinitel

$C_t =$ 1,0 (neuvažujeme odtávání sněhu vlivem tepla prostupujícího střešním pláštěm)

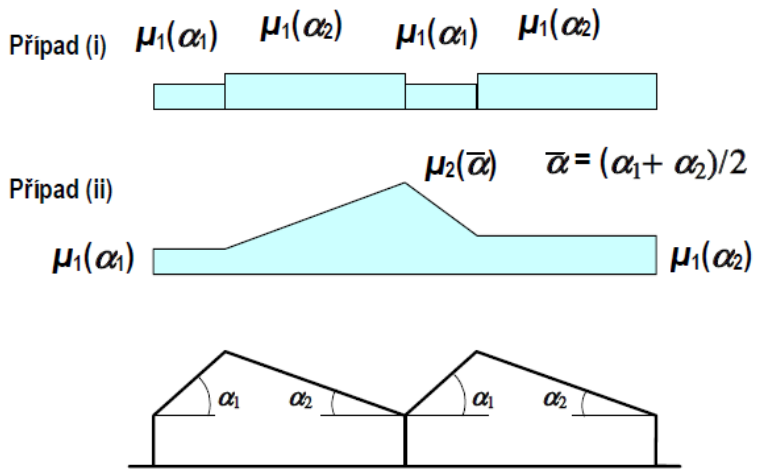
2.1.1.3 tvarové součinitele

2.1.1.3.1 střecha nad prodejnami a přístřešek

a) střechu uvažujeme jako vícelodní sedlovou střechu

$\mu_1 = 0{,}8$ ($sklon\ střechy\ i\ přístřešku\ do$ 30°)

$$\mu_2 = 0{,}8 + 0{,}8 * \left(\frac{\bar{\alpha}}{30}\right) = 0{,}8 + 0{,}8 * \left(\frac{13{,}5}{30}\right) = 1{,}16$$



úhel sklonu střechy α	0°≤ α ≤ 30°	30°< α < 60°	α ≥ 60°
μ_1	0,8	0,8(60 – α)/30	0,0
μ_2	0,8 + 0,8α/30	1,6	–

$(sklony\ střech: \alpha_1\ uvažujeme\ 0°, \alpha_2 = 27° \rightarrow\ \bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{0 + 27}{2} = 13{,}5°)$

b) střechu uvažujeme jako střechu sousedící s vyšší

$\mu_1 = 0{,}8$ (nižší střecha je plochá)

$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$

μ_s tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy

μ_w tvarový součinitel zatížení zohledňující působení větru

$$\mu_s = 0{,}8 * \frac{b_{1,s}}{l_s} = 0{,}8 * \frac{3{,}5}{0{,}8} = 3{,}5$$

$b_{1,s} = 3{,}5\ m$ (viz. schéma)

$l_s = 2h = 2 * 0{,}4 = 0{,}8\ m$ (délka návěje sněhu)

$$\mu_w = min\begin{Bmatrix} \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \\ \frac{\gamma h}{s_k} \\ 2 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{(7 + 9{,}85)}{2 * 0{,}4} \\ \frac{2 * 0{,}4}{1{,}0} \\ 2 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 21{,}06 \\ 0{,}8 \\ 2 \end{Bmatrix} = 0{,}8$$

b_1, b_2, h viz schéma

$\gamma = 2\ kN/m^3$ (objemová tíha sněhu)

$s_k = 1{,}0\ kN/m^2$ (charakteristická hodnota zatížení sněhem)

$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 3{,}5 + 0{,}8 = 4{,}3$

2.1.1.3.2 střecha nad vstupem do pasáže

Střechu nad vstupem do pasáže uvažujeme jako střechu sousedící s vyšší stavbou, protože může být přitížena sesuvem sněhu z přístřešku.

$\mu_1 = 0{,}8$ (nižší střecha je plochá)

$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$

μ_s tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy

μ_w tvarový součinitel zatížení zohledňující působení větru

$$\mu_s = 0{,}8 * \frac{b_{1,s}}{l_s} = 0{,}8 * \frac{3{,}5}{7{,}2} = 0{,}4$$

$b_{1,s} = 3{,}5\ m$ (viz. schéma)

$l_s = 2h = 2 * 3{,}6 = 7{,}2\ m$ (délka návěje sněhu)

$$\mu_w = min\begin{Bmatrix} \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \\ \frac{\gamma h}{s_k} \\ 2 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{(7 + 9{,}85)}{2 * 3{,}6} \\ \frac{2 * 3{,}6}{1{,}0} \\ 2 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2{,}34 \\ 7{,}2 \\ 2 \end{Bmatrix} = 2$$

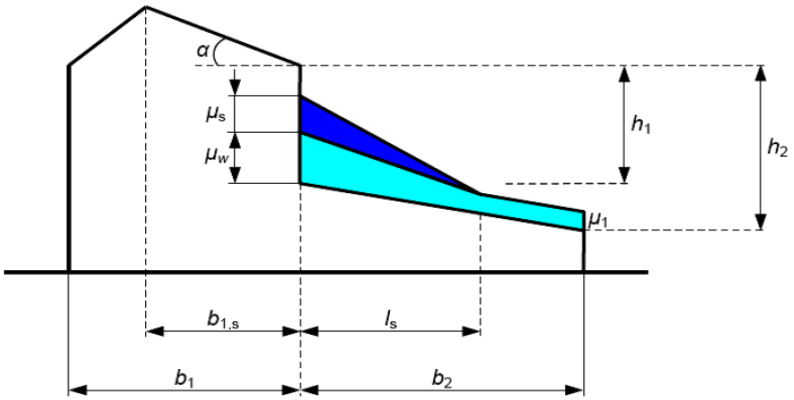
b_1, b_2, h viz schéma

$\gamma = 2\ kN/m^3$ (objemová tíha sněhu)

$s_k = 1{,}0\ kN/m^2$ (charakteristická hodnota zatížení sněhem)

Sněhová oblast	I – IV	V – VI	VII – VIII
Max μ_w	2,0	3,0	4,0

$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 0{,}4 + 2 = 2{,}4$



hodnoty zatížení sněhem:

$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$

a) střecha nad prodejnami a přístřešek

$s_1 = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0{,}8 * 1 * 1 * 1{,}0 = 0{,}8\ kN/m^2$

$s_{2,a} = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 1{,}16 * 1 * 1 * 1{,}0 = 1{,}16\ kN/m^2$

$s_{2,b} = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 4{,}3 * 1 * 1 * 1{,}0 = 4{,}3\ kN/m^2$

b) střecha nad vstupem do pasáže

$s_1 = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0{,}8 * 1 * 1 * 1{,}0 = 0{,}8\, kN/m^2$

$s_2 = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 2 * 1 * 1 * 1{,}0 = 2\, kN/m^2$

2.1.2 Zatížení větrem

III. větrná oblast → $v_{b,0}$ = 27,5 m/s (výchozí základní rychlost větru)

základní rychlost větru:

$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 27{,}5 = 27{,}5\, m/s$

$c_{dir} = 1$ (součinitel směru větru)

$c_{season} = 1$ (součinitel ročního období)

tlak větru:

$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1{,}25 * 27{,}5^2 = 472{,}7\, kPa$

(měrná hmotnost vzduchu)

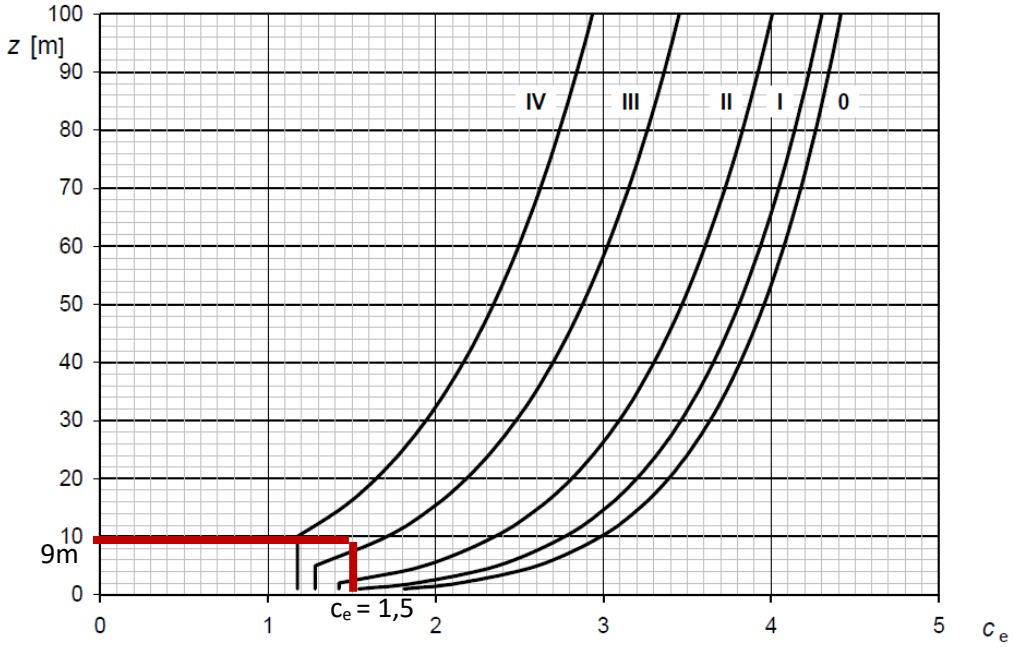
maximální dynamický tlak větru:

$q_p = c_e * q_b = 1{,}5 * 472{,}7 = 709{,}05\, kPa$

$c_e = 1{,}5$ (součinitel expozice)

III. kategorie terénu (oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, budovami nebo překážkami)

výška budovy 9 m



2.1.2.1 Zatížení na svislé stěny

a) celou budovu uvažujeme jako celek o půdorysu tvořeném částí válce

maximální rychlost větru ve výšce z_e:

$$v_{(ze)} = \sqrt{2 * \frac{q_p}{\rho}} = \sqrt{2 * \frac{709{,}05}{1{,}25}} = 33{,}68\ m/s$$

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{b * v_{(ze)}}{\nu} = \frac{60 * 33{,}68}{15 * 10^{-6}} = 13{,}5 * 10^{7}\ m/s$$

$b = 60\ m$ (průměr válce)

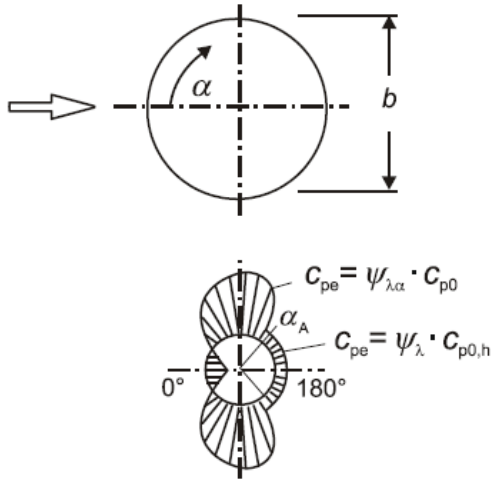
$\nu = 15 * 10^{-6}\ m^2/s$ (kinematická viskozita vzduchu)

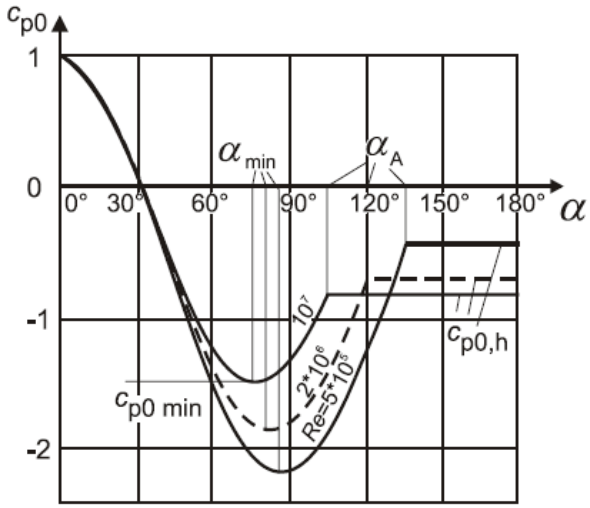
$\alpha_{min} = 75°$ (místo minimálního tlaku)

$c_{p0,min} = -1{,}5$ (hodnota součinitele minimálního tlaku)

$\alpha_A = 105°$ (poloha bodu oddělení proudu)

$c_{p0,h} = -0{,}8$ (součinitel tlaku na závětrné straně válce)





Re	α_{min}	$c_{p0,min}$	α_A	$c_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	–2,2	135	–0,4
$2 \cdot 10^6$	80	–1,9	120	–0,7
10^7	75	–1,5	105	–0,8

Kde je

α_{min} místo minimálního tlaku ve [°];

$c_{p0,min}$ hodnota součinitele minimálního tlaku;

α_A poloha bodu oddělení proudu ve [°];

$c_{p0,h}$ součinitel tlaku na závětrné straně válce.

součinitel koncového tlaku $\psi_{\lambda\alpha}$:

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1 \qquad \text{pro} \quad 0° \le \alpha \le \alpha_{min}$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{min}}{\alpha_A - \alpha_{min}}\right)\right) \qquad \text{pro} \quad \alpha_{min} < \alpha < \alpha_A$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} \qquad \text{pro} \quad \alpha_A \le \alpha \le 180°$$

Pro válce s kruhovým průřezem:

pro $\ell \ge 50$ m, menší z hodnot $\lambda = 0{,}7\ell/b$ nebo $\lambda = 70$;

pro $\ell < 15$ m, menší z hodnot $\lambda = \ell/b$ nebo $\lambda = 70$.

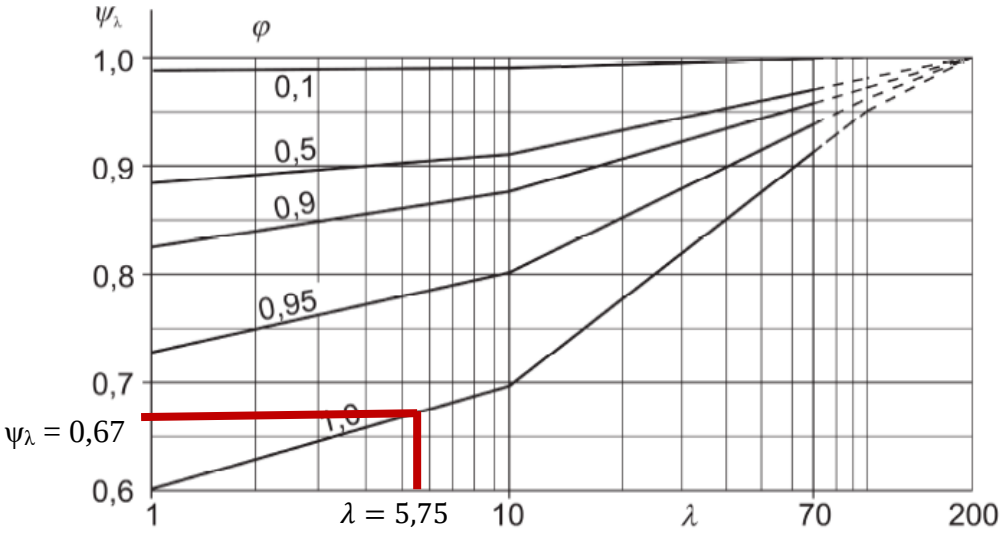
Pro mezilehlé hodnoty ℓ se doporučuje použít lineární interpolaci.

$$\lambda = 0{,}7 * \frac{l}{b} = 0{,}7 * \frac{60}{7{,}3} = 5{,}75$$

$l = 60\ m$ (uvažovaný průměr válce)

$b = 7{,}3\ m$ (uvažovaný výška stavby)

$\varphi = 1$ (součinitel plnosti)



$0° - 30° \rightarrow c_{pe} = +1{,}0$

$30° - 105° \rightarrow \ c_{pe} = \psi_{\lambda\alpha} * c_{p0} = 1 * (-1{,}5) = -1{,}5$

$105° - 180° \rightarrow \ c_{pe} = \psi_{\lambda} * c_{p0,h} = 0{,}67 * (-0{,}8) = -0{,}54$

Rovnou část budovy uvažujeme jako stěnu pravoúhlého objektu.

1. směr větru 90°

tlak větru na rovnou stěnu – oblast D

Oblast	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	–1,2	–1,4	–0,8	–1,1	–0,5		+0,8	+1,0	–0,7	
1	–1,2	–1,4	–0,8	–1,1	–0,5		+0,8	+1,0	–0,5	
≤ 0,25	–1,2	–1,4	–0,8	–1,1	–0,5		+0,7	+1,0	–0,3	

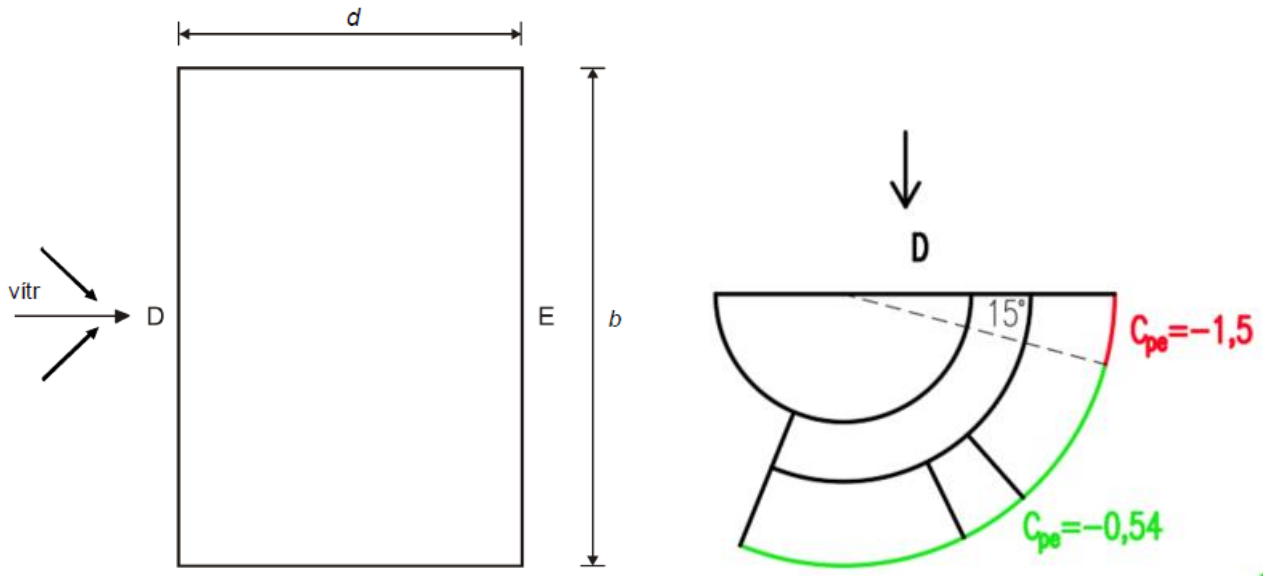
$$\frac{h}{d} = \frac{7{,}3}{30} = 0{,}24$$

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$d = 30\ m$ (uvažovaný rozměr stavby rovnoběžný se směrem větru)

hodnota součinitele C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ D) = +0{,}7$



2. směr větru 180°:

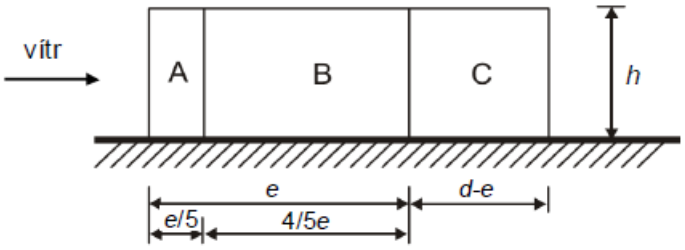
$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$

$b = 30\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$\frac{e}{5} = \frac{14{,}6}{5} = 2{,}9\ m$

$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} * 14{,}6 = 11{,}7\ m$

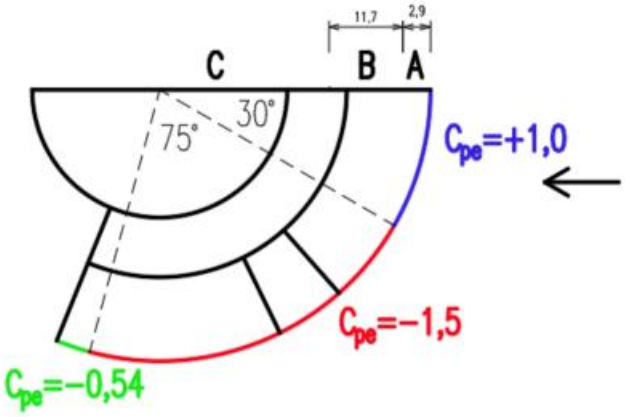


hodnoty součinitelů C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}2$

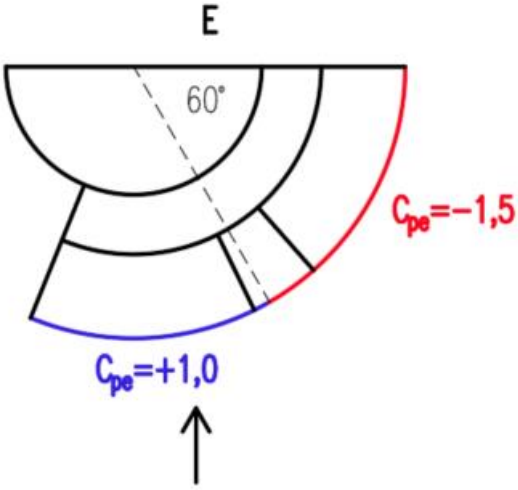
$c_{pe,10}(oblast\ B) = -0{,}8$

$c_{pe,10}(oblast\ C) = -0{,}5$



3. směr větru 270°:

sání větru na rovné stěně – oblast E



$\frac{h}{d} = \frac{7,3}{30} = 0,24$

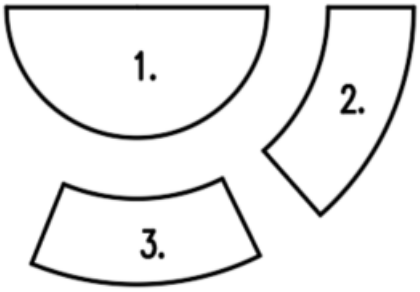
$h = 7,3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$d = 30\ m$ (uvažovaný rozměr stavby rovnoběžný se směrem větru)

hodnota součinitele C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ E) = -0,3$

b) budovu rozdělíme na 3 různé stavby, které uvažujeme jako budovy s pravoúhlými půdorysy:



budova 1:

1. směr větru 90°:

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{b * v_{(ze)}}{\nu} = \frac{30 * 33,68}{1,25} = 6,74 * 10^7\ m/s$$

$b = 30\ m$ (průměr válce)

$\nu = 15 * 10^{-6}\ m^2/s$ (kinematická viskozita vzduchu)

$\alpha_{min} = 76,7°$ (místo minimálního tlaku)

$c_{p0,min} = -1,63$ (hodnota součinitele minimálního tlaku)

$\alpha_A = 110°$ (poloha bodu oddělení proudu)

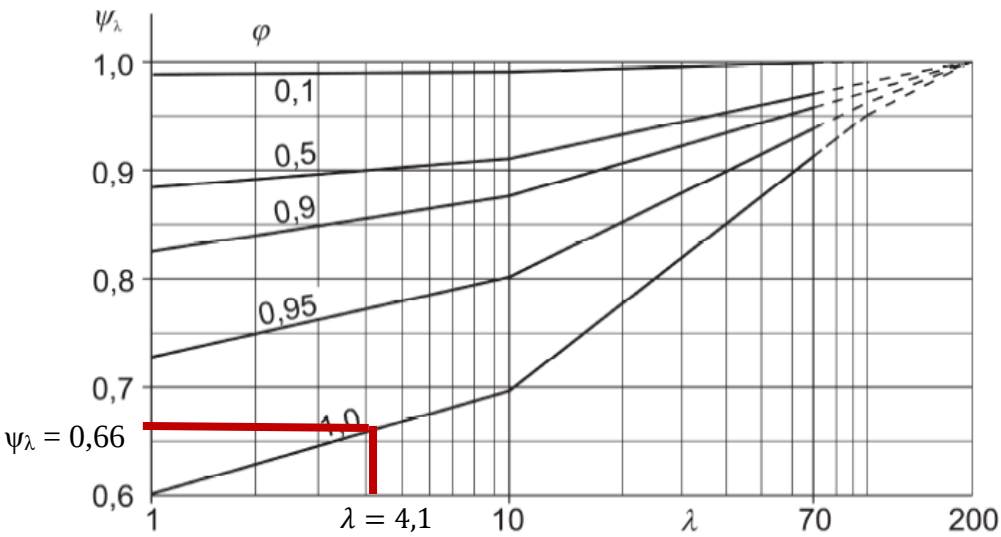
$c_{p0,h} = -0{,}77$ (součinitel tlaku na závětrné straně válce)

$$\lambda = \frac{l}{b} = \frac{30}{7{,}3} = 4{,}1$$

$l = 30\ m$ (uvažovaný průměr válce)

$b = 7{,}3\ m$ (uvažovaný výška stavby)

$\varphi = 1$ (součinitel plnosti)



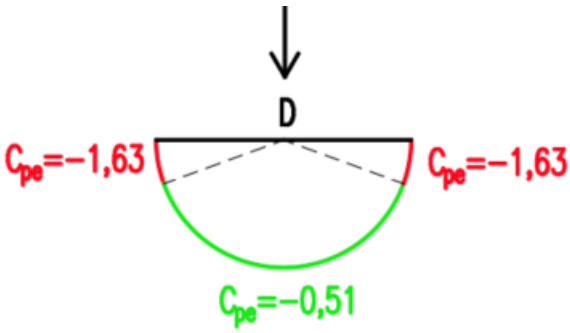
$0° - 30° \rightarrow c_{pe} = +1{,}0$

$30° - 110° \rightarrow\ c_{pe} = \psi_{\lambda\alpha} * c_{p0} = 1 * (-1{,}63) = -1{,}63$

$110° - 180° \rightarrow\ c_{pe} = \psi_{\lambda} * c_{p0,h} = 0{,}66 * (-0{,}77) = -0{,}51$

$$\frac{h}{d} = \frac{7{,}3}{15} = 0{,}49$$

$c_{pe,10}(oblast\ D) = +0{,}73$



2. směr větru 180°:

$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$$

$b = 30\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$$\frac{e}{5} = \frac{14{,}6}{5} = 2{,}9\ m$$

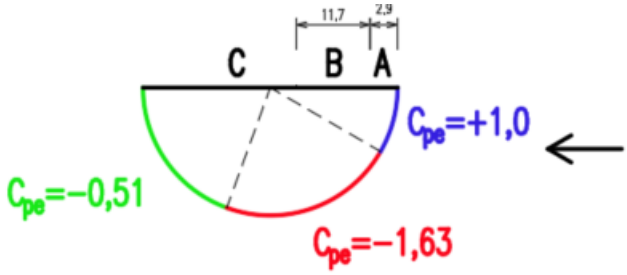
$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} * 14{,}6 = 11{,}7\ m$$

hodnoty součinitelů C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}2$

$c_{pe,10}(oblast\ B) = -0{,}8$

$c_{pe,10}(oblast\ C) = -0{,}5$



budova 2:

1. směr větru 90°:

$$\frac{h}{d} = \frac{7{,}3}{18{,}43} = 0{,}4$$

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$d = 18{,}43\ m$ (uvažovaný rozměr stavby rovnoběžný se směrem větru)

$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 9{,}85 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 9{,}85 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 9{,}85\ m$$

$b = 9{,}85\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$$\frac{e}{5} = \frac{9{,}85}{5} = 2\ m$$

$$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} * 9{,}85 = 7{,}85\ m$$

hodnoty součinitelů C_{pe}:

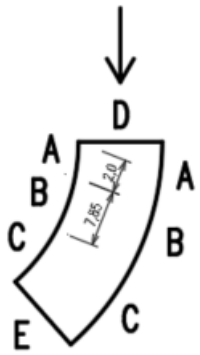
$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}2$

$c_{pe,10}(oblast\ B) = -0{,}8$

$c_{pe,10}(oblast\ C) = -0{,}5$

$c_{pe,10}(oblast\ D) = +0{,}72$

$c_{pe,10}(oblast\ E) = -0{,}34$



2. směr větru 180°:

$\frac{h}{d} = \frac{7{,}3}{9{,}85} = 0{,}74$

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$d = 9{,}85\ m$ (uvažovaný rozměr stavby rovnoběžný se směrem větru)

$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 18{,}43 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 18{,}43 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$

$b = 18{,}43\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$\frac{e}{5} = \frac{14{,}6}{5} = 2{,}9\ m$

$\frac{4}{5}e = \frac{4}{5} * 14{,}6 = 11{,}7\ m$

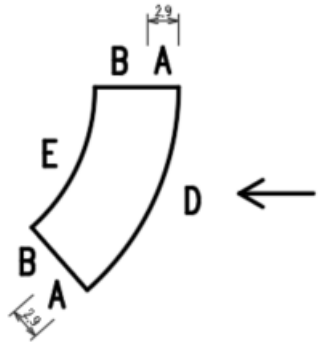
hodnoty součinitelů C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}2$

$c_{pe,10}(oblast\ B) = -0{,}8$

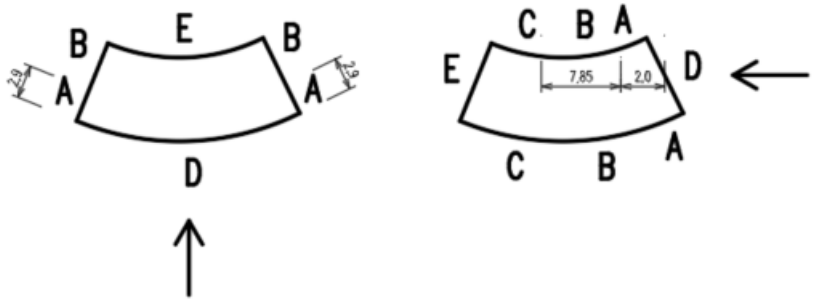
$c_{pe,10}(oblast\ D) = +0{,}77$

$c_{pe,10}(oblast\ E) = -0{,}43$



budova 3:

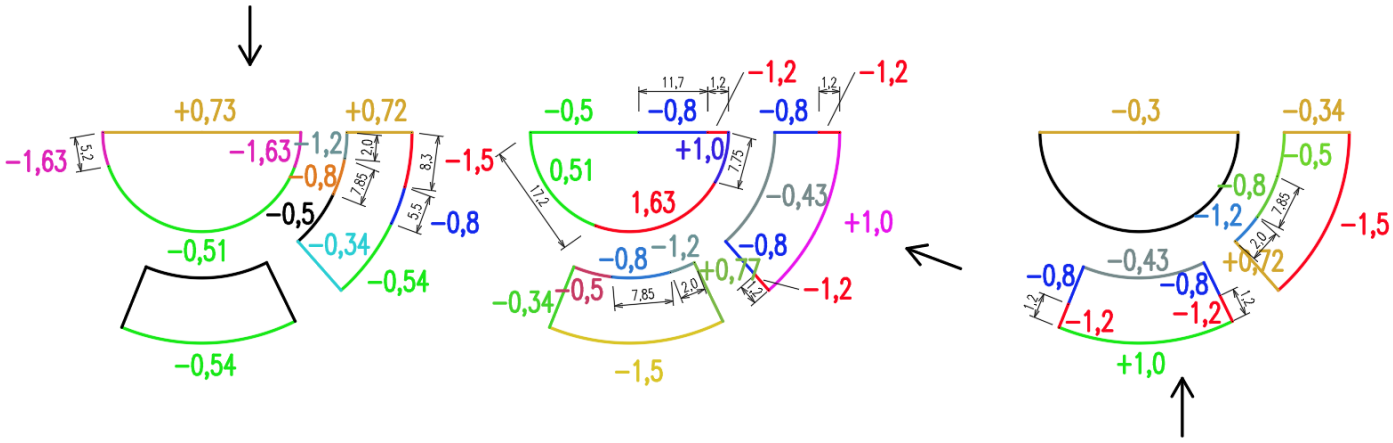
viz. budova 2 – opačné směry větru



c) obálka zatížení

V obálce zatížení uvažujeme nejnepříznivější stavy pro předchozí dvě situace, kdy jsme budovu nejdříve uvažovali jako celek a poté jako 3 samostatné stavby.

90° 180° 270°



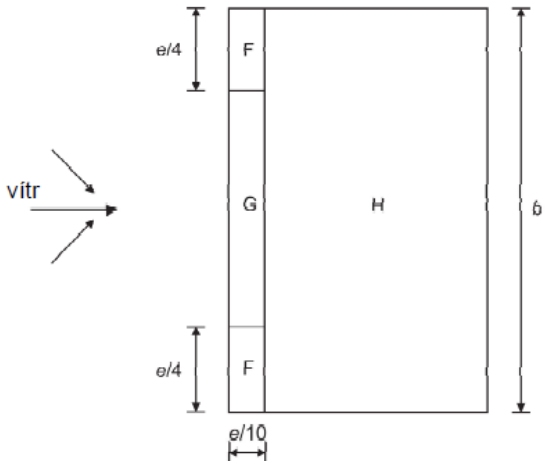
2.1.2.2 Zatížení na střechu

2.1.2.2.1 Střecha nad prodejnami

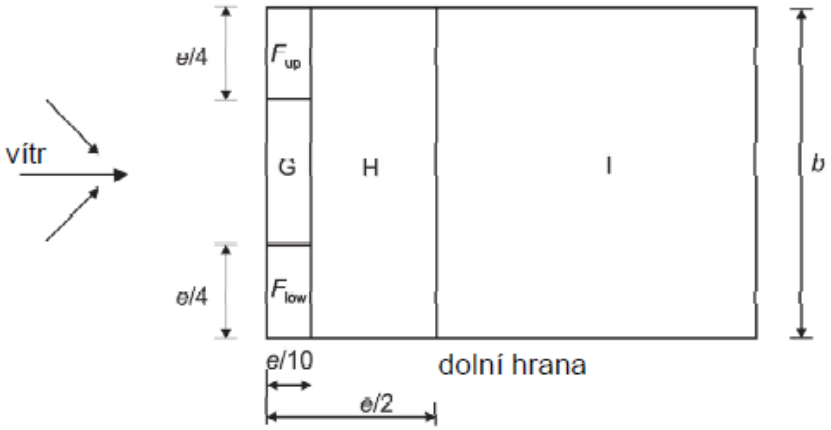
Zatížení větrem na střechu spočítáme zvlášť pro všechny tři budovy.

budova 1.

1. směr větru 90°:



horní hrana



dolní hrana

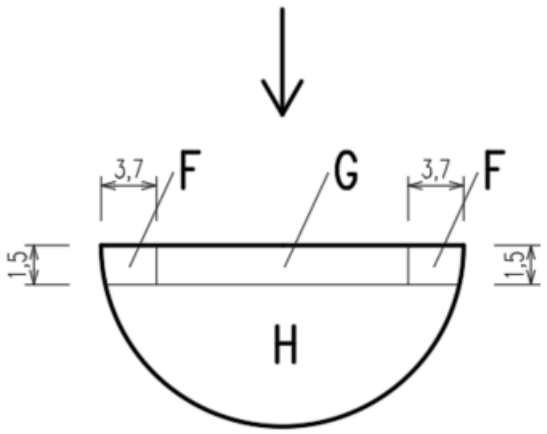
$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 30 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$$

$b = 30\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$$\frac{e}{4} = \frac{14{,}6}{4} = 3{,}7\ m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{14{,}6}{10} = 1{,}5\ m$$

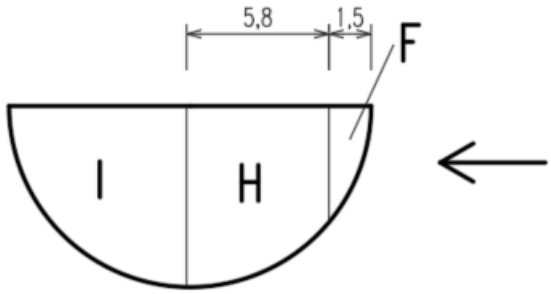


2. směr větru 180°:

$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 15 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 15 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$$

$b = 15\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)



$$\frac{e}{4} = \frac{14{,}6}{4} = 3{,}7\ m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{14{,}6}{10} = 1{,}5\ m$$

$$\frac{e}{2} = \frac{14{,}6}{2} = 7{,}3\ m$$

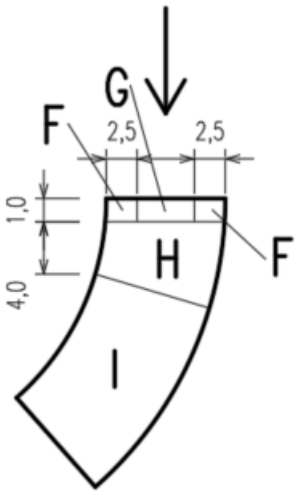
budova 2:

1. směr větru 90°:

$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 9{,}85 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 9{,}85 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 9{,}85\ m$$

$b = 9{,}85\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)



$$\frac{e}{4} = \frac{9{,}85}{4} = 2{,}5\ m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{9{,}85}{10} = 1\ m$$

$$\frac{e}{2} = \frac{9{,}85}{2} = 5\ m$$

2. směr větru 180°:

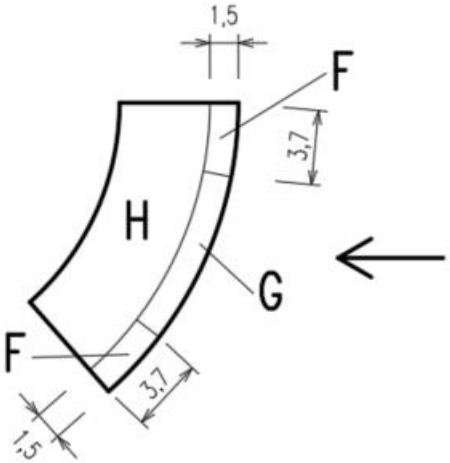
$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 18{,}43 \\ 2 * 7{,}3 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 18{,}43 \\ 14{,}6 \end{Bmatrix} = 14{,}6\ m$$

$b = 18{,}43\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 7{,}3\ m$ (uvažovaná výška stavby)

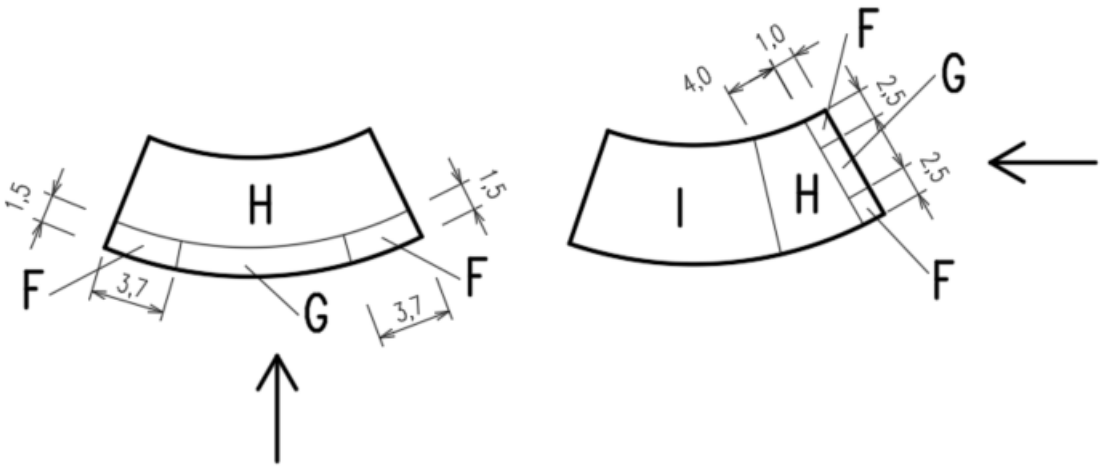
$$\frac{e}{4} = \frac{14{,}6}{4} = 3{,}7\ m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{14{,}6}{10} = 1{,}5\ m$$



budova 3:

viz. budova 2 – opačné směry větru



hodnoty součinitelů C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ F) = -1{,}8$

$c_{pe,10}(oblast\ G) = -1{,}2$

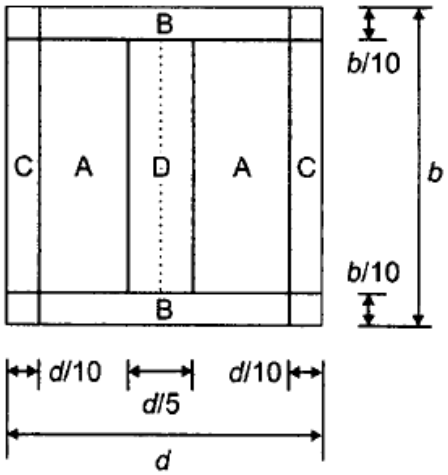
$c_{pe,10}(oblast\ H) = -0{,}7$

$c_{pe,10}(oblast\ I) = -0{,}2$

2.1.2.2.2 Přístřešek nad pasáží

Ve směru působení větru rovnoběžně s průchodem pasáží uvažujeme střechu jako přístřešek, ve směru kolmém ji uvažujeme jako sedlovou střechu.

1. směr větru 90° (přístřešek):



$d = 7\ m$ (šířka střechy nad pasáží)

$b = 36\ m$ (délka střechy nad pasáží)

$$\frac{d}{10} = \frac{7}{10} = 0{,}7m$$

$$\frac{b}{10} = \frac{36}{10} = 3{,}6\ m$$

hodnoty součinitelů C_{pe}:

$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}4/+1{,}3$

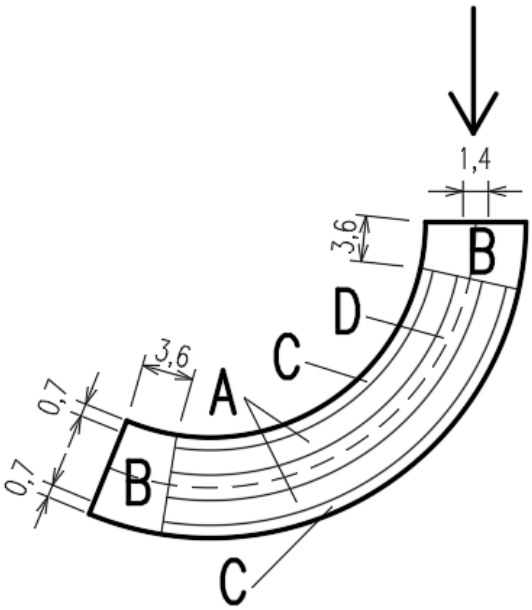
$c_{pe,10}(oblast\ B) = -1{,}8/+1{,}9$

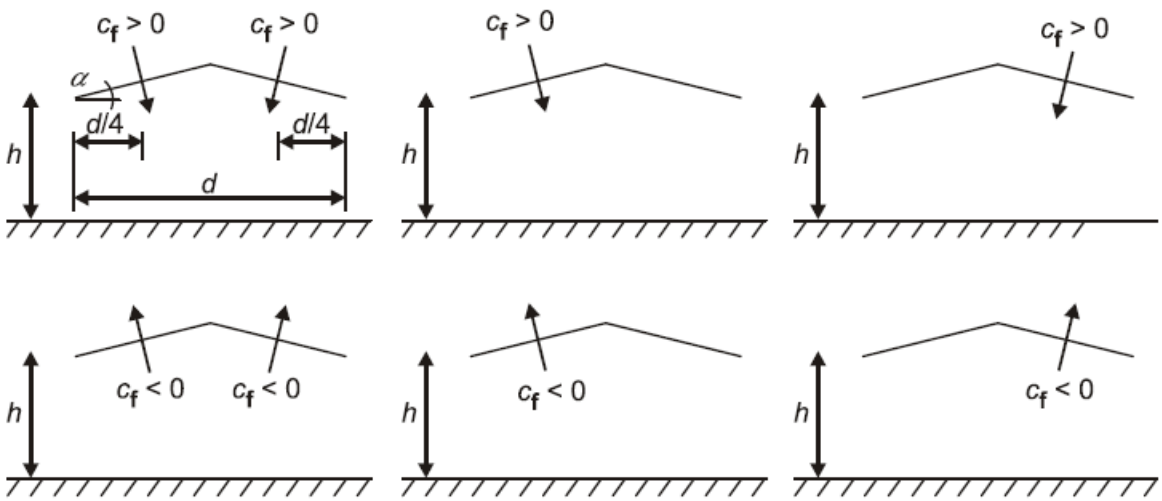
$c_{pe,10}(oblast\ C\ ) = -1{,}4/+1{,}6$

$c_{pe,10}(oblast\ D\ ) = -2{,}0/+0{,}7$

hodnota součinitele c_f:

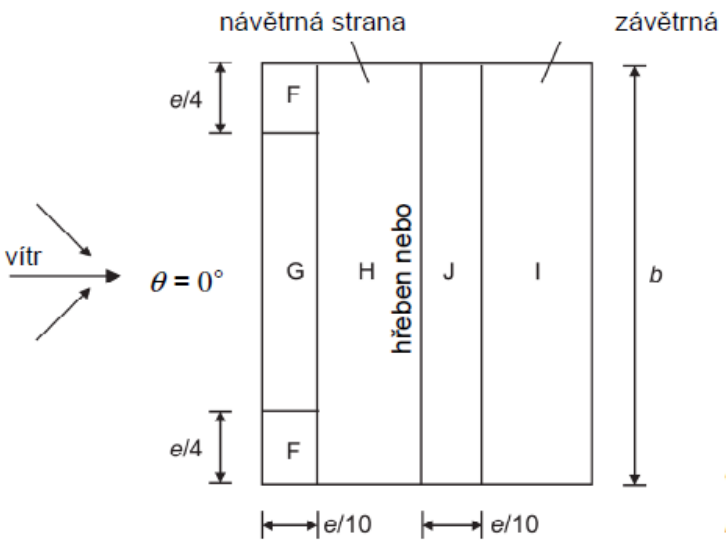
$c_f = -1{,}3/+0{,}9$





$$\frac{d}{4} = \frac{4}{4} = 1m$$

2. směr větru 180° (sedlová střecha):



$$e = min\begin{Bmatrix} b \\ 2h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 4{,}5 \\ 2 * 8{,}7 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 45 \\ 17{,}4 \end{Bmatrix} = 17{,}4\ m$$

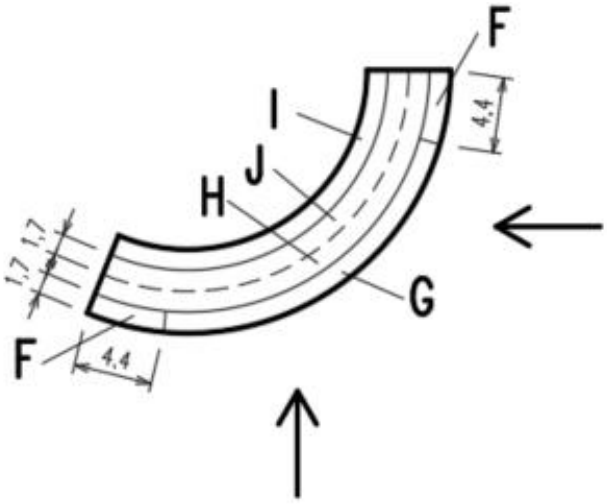
$b = 45\ m$ (uvažovaný rozměr kolmý na směr větru)

$h = 8{,}7\ m$ (uvažovaná výška stavby)

$\frac{e}{4} = \frac{17{,}4}{4} = 4{,}4\ m$

$\frac{e}{10} = \frac{17{,}4}{10} = 1{,}7\ m$

hodnoty součinitelů C_{pe}:



$c_{pe,10}(oblast\ F) = -0{,}5/+0{,}7$

$c_{pe,10}(oblast\ G) = -0{,}5/+0{,}7$

$c_{pe,10}(oblast\ H) = -0{,}2/+0{,}4$

$c_{pe,10}(oblast\ I) = -0{,}4/+0{,}0$

$c_{pe,10}(oblast\ J) = -0{,}5/+0{,}0$

2.1.2.2.3 Střecha nad vstupem

Střechu nad vstupem počítáme jako přístřešek.

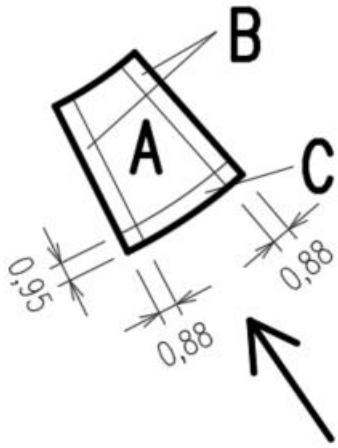
$\frac{d}{10} = \frac{9{,}5}{10} = 0{,}95\ m$

$d = 9{,}5\ m$ (rozměr střechy rovnoběžný se směrem větru)

$\frac{b}{10} = \frac{8{,}8}{10} = 0{,}88\ m$

$b = 8{,}8\ m$ (rozměr kolmý na směr větru)

hodnoty součinitelů C_{pe}:



$c_{pe,10}(oblast\ A) = -1{,}5/+0{,}5$

$c_{pe,10}(oblast\ B) = -1{,}8/+1{,}8$

$c_{pe,10}(oblast\ C) = -2{,}2/+1{,}1$

hodnota součinitele c_f:

$c_f = -1{,}3/+0{,}2$

2.1.3 Užitné zatížení

Užitné zatížení na 1.NP v ploše celého objektu odpovídá kategorii D1 – plochy v obchodních domech.

charakteristická hodnota plošného zatížení: $q_k = 5{,}0\ kN/m^2$

charakteristická hodnota samostatně působícího soustředěného zatížení: $Q_k = 7{,}0\ kN$

Užitné zatížení na nepochozí ploché střeše uvažujeme vždy na maximální ploše 10 m_2

$q_k = 0{,}75\ kN/m^2$

2.2 Stálé zatížení

2.2.1 Střešní plášť

	Charakteristické z. [kN/m^2]	γ_G [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
hydroizolační fólie	0,05	1,35	0,07
minerální vata	0,20*0,5=0,1	1,35	0,14
trapézový plech	0,12	1,35	0,16
Celkem:	0,27		0,37

2.2.2 Stropní konstrukce

	Charakteristické z. [kN/m^2]	γ_G [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
betonová deska	0,087*25=2,18	1,35	2,94
trapézový plech	0,088	1,35	0,12
Celkem:	2,27		3,06

3 Návrh zastřešení prodejen

Zastřešení prostoru s prodejnami bude provedeno pomocí skládaného pláště tvořeného hydroizolační vrstvou, tepelně izolační vrstvou a trapézovým plechem. Skládaný plášť bude nesen soustavou vaznic profilů IPE.

3.1 Návrh trapézového plechu

a) zatížení

Stálé zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m^2]
hydroizolační fólie	0,05
minerální vlna	0,1
trapézový plech	0,12
Celkem:	0,27
Proměnné zatížení:	
sníh	1,16
užitné	0,75
sání větru	-1,28

kombinace zatížení pro MSÚ:

$f_{d,1} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sníh + \psi_0 * \gamma_Q * užitné =$

$= 1{,}35 * 0{,}27 + 1{,}5 * 1{,}16 + 0{,}7 * 1{,}5 * 0{,}75 = 2{,}89\, kN/m^2$

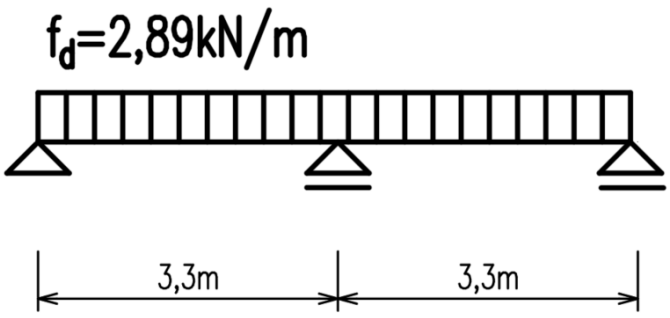
$f_{d,2} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sání\ větru = 1{,}0 * 0{,}27 - 1{,}5 * 1{,}28 = -1{,}68\, kN/m^2$

kombinace zatížení pro MSP:

$f_{k,1} = stálé + sníh + \psi_0 * užitné = 0{,}27 + 1{,}16 + 0{,}7 * 0{,}75 = 1{,}96\, kN/m^2$

$f_{k,2} = stálé + sání\ větru = 0{,}27 - 1{,}28 = -1{,}01\, kN/m^2$

b) statické schéma



c) návrh

TR 85/280/0,88

pro rozpětí 3,5 m jsou uvedeny únosnosti: $q_d = 3{,}31\,kN/m^2$, $q_k = 4{,}76\,kN/m^2$

uvažujeme pozitivní polohu plechu

hodnoty jsou převzaté od výrobce – viz. příloha

3.2 Návrh vaznice

Uvažujeme delší vaznici – odůvodnění viz. návrh stropnice.

a) zatížení

Stálé zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
hydroizolační fólie	0,05*2,6=0,13
minerální vlna	0,20*0,5*2,6=0,26
trapézový plech	0,12*2,6=0,31
IPE profil	0,2
Celkem:	0,90
Proměnné zatížení:	
sníh	1,16*2,6=3,02
užitné	0,75*2=1,5
sání větru	-1,28*2,6=3,33

Užitné zatížení na nepochozích střechách se doporučuje uvažovat na maximální ploše 10 m^2.

$$ZŠ = \frac{A}{L} = \frac{10}{5{,}18} \cong 2\,m$$

$L = 5{,}18\,m$ (rozpětí nejdelší vaznice)

$A = 10\,m^2$ (uvažovaná plocha užitného zatížení)

kombinace zatížení pro MSÚ:

$$f_{d,1} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sníh + \psi_0 * \gamma_Q * užitné =$$

$= 1{,}35 * 0{,}90 + 1{,}5 * 3{,}02 + 0{,}7 * 1{,}5 * 1{,}5 = 7{,}32\, kN/m$

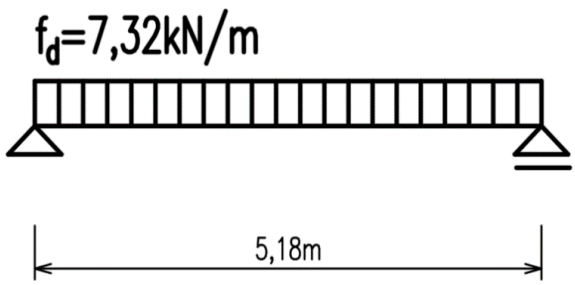
$$f_{d,2} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sání\ větru = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * 3{,}33 = -4{,}10\, kN/m$$

kombinace zatížení pro MSP:

$f_{k,1} = stálé + sníh + \psi_0 * užitné = 0{,}90 + 3{,}02 + 0{,}7 * 1{,}5 = 4{,}97\, kN/m$

$f_{k,2} = stálé + sání\ větru = 0{,}90 - 3{,}33 = -2{,}43\, kN/m$

b) statické schéma



c) vnitřní síly

$V_{Ed} = \frac{1}{2} * f_d * L = \frac{1}{2} * 7{,}32 * 5{,}18 = 18{,}96\, kN$

$M_{Ed,1} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 7{,}32 * 5{,}18^2 = 24{,}55\, kNm$

$M_{Ed,2} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 4{,}10 * 5{,}18^2 = 13{,}75\, kNm$

d) návrh

$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{24{,}55 * 10^6}{235} = 104468\, mm^3$

Návrh: IPE 180

$W_{pl,y} = 166400\, mm^3$ $\quad A = 2395\, mm^2$

$m = 18{,}8\, kg/m'$ $\quad I_y = 1317 * 10^4 mm^4$

$A_{vz} = 1125\, mm^2$ $\quad$ třída 1 pro ohyb k ose y

e) posouzení MSÚ

kombinace zatížení $f_{d,1}$ – klopení je zabráněno trapézovým plechem:

$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 166400 * 235 = 39{,}10\, kNm > M_{Ed} = 24{,}55\, kNm$

$Vyhovuje.$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1125 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 152{,}64\ kN \gg V_{Ed} = 18{,}96\ kN$$

$Vyhovuje.$

kombinace zatížení $f_{d,2}$ – klopení není zabráněno:

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166400 * 235}{52{,}7 * 10^6}} = 0{,}86$$

$M_{cr} = 52{,}7\ kNm$ (kritický moment při klopení – viz. příloha)

$$\phi_{LT} = 0{,}5 * \left[1 + \alpha_{LT} * \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 * [1 + 0{,}21 * (0{,}86 - 0{,}4) + 0{,}7 * 0{,}86^2] =$$

$$= 0{,}81$$

$\alpha_{LT} = 0{,}21; \frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1{,}98 < 2 \rightarrow křivka\ klopení\ „a“$

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

$\beta = 0{,}7$

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	a b
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	c d
Jiné průřezy	–	d

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}{}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2}} = \frac{1}{0{,}81 + \sqrt{0{,}81^2 - 0{,}7 * 0{,}86^2}} = 0{,}85$$

$$ale\ \chi_{LT} \leq 1;\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^{2}} = \frac{1}{0{,}86^2} = 1{,}35$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0{,}85 * 166400 * \frac{235}{1{,}0} = 33{,}24\ kNm > M_{Ed,2} = 13{,}75\ kNm$$

$Vyhovuje.$

f) posouzení MSP

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{f_k * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{4{,}97 * 5180^4}{210000 * 1317 * 10^4} = 16{,}85\ mm$$

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{5180}{250} = 20{,}72\ mm$$

$\delta < \delta_{lim} \rightarrow Vyhovuje.$

4 Návrh zastřešení pasáže

Zastřešení pasáže bude provedeno pomocí polykarbonátových desek, vaznic tvořených uzavřenými čtvercovými profily a nosným vazníkem.

4.1 Návrh polykarbonátových desek

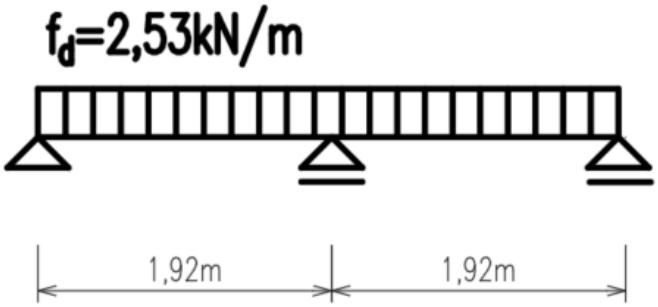
a) zatížení

Proměnné zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
sníh	0,8*cos(27°)=0,71
tlak větru	1,9*0,7=1,33
sání větru	-1,8*0,7=-1,26

kombinace zatížení pro MSÚ:

$$f_d = tlak\ větru * \gamma_Q + sníh * \psi_0 * \gamma_Q = 1{,}33 * 1{,}5 + 0{,}71 * 0{,}5 * 1{,}5 = 2{,}53\ kN/m$$

b) statické schéma



c) vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 2{,}53 * 1{,}92^2 = 1{,}17\ kNm$$

d) návrh

Polykarbonátová komůrková deska AKYVER 7W12 tl. 20 mm

Únosnost 0,75 kN/m^2 pro L = 6 m

e) posouzení

$$M_{Rd} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 0{,}75 * 6^2 = 3{,}38\ kNm > M_{Ed} = 1{,}17\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$$

4.2 Návrh vaznice

a) zatížení

Stálé zatížení	
	Charakteristické z. [kN/m]
polykarbonátové d.	0,028*1,92*cos(27°)=0,05
profil JEKL	0,5
Celkem	0,25
Proměnné zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
sníh	0,8*1,92*cos(27°)=1,37
tlak větru	1,9*0,7*1,92=2,55
sání větru	-1,8*0,7*1,92=-2,42

kombinace zatížení pro MSÚ:

$f_d = stálé * \gamma_G + sníh * \gamma_Q = 0{,}25 * 1{,}35 + 1{,}37 * 1{,}5 = 2{,}36\, kN/m$

$f_{z,d} = \cos\alpha * f_d + tlak\ větru * \gamma_Q = \cos 27° * 2{,}36 + 2{,}55 * 1{,}5 = 5{,}93\, kN/m$

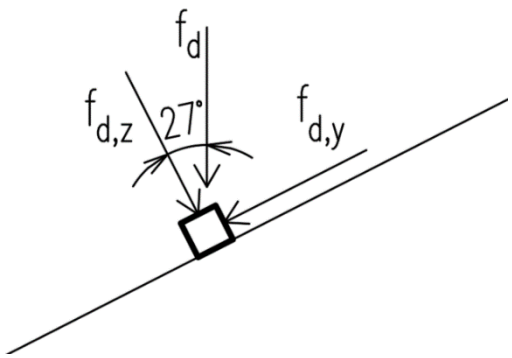
$f_{y,d} = \sin\alpha * f_d = \sin 27° * 2{,}36 = 1{,}07\, kN/m$

kombinace zatížení pro MSP:

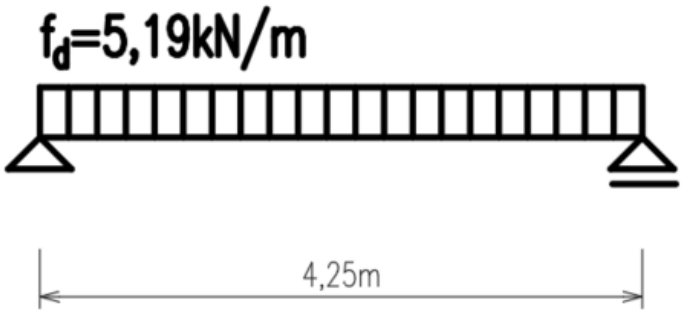
$f_k = stálé + sníh = 0{,}25 + 1{,}37 = 1{,}62\, kN/m$

$f_{z,k} = \cos\alpha * f_k + tlak\ větru = \cos 27° * 1{,}62 + 2{,}55 = 3{,}99\, kN/m$

$f_{y,k} = \sin\alpha * f_k = \sin 27° * 1{,}62 = 0{,}74\, kN/m$



b) statické schéma



c) vnitřní síly

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} * f_{z,d} * L^2 = \frac{1}{8} * 5{,}93 * 4{,}25^2 = 13{,}39\, kNm$$

$$M_{z,Ed} = \frac{1}{8} * f_{z,d} * L^2 = \frac{1}{8} * 1{,}07 * 4{,}25^2 = 2{,}42\, kNm$$

d) návrh

Návrh: TR 140/80/4,0

$W_{pl,y} = 77100\ mm^3$ $W_{pl,z} = 52200\ mm^3$

$I_y = 534 * 10^4\ mm^4$ $I_z = 221 * 10^4\ mm^4$

$\mathrm{A} = 1680\ mm^2$ třída 1 pro ohyb k osám y,z

e) posouzení MSÚ

$$M_{y,Rd} = W_{pl,y} * f_y = 77100 * 235 = 18{,}12\ kNm$$

$$M_{z,Rd} = W_{pl,z} * f_y = 52200 * 235 = 12{,}27\ kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{13{,}39}{18{,}12} + \frac{2{,}42}{12{,}27} = 0{,}94 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

f) posouzení MSÚ

$$\delta_z = \frac{5}{384} * \frac{f_{z,k} * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{3{,}99 * 4250^4}{210000 * 534 * 10^4} = 15{,}11\ mm$$

$$\delta_y = \frac{5}{384} * \frac{f_{y,k} * L^4}{E * I_z} = \frac{5}{384} * \frac{0{,}74 * 4250^4}{210000 * 221 * 10^4} = 6{,}77\ mm$$

$$\delta = \sqrt{{\delta_z}^2 + {\delta_y}^2} = \sqrt{15{,}11^2 + 6{,}77^2} = 16{,}56\ mm$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{4250}{250} = 17\ mm$$

$$\delta = 16{,}56\ mm < \delta_{lim} = 17\ mm \rightarrow Vyhovuje.$$

4.3 Návrh vazníku

a) zatížení

Stálé zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
polykarbonátové d.	0,028*4,6=0,13
vaznice	0,16*4,6=0,74
Celkem:	0,87
Proměnné zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
sníh	0,8*4,6=3,68
tlak větru	viz. zatěžovací stavy
sání větru	viz. zatěžovací stavy

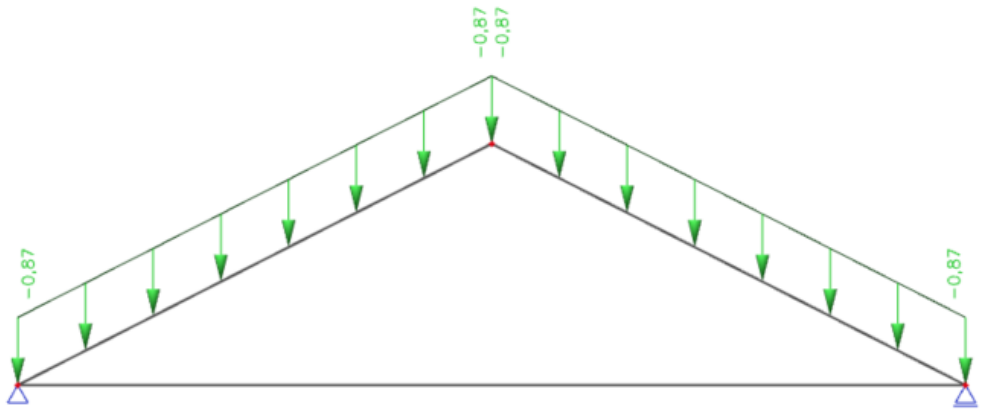
b) zatěžovací stavy

ZS1 vlastní tíha

generováno automaticky softwarem

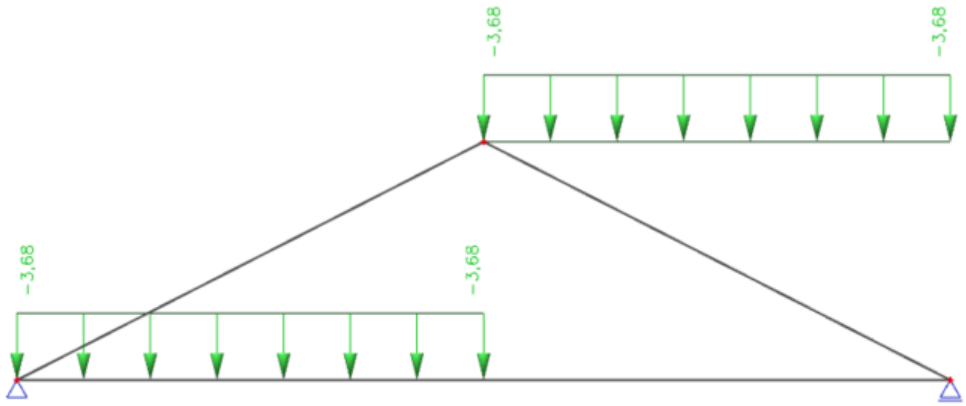
ZS2 stálé zatížení

$f_k = 0{,}87\ kN/m$



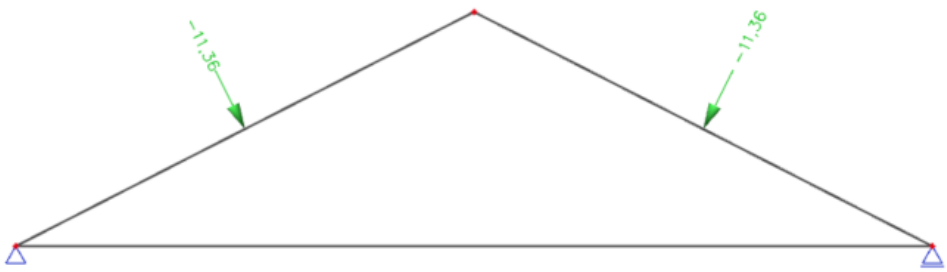
ZS3 sníh

$f_k = 3{,}68\ kN/m$



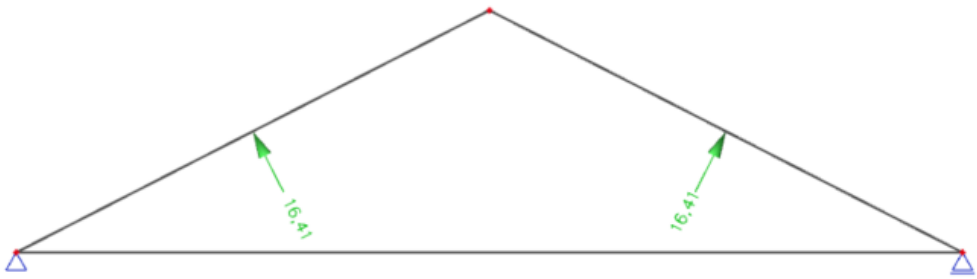
ZS4 tlak větru

$F_k = c_f * q_p * A = 0{,}9 * 0{,}7 * 4{,}6 * 3{,}92 = 11{,}36\ kN$



ZS5 sání větru

$F_k = c_f * q_p * A = -1{,}3 * 0{,}7 * 4{,}6 * 3{,}92 = -16{,}41\ kN$



c) kombinace zatěžovacích stavů

KZS1

$vlastní\ tíha * \gamma_G + stálé\ zatížení * \gamma_G + sníh * \gamma_Q + tlak\ větru * \psi_0 * \gamma_Q$

$\gamma_G = 1{,}35$

$\gamma_Q = 1{,}5$

$\psi_0 = 0{,}6$

KZS2

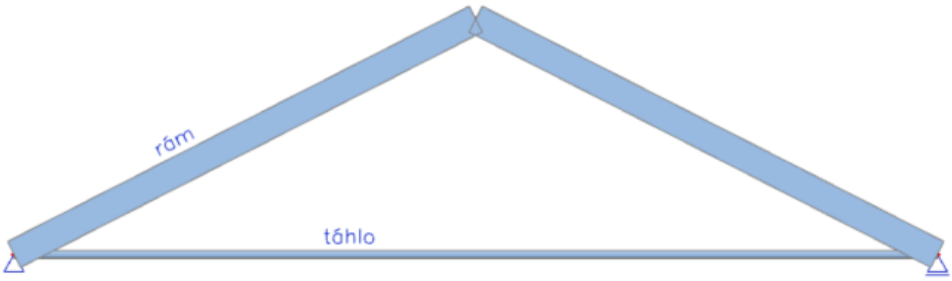
$vlastní\ tíha * \gamma_G + stálé\ zatížení * \gamma_G + sání\ větru * \gamma_Q$

$\gamma_G = 1{,}0$ (pro stálé zatížení působící příznivě)

$\gamma_Q = 1{,}5$

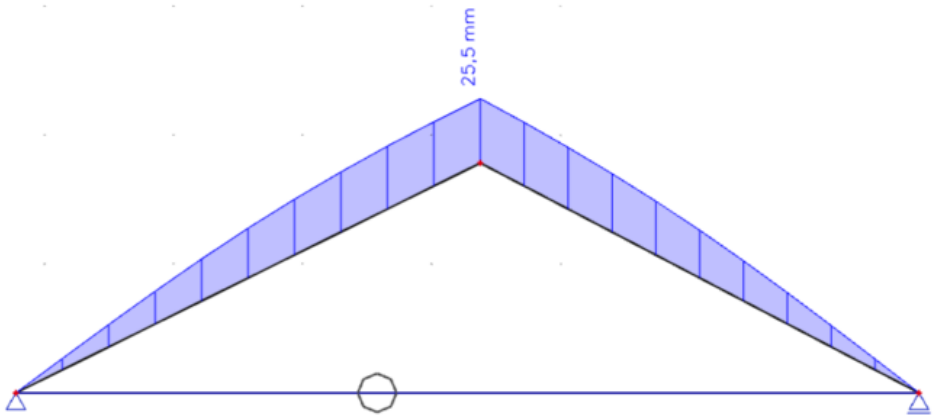
4.3.1 Varianta rámu s táhlem

a) model



Prvek	Průřez
rám	TR 220/120/8
táhlo	ocelová tyč D = 26 mm

b) deformace:

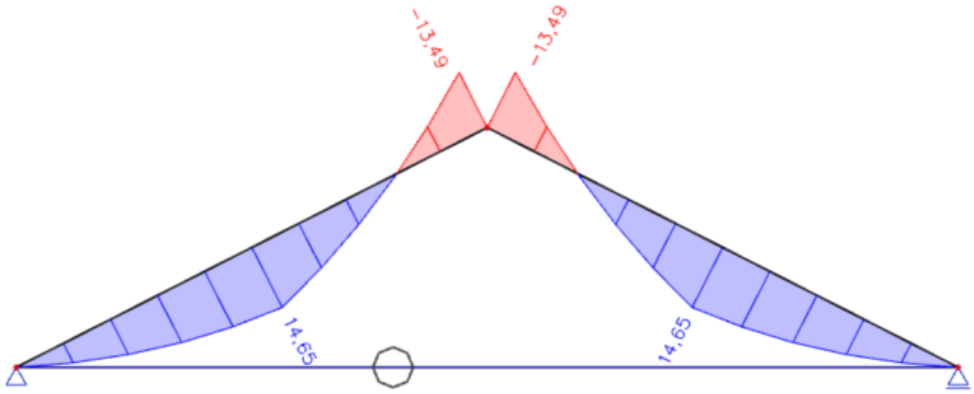


$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{7000}{250} = 28\ mm$$

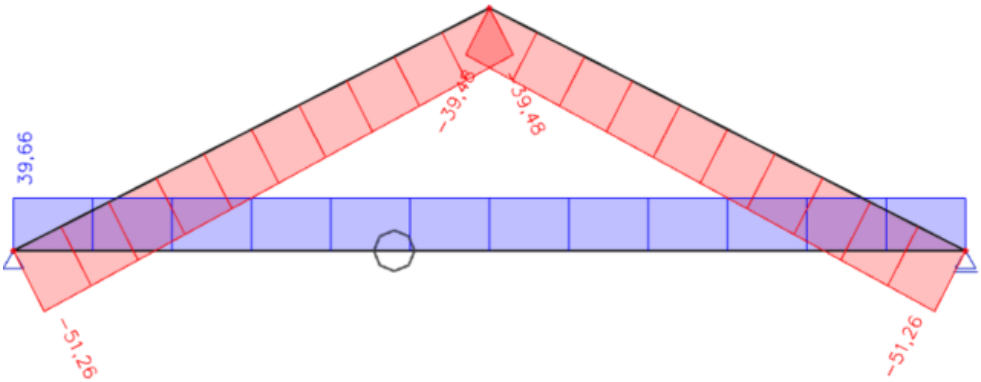
vnitřní síly

KZS1:

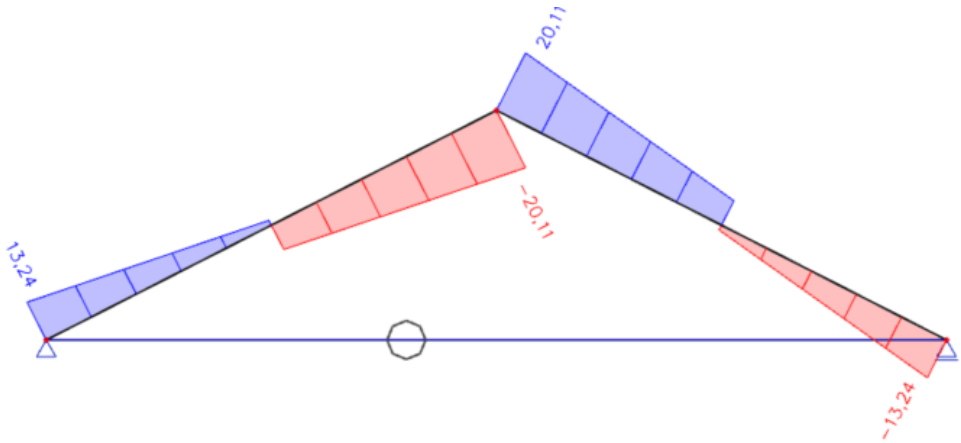
M [kNm]



N [kN]

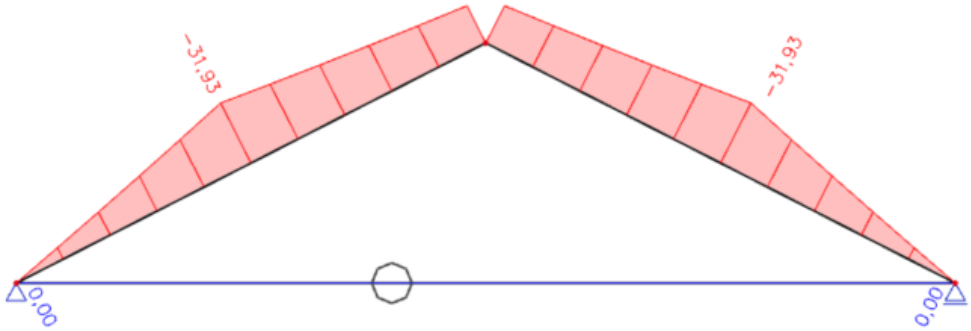


V [kN]

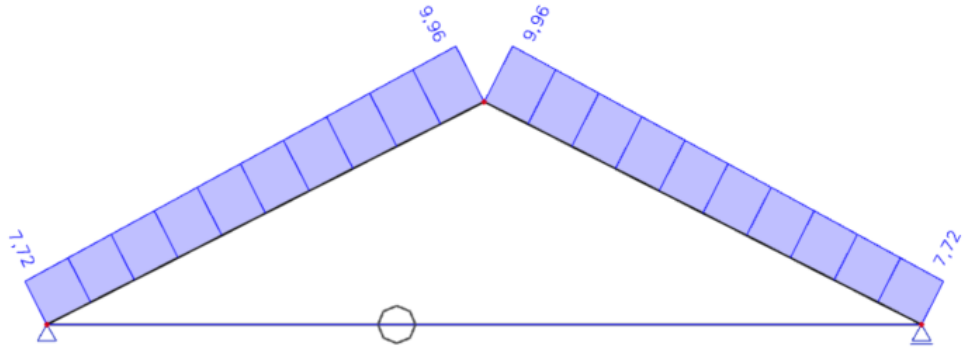


KZS2

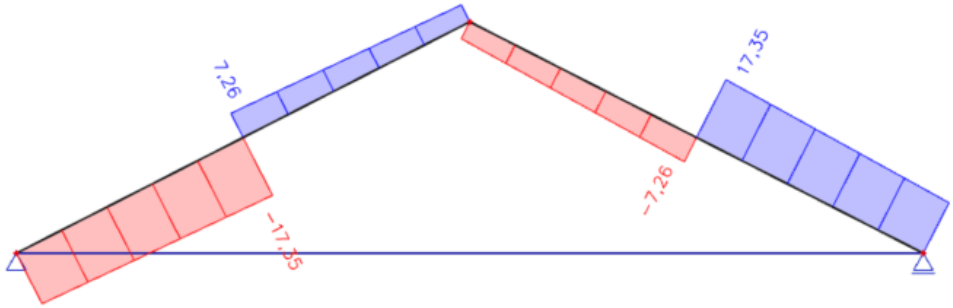
M [kNm]



N [kN]



V [kN]



c) posouzení

KZS1

Rám:

Rám posoudíme na kombinaci tlaku a ohybu.

Průřez: TR 220/120/8

$W_{pl,y} = 362 * 10^3 mm^3$ $\quad A = 5120 mm^2$

$i_y = 79{,}1\ mm$ $\quad i_z = 49\ mm$

třída 1 pro ohyb k ose y

vnitřní síly:

$N_{Ed} = 51{,}26\ kN$

$M_{Ed} = 14{,}65\ kNm$

$N_{Rk} = A * f_y = 5120 * 235 = 1203{,}20\ kN$

$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 362 * 10^3 * 235 = 85{,}07\ kNm$

vzpěrné délky:

$L_{cr,y} = 7\ m$

$L_{cr,z} = 1{,}75\ m$

štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7000}{79{,}1} = 88{,}50$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{z} = \frac{1750}{49} = 35{,}71$$

poměrné štíhlosti:

$$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{88{,}50}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0{,}94$$

$$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{35{,}71}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0{,}38$$

vzpěrností součinitele:

$\chi_y = 0{,}575$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$\chi_z = 0{,}908$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

interakční součinitele:

$$k_{yy} = min \left\{ \begin{array}{c} C_{my} * \left(1 + \left(\overline{\lambda_y} - 0{,}2\right) * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_y * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_y * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= min\left\{\begin{matrix} 0{,}9 * \left(1 + (0{,}94 - 0{,}2) * \dfrac{51{,}26}{0{,}575 * \dfrac{1203{,}20}{1{,}0}}\right) \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \dfrac{51{,}26}{0{,}575 * \dfrac{1203{,}20}{1{,}0}}\right) \end{matrix}\right\} = min\begin{Bmatrix} 0{,}95 \\ 0{,}95 \end{Bmatrix} = 0{,}95$$

$$k_{zy} = 0{,}6 * k_{yy} = 0{,}6 * 0{,}95 = 0{,}57$$

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\dfrac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{51{,}26}{\dfrac{0{,}575 * 1203{,}20}{1{,}0}} + 0{,}95 * \frac{14{,}65}{\dfrac{1{,}0 * 85{,}07}{1{,}0}} = 0{,}25 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\dfrac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{51{,}26}{\dfrac{0{,}908 * 1203{,}20}{1{,}0}} + 0{,}57 * \frac{14{,}65}{\dfrac{1{,}0 * 85{,}07}{1{,}0}} = 0{,}15 \leq 1$$

$Vyhovuje.$

Táhlo:

Táhlo posoudíme na prostý tah.

Průřez: ocelová tyč D = 26 mm

$A = 531\ mm^2$

$N_{Ed} = 39{,}66\ kN$

$N_{Rd} = A * f_y = 531 * 235 = 124{,}79\ kN > N_{Ed} = 39{,}66\ kN \rightarrow Vyhovuje.$

KZS2

Rám:

Rám posoudíme na kombinaci tahu a ohybu.

$N_{Ed} = 7{,}72\ kN$

$M_{Ed} = 31{,}93\ kNm$

$N_{pl,Rd} = A * f_y = 5120 * 235 = 1203{,}20\ kN$

$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_y = 362 * 10^3 * 235 = 85{,}07\ kNm$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{7{,}72}{1203{,}2} = 6{,}42 * 10^{-3}$$

$$a_w = min\begin{Bmatrix} \frac{A - 2 * b * t}{A} \\ 0{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{5120 - 2 * 120 * 8}{5120} \\ 0{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}625 \\ 0{,}5 \end{Bmatrix} = 0{,}5$$

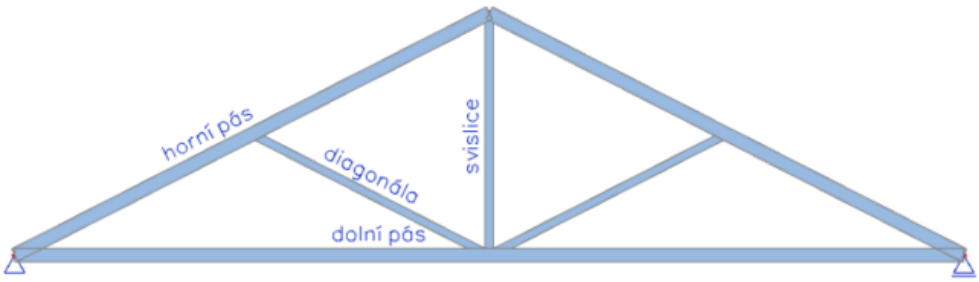
$$M_{N,Rd} = min\begin{Bmatrix} M_{pl,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0{,}5 * a_w} \\ M_{pl,Rd} \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 85{,}07 * \frac{1 - 6{,}42 * 10^{-3}}{1 - 0{,}5 * 0{,}5} \\ 85{,}07 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 112{,}70 \\ 85{,}07 \end{Bmatrix} =$$

$$= 85{,}07\ kNm$$

$$M_{Ed} = 31{,}93\ kNm < M_{N,Rd} = 85{,}06\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$$

4.3.2 Varianta příhradového vazníku

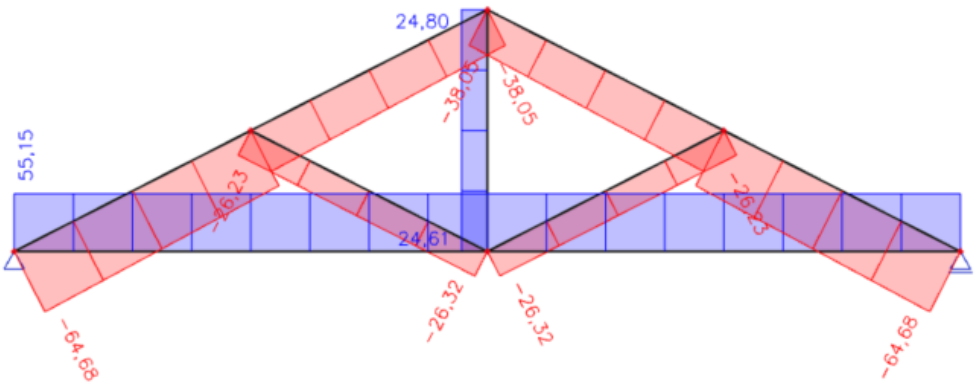
a) model



b) vnitřní síly

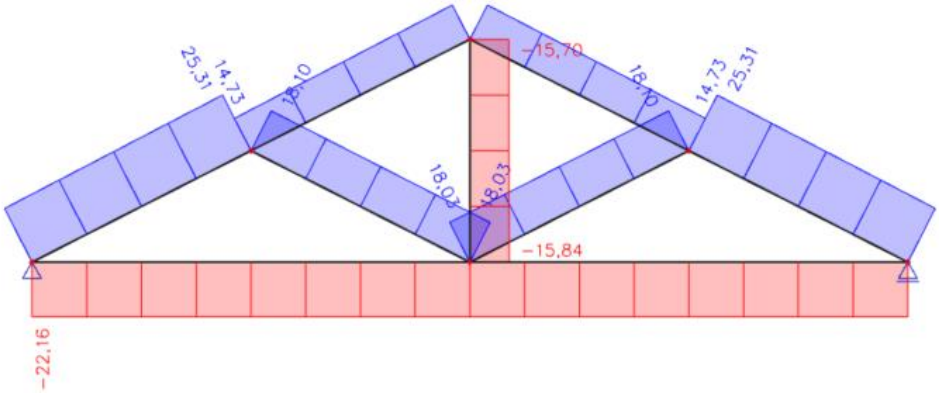
KZS1

N [kN]



KZS2

N [kN]



c) návrh a posouzení

Všechny prvky příhradového vazníku posoudíme na vzpěrný tlak.

horní pás:

Návrh: TR 70/70/4

$A = 1040\ mm^2$ $\qquad$ $i = 26{,}8\ mm$

$N_{c,Ed} = 64{,}68\ kN$

$N_{t,Ed} = 25{,}31\ kN$

$L_{cr} = 3{,}92\ m$ (vybočení z roviny)

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3920}{26{,}8} = 146{,}27 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{100{,}26}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}56$$

$\chi = 0{,}296$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}296 * 1040 * 235 = 72{,}34\ kN > N_{c,Ed} = 64{,}68\ kN$

$Vyhovuje.$

Tahová síla v horním pásu je menší než síla tlaková, tudíž tah nebudeme posuzovat.

dolní pás:

Návrh: TR 90/90/3,6

$A = 1230\ mm^2$ $\qquad$ $i = 35{,}2\ mm$

$N_{c,Ed} = 22{,}16\ kN$

$N_{t,Ed} = 55{,}15\ kN$

$L_{cr} = 7\ m$ (vybočení z roviny)

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7000}{35{,}2} = 198{,}86 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{198{,}86}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 2{,}12$$

$\chi = 0{,}177$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}177 * 1230 * 235 = 51{,}16\ kN > N_{c,Ed} = 22{,}16\ kN$

$N_{t,Rd} = A * f_y = 1230 * 235 = 289{,}05\ kN > N_{t,Ed} = 55{,}15\ kN$

diagonála:

Návrh: TR 40/40/2,9

$A = 421\ mm^2$ $\qquad$ $i = 15{,}0\ mm$

$N_{c,Ed} = 26{,}32\ kN$

$N_{t,Ed} = 18{,}10\ kN$

$L_{cr} = 1{,}96\ m$ (vybočení z roviny)

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1960}{15{,}0} = 130{,}67 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{130{,}67}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}39$$

$\chi = 0{,}353$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}353 * 421 * 235 = 34{,}92\ kN > N_{c,Ed} = 26{,}32\ kN$

$Vyhovuje.$

Tahová síla v diagonále je menší než síla tlaková, tudíž tah nebudeme posuzovat.

svislice:

Návrh: TR 40/40/2,9

$A = 421\ mm^2$ $\qquad$ $i = 15{,}0\ mm$

$N_{c,Ed} = 15{,}84\ kN$

$N_{t,Ed} = 24{,}80\ kN$

$L_{cr} = 1{,}78\ m$ (vybočení z roviny)

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1780}{15{,}0} = 118{,}67 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{118{,}67}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}26$$

$\chi = 0{,}406$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}406 * 421 * 235 = 40{,}17\ kN > N_{c,Ed} = 15{,}84\ kN$

$N_{t,Rd} = A * f_y = 421 * 235 = 98{,}94\ kN > N_{t,Ed} = 24{,}80\ kN$

$Vyhovuje.$

d) závěr

Po uvážení volíme variantu příhradového vazníku. Vzhledem k velkému sání větru není varianta s táhlem příliš výhodná. Příhradový vazník má menší také menší hmotnost.

5 Návrh zastřešení vstupu

Zastřešení vstupu do pasáže bude provedeno pomocí skládaného pláště neseného soustavou vaznic, stejně jako u zastřešení prostor s prodejnami.

5.1 Návrh trapézového plechu

a) zatížení

Stálé zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m^2]
hydroizolační fólie	0,05
minerální vlna	0,20*0,5=0,1
trapézový plech	0,12
Celkem:	0,27
Proměnné zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
sníh	1,74 (krajní pole)
užitné	0,75
tlak větru	(0,77*0,95+0,35*2,2)/3,15=0,48
sání větru	(-1,05*0,95-1,54*2,2)/3,15=-1,39

kombinace zatížení pro MSÚ

$$f_{d,1} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sníh + \psi_0 * \gamma_Q * užitné + \psi_0 * \gamma_Q * tlak\ větru =$$

$$= 1{,}35 * 0{,}27 + 1{,}5 * 1{,}74 + 0{,}7 * 1{,}5 * 0{,}75 + 0{,}6 * 1{,}5 * 0{,}48 = 4{,}19\, kN/m^2$$

$$f_{d,2} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sání\ větru = 1{,}0 * 0{,}27 - 1{,}5 * 1{,}39 = -1{,}82\, kN/m^2$$

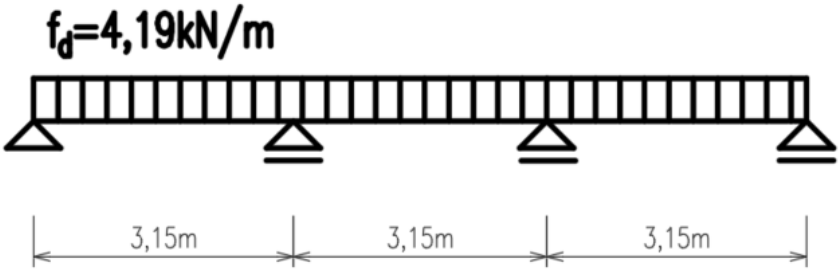
kombinace zatížení pro MSP

$$f_{k,1} = stálé + sníh + \psi_0 * užitné + \psi_0 * tlak\ větru =$$

$$= 0{,}27 + 1{,}74 + 0{,}7 * 0{,}75 + 0{,}6 * 0{,}48 = 2{,}82\, kN/m^2$$

$$f_{k,2} = stálé + sání\ větru = 0{,}27 - 1{,}39 = -1{,}12\, kN/m^2$$

b) statické schéma



c) návrh plechu

TR 85/280/0,88

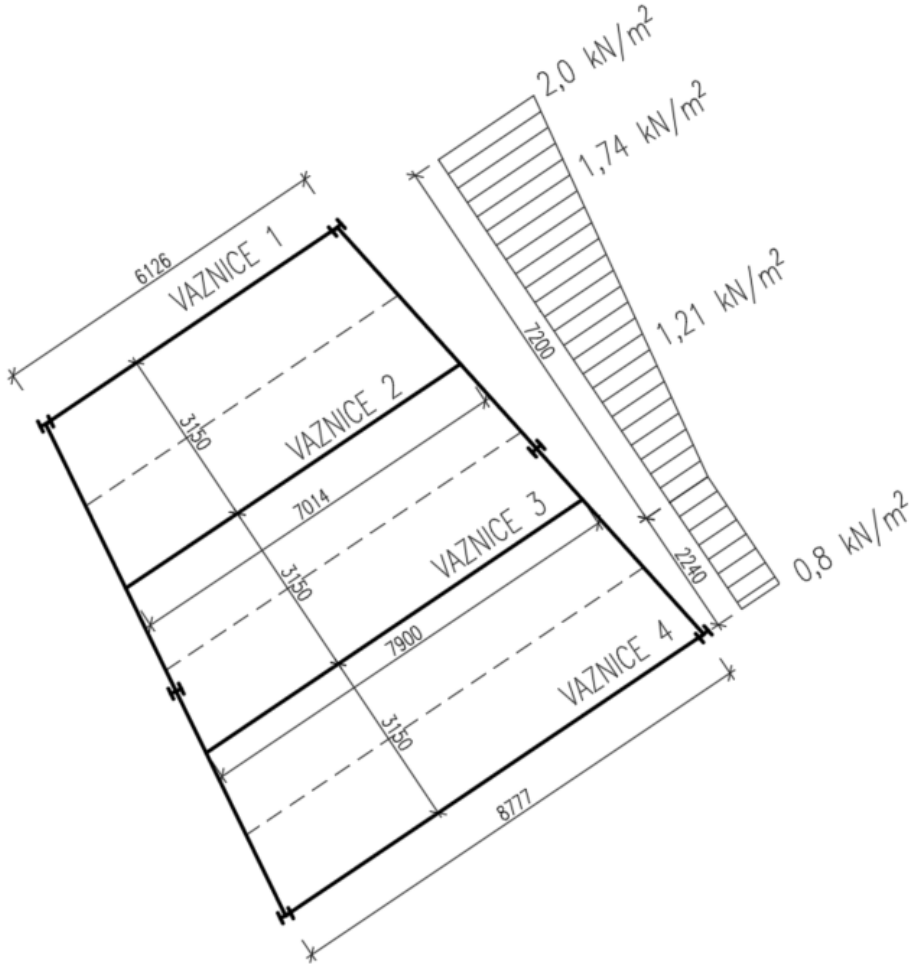
pro rozpětí 3,25 m jsou uvedeny únosnosti: $q_d = 4{,}52\ kN/m^2$, $q_k = 4{,}69\ kN/m^2$

uvažujeme pozitivní polohu plechu

hodnoty jsou převzaté od výrobce – viz. příloha

5.2 Návrh vaznice

Kvůli sněhové návěji a rozdílným rozpětím musíme nejdříve nalézt nejvíce namáhanou vaznici.



vaznice 1:

$$s_k = \frac{2{,}0 + 1{,}74}{2} * \frac{3{,}15}{2} = 3{,}45\, kN/m$$

$$M_s = \frac{1}{8} * s_k * L^2 = \frac{1}{8} * 3{,}45 * 6{,}126^2 = 16{,}18\, kNm$$

vaznice 2:

$$s_k = \frac{1{,}74 + 1{,}21}{2} * 3{,}15 = 4{,}65\, kN/m$$

$$M_s = \frac{1}{8} * s_k * L^2 = \frac{1}{8} * 4{,}65 * 7{,}014^2 = 28{,}60\, kNm$$

vaznice 3:

$$s_k = \frac{1{,}21 + 0{,}8}{2} * 3{,}15 = 3{,}17\, kN/m$$

$$M_s = \frac{1}{8} * s_k * L^2 = \frac{1}{8} * 3{,}17 * 7{,}9^2 = 24{,}73\, kNm$$

vaznice 4:

$$s_k = 0{,}8 * \frac{3{,}15}{2} = 1{,}26\, kN/m$$

$$M_s = \frac{1}{8} * s_k * L^2 = \frac{1}{8} * 1{,}26 * 8{,}777^2 = 12{,}13\, kNm$$

Na MSÚ posoudíme vaznici 2, protože je nejvíce namáhaná. Na sání větru a MSP posoudíme vaznici 3, protože má větší rozpětí.

a) zatížení

Stálé zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
hydroizolační fólie	0,05*3,15=0,16
minerální vlna	0,20*0,5*3,15=0,32
trapézový plech	0,08*3,15=0,25
vaznice	0,4
Celkem:	1,13
Proměnné zatížení:	
	Charakteristické z. [kN/m]
sníh	4,65
užitné	0,75*1,43=1,07
tlak větru	0,35*3,15=1,10
sání větru	-1,05*3,15=-3,31

Užitné zatížení na nepochozích střechách se doporučuje uvažovat na maximální ploše 10 m^2.

$$ZŠ = \frac{A}{L} = \frac{10}{7{,}01} \cong 1{,}43\, m$$

$L = 7{,}01\, m$ (rozpětí vaznice)

$A = 10\, m^2$ (uvažovaná plocha užitného zatížení)

kombinace zatížení pro MSÚ

vaznice 2:

$f_{d,1} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sníh + \psi_0 * \gamma_Q * užitné + \psi_0 * \gamma_Q * tlak\ větru =$

$= 1{,}35 * 1{,}13 + 1{,}5 * 4{,}65 + 0{,}7 * 1{,}5 * 1{,}07 + 0{,}6 * 1{,}5 * 1{,}10 = 10{,}61\ kN/m^2$

vaznice 3:

$f_{d,2} = \gamma_G * stálé + \gamma_Q * sání\ větru = 1{,}0 * 1{,}13 - 1{,}5 * 3{,}31 = -3{,}84\ kN/m^2$

kombinace zatížení pro MSP

vaznice 3:

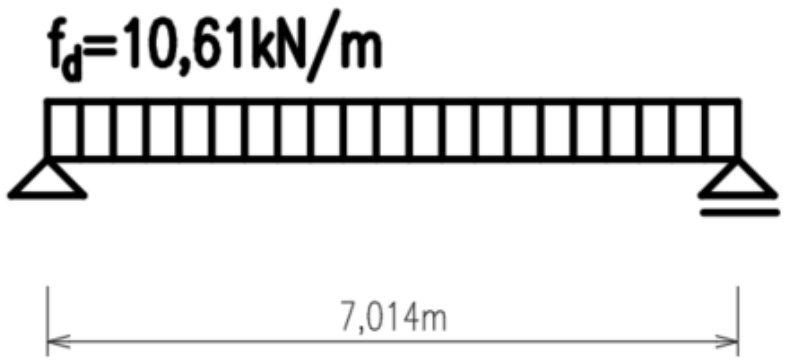
$f_{k,1} = stálé + sníh + \psi_0 * užitné + \psi_0 * tlak\ větru =$

$= 1{,}13 + 3{,}17 + 0{,}7 * 1{,}07 + 0{,}6 * 1{,}1 = 5{,}71\ kN/m^2$

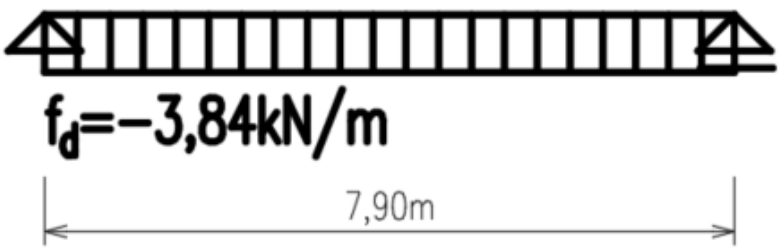
$f_{k,2} = stálé + sání\ větru = 1{,}13 - 3{,}31 = -2{,}18\ kN/m^2$

b) statické schéma

vaznice 2:



vaznice 3:



c) vnitřní síly

vaznice 2:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 10{,}61 * 7{,}01^2 = 65{,}17\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * f_d * L = \frac{1}{2} * 10{,}61 * 7{,}01 = 37{,}19\ kN$$

vaznice 3:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * f_d * L^2 = \frac{1}{8} * 3{,}84 * 7{,}90^2 = 29{,}96\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * f_d * L = \frac{1}{2} * 3{,}84 * 7{,}90 = 15{,}17\ kN$$

d) návrh

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{65{,}17 * 10^6}{235} = 277319\ mm^3$$

Návrh: IPE 270

$W_{pl,y} = 484000\ mm^3$	$A = 4595 mm^2$
$m = 36{,}1\ kg/m'$	$I_y = 5790 * 10^4 mm^4$
$A_{vz} = 2214\ mm^2$	třída 1 pro ohyb k ose y

e) posouzení MSÚ

vaznice 2 – klopení je zabráněno trapézovým plechem

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 484000 * 235 = 113{,}74\ kNm > M_{Ed} = 65{,}17\ kNm$$

$Vyhovuje.$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2214 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 300{,}39\ kN \gg V_{Ed} = 33{,}26\ kN$$

$Vyhovuje.$

vaznice 3 – klopení není zabráněno

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{484000 * 235}{160{,}8 * 10^6}} = 0{,}84$$

$M_{cr} = 160{,}8\ kNm$ (kritický moment při klopení – viz. příloha)

$$\phi_{LT} = 0{,}5 * \left[1 + \alpha_{LT} * \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 * [1 + 0{,}21 * (0{,}84 - 0{,}4) + 0{,}7 * 0{,}84^2] =$$

$$= 0{,}79$$

$\alpha_{LT} = 0{,}21; \frac{h}{b} = \frac{270}{135} = 2 \leq 2 \rightarrow$ *křivka klopení „a“*

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

$\beta = 0{,}7$

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	a b
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	c d
Jiné průřezy	–	d

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}{}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2}} = \frac{1}{0{,}79 + \sqrt{0{,}79^2 - 0{,}7 * 0{,}84^2}} = 0{,}87$$

$$ale\ \chi_{LT} \leq 1;\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^2} = \frac{1}{0{,}84^2} = 1{,}42$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0{,}87 * 484000 * \frac{235}{1{,}0} = 98{,}95\ kNm > M_{Ed} = 29{,}96\ kNm$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2214 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 300{,}39\ kN \gg V_{Ed} = 15{,}17\ kN$$

Vyhovuje.

f) posouzení MSP

$$\delta_1 = \frac{5}{384} * \frac{f_k * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{5{,}71 * 7900^4}{210000 * 5790 * 10^4} = 23{,}82\ mm$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{7900}{250} = 31{,}6\ mm > \delta_{lim} = 23{,}82\ mm \rightarrow Vyhovuje.$$

6 Návrh stropní konstrukce

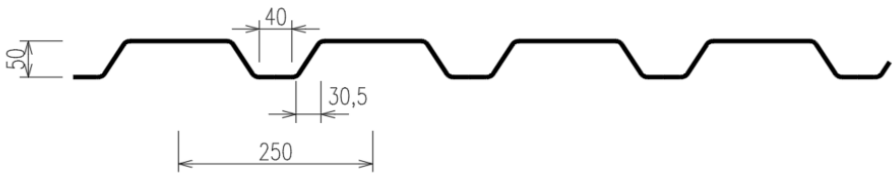
Stropní konstrukce bude tvořena ocelobetonovou deskou a ocelovými válcovanými profily IPE.

6.1 Návrh trapézového plechu

a) zatížení

Stálé zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m^2]	y_f [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
čerstvý beton	0,087*26=2,26	1,35	3,05
trapézový plech	0,088	1,35	0,12
Celkem:	2,35		3,17
Proměnné zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m^2]	y_f [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
montážní zvýšené	1,5	1,5	2,25
Celkem	1,5		2,25

střední tloušťka betonové desky:



$$t_{deska} = 70 + 50 * \frac{(54 + 30{,}5)}{250} = 87\ mm$$

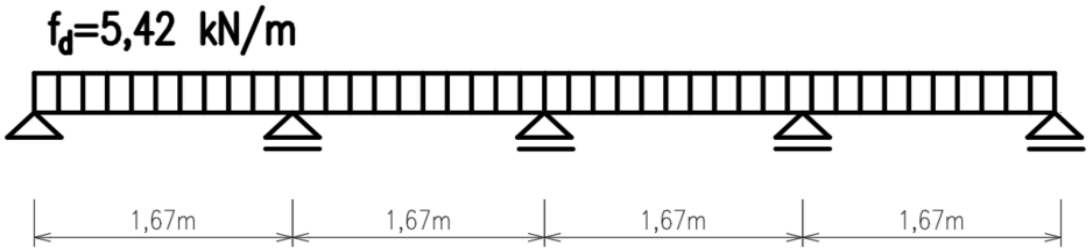
celkové charakteristické zatížení:

$$f_k = g_k + q_k = 2{,}35 + 1{,}5 = 3{,}85\ kN/m^2$$

celkové návrhové zatížení:

$f_d = g_d + q_d = 3{,}17 + 2{,}25 = 5{,}42\, kN/m^2$

b) statické schéma



c) návrh plechu:

TR 50/250/0,88

pro rozpětí 1,75 m jsou uvedeny únosnosti: $q_d = 7{,}14\, kN/m^2$, $q_k = 7{,}58\, kN/m^2$

uvažujeme pozitivní polohu plechu

hodnoty jsou převzaté od výrobce – viz. příloha

trapézový plech bude během montáže podepřen v polovině rozpětí

d) posouzení MSP:

proměnné rozpětí – L_{max} = 1,65 m

moment nad podporou:

$$M_{b,k} = -\frac{1}{10} * g_k * L^2 = -\frac{1}{10} * 2{,}35 * 1{,}65^2 = -0{,}64\, kNm$$

$g_k = 2{,}35\, kN/m^2$ (charakteristická hodnota stálého plošného zatížení)

$L = 1{,}65\, m$ (rozpětí jednoho pole trapézového plechu)

průhyb:

$$\delta = \frac{1}{E * I_{y,eff}} * \left(\frac{5}{384} * g_k * L^4 + \frac{1}{16} * M_{b,k} * L^2\right) =$$

$$= \frac{1}{210000 * 0{,}262 * 10^6} * \left(\frac{5}{384} * 2{,}35 * 1650^4 + \frac{1}{16} * (-0{,}64 * 10^6) * 1650^2\right) =$$

$$= 2{,}14\, mm$$

$E = 210000\, MPa$ (modul pružnosti materiálu plechu)

$I_{y,eff} = 0{,}262 * 10^6 mm^4$ (moment setrvačnosti plechu)

$$\delta_{lim} = \frac{L}{180} = \frac{1670}{180} = 9{,}28\ mm$$

$\delta < \delta_{lim}$

pokud je průhyb vyšší, než 1/10 průměrné výšky desky, musíme uvažovat „rybníkový efekt“:

$$\frac{70}{10} = 7\ mm$$

$\delta < 10\ mm \rightarrow$ rybníkový efekt nemusíme uvažovat

6.2 Návrh stropnice

Nejdříve pomocí jednotkového plošného zatížení zjistíme, na které stropnici vznikne větší ohybový moment.

delší stropnice

$L = 5{,}18\ m, ZŠ = 2{,}6\ m, g_{plošné} = 1\ kN/m^2$

$g_{liniové} = g_{plošné} * ZŠ = 1 * 2{,}6 = 2{,}6\ kN/m$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * g_{liniové} * L^2 = \frac{1}{8} * 2{,}6 * 5{,}18^2 = 8{,}72\ kN/m^2$$

kratší stropnice

$L = 4{,}33\ m, ZŠ = 3{,}1\ m, g_{plošné} = 1\ kN/m^2$

$g_{liniové} = g_{plošné} * ZŠ = 1 * 3{,}1 = 3{,}1\ kN/m$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * g_{liniové} * L^2 = \frac{1}{8} * 3{,}1 * 4{,}33^2 = 7{,}27\ kN/m^2$$

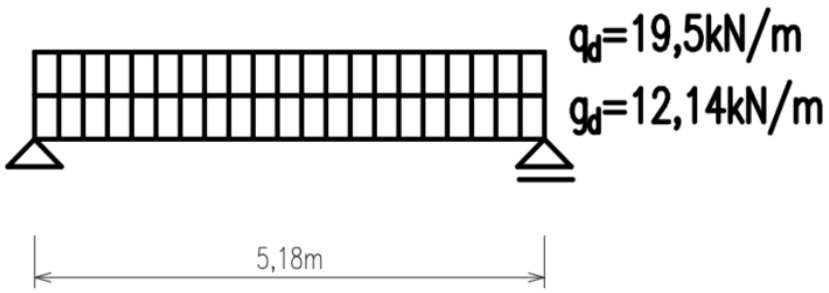
V dalších výpočtech budeme dimenzovat delší stropnici, protože na ni vzniká větší ohybový moment a tudíž i vyšší průhyb.

6.2.1 Nespřažená stropnice

a) zatížení

Stálé zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m]	y_g [-]	Návrhové z. [kN/m]
konstrukce podlahy	1,0*2,6=2,6	1,35	3,51
betonová deska	0,087*25*2,6=5,66	1,35	7,64
tr. plech	0,088*2,6=0,23	1,35	0,31
ocelový profil	0,5	1,35	0,68
Celkem:	8,99		12,14
Proměnné zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m^2]	y_q [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
užitné	5*2,6=13	1,5	19,5
Celkem:	13		19,5

b) statické schéma



c) vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_d + q_d) * L = \frac{1}{2} * (12{,}14 + 19{,}5) * 5{,}18 = 81{,}95\ kN$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g_d + q_d) * L^2 = \frac{1}{8} * (12{,}14 + 19{,}5) * 5{,}18^2 = 106{,}12\ kNm$$

d) návrh

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{106{,}12 * 10^6}{235} = 451574\ mm^3$$

Návrh: IPE 270

$W_{pl,y} = 484000\ mm^3$ $\quad$ $A = 4595 mm^2$

$m = 36{,}1\ kg/m'$ $\quad$ $I_y = 5790 * 10^4 mm^4$

$A_{vz} = 2214\ mm^2$ $\quad$ třída 1 pro ohyb k ose y

e) posouzení MSÚ

$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 484000 * 235 = 113{,}74\ kNm > M_{Ed} = 106{,}12\ kNm$

$Vyhovuje.$

$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2214 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 300{,}38\ kN \gg V_{Ed} = 81{,}95\ kN$

$Vyhovuje.$

f) posouzení MSP

$$\delta_1 = \frac{5}{384} * \frac{(g_k + q_k) * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{(8{,}99 + 13) * 5180^4}{210000 * 5790 * 10^4} = 16{,}95\ mm$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5180}{250} = 20{,}72\ mm$$

$\delta_1 < \delta_{lim} \rightarrow Vyhovuje.$

pokud je průhyb vyšší, než 1/10 průměrné výšky desky, musíme uvažovat „rybníkový efekt“:

$$\frac{100}{10} = 10\ mm$$

$\delta > 10\ mm \rightarrow$ rybníkový efekt musíme uvažovat

g) nové posouzení MSÚ

přitěžující tloušťka betonu:

$\delta_0 = 0{,}7 * \delta = 0{,}7 * 16{,}95 = 11{,}87\ mm$

přídavné zatížení:

$\Delta g_d = \delta_0 * zatěžovací\ šířka * \gamma_{beton} * \gamma_g = 0{,}01187 * 2{,}6 * 25 * 1{,}35 = 1{,}04\ kN/m'$

nový ohybový moment:

$$M_{Ed,2} = M_{Ed} + \frac{1}{8} * \Delta g_d * L^2 = 106{,}12 + \frac{1}{8} * 1{,}04 * 5{,}18^2 = 109{,}61\ kNm$$

$$M_{Ed,2} = 109{,}61\ kNm < M_{pl,Rd} = 113{,}74\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$$

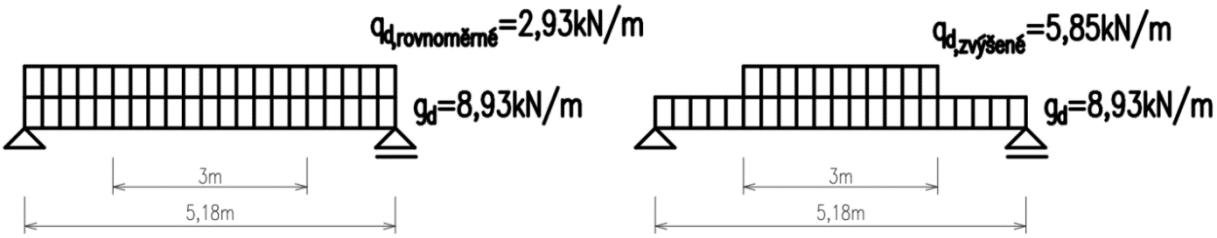
6.2.2 Stropnice spřažená s betonovou deskou

6.2.2.1 Montážní fáze

a) zatížení

Stálé zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m]	y_g [-]	Návrhové z. [kN/m]
čerstvý beton	2,26*2,6=5,88	1,35	7,94
tr. plech	0,088*2,6=0,23	1,35	0,31
ocelový profil	0,5	1,35	0,68
Celkem:	6,61		8,93
Proměnné zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m^2]	y_q [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
rovnoměrné	0,75*2,6=1,95	1,5	2,93
nebo			
zvýšené	1,5*2,6=3,9	1,5	5,85

b) statické schéma



c) vnitřní síly

$$V_{Ed,rovnoměrné\ q} = \frac{1}{2} * \left(g_d + q_{d,rovnoměrné}\right) * L = \frac{1}{2} * (8{,}93 + 2{,}93) * 5{,}18 = 30{,}72\ kN$$

$$M_{Ed,rovnoměrné\ q} = \frac{1}{8} * \left(g_d * q_{d,rovnoměrné}\right) * L^2 = \frac{1}{8} * (8{,}93 + 2{,}93) * 5{,}18^2 = 39{,}78\ kNm$$

$$V_{Ed,zvýšené\ q} = \frac{1}{2} * g_d * L + 1{,}5 * q_{d,zvýšené} = \frac{1}{2} * 8{,}93 * 5{,}18 + 1{,}5 * 5{,}85 = 31{,}90\ kN$$

$$M_{Ed,zvýšené\ q} = V_{Ed,zvýšené\ q} * \frac{L}{2} - g_d * \frac{L}{2} * \frac{L}{4} - q_{d,zvýšené} * 1{,}5 * \frac{1{,}5}{2} =$$

$$= 31{,}90 * \frac{5{,}18}{2} - 8{,}93 * \frac{5{,}18}{2} * \frac{5{,}18}{4} - 5{,}85 * 1{,}5 * \frac{1{,}5}{2} = 46{,}09\ kNm$$

d) návrh

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{46{,}09 * 10^6}{235} = 196128\ mm^3$$

Návrh: IPE 200

$W_{pl,y} = 220600 mm^3$ $\quad$ $A = 2848 mm^2$

$m = 22{,}4\ kg/m'$ $\quad$ $I_y = 1943 * 10^4 mm^4$

$A_{vz} = 1400\ mm^2$ $\quad$ třída 1 pro ohyb k ose y

e) posouzení MSÚ

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 220600 * 235 = 51{,}84\ kNm > M_{Ed} = 46{,}09\ kNm$$

$Vyhovuje.$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1400 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 189{,}95\ kN \gg V_{Ed} = 31{,}90\ kN$$

$Vyhovuje.$

f) posouzení MSP

$$\delta_1 = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{6{,}61 * 5180^4}{210000 * 1943 * 10^4} = 15{,}19\ mm$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5180}{250} = 20{,}72\ mm$$

$\delta_1 < \delta_{lim} \rightarrow Vyhovuje.$

pokud je průhyb vyšší, než 1/10 průměrné výšky desky, musíme uvažovat „rybníkový efekt“:

$$\frac{100}{10} = 10\ mm$$

$\delta > 10\ mm \rightarrow$ rybníkový efekt musíme uvažovat

g) nové posouzení MSÚ

přitěžující tloušťka betonu:

$\delta_0 = 0{,}7 * \delta = 0{,}7 * 15{,}19 = 10{,}63\ mm$

přídavné zatížení:

$\Delta g_d = \delta_0 * zatěžovací\ šířka * \gamma_{beton} * \gamma_g = 0{,}01063 * 2{,}6 * 26 * 1{,}35 = 0{,}97\ kN/m'$

nový ohybový moment:

$M_{Ed,2} = M_{Ed} + \frac{1}{8} * \Delta g_d * L^2 = 46{,}09 + \frac{1}{8} * 0{,}97 * 5{,}18^2 = 49{,}34\ kNm$

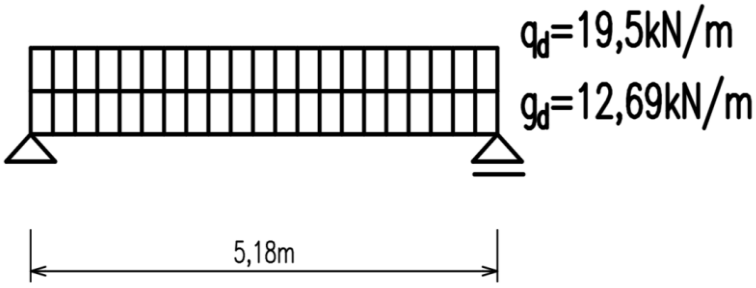
$M_{Ed,2} = 49{,}34\ kNm < M_{pl,Rd} = 51{,}84\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$

6.2.2.2 Provozní fáze

a) zatížení

Stálé zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m]	y_g [-]	Návrhové z. [kN/m]
konstrukce podlahy	1,0*2,6=2,6	1,35	3,51
betonová deska	(0,087+0,01063)*25*2,6=6,35	1,35	8,57
tr. plech	0,088*2,6=0,23	1,35	0,31
ocelový profil	0,224	1,35	0,30
Celkem:	9,40		12,69
Proměnné zatížení:			
	Charakteristické z. [kN/m^2]	y_q [-]	Návrhové z. [kN/m^2]
užitné	5*2,6=13	1,5	19,5
Celkem:	13		19,5

b) statické schéma



c) vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g_d + q_d) * L = \frac{1}{2} * (12{,}69 + 19{,}5) * 5{,}18 = 83{,}37\ kN$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g_d + q_d) * L^2 = \frac{1}{8} * (12{,}69 + 19{,}5) * 5{,}18^2 = 107{,}97\ kNm$$

d) posouzení MSÚ

vlastnosti betonu:

beton: C20/25

$$f_{cd} = 0{,}85 * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 * \frac{20}{1{,}5} = 13{,}33\ MPa$$

$f_{ck} = 20\ MPa$ (charakteristická pevnost betonu v tlaku)

$\gamma_f = 1{,}5$ (součinitel spolehlivosti materiálu)

$E_{cm} = 29000\ MPa$

efektivní šířka:

$$b_{eff} = min\begin{Bmatrix} 2 * \frac{L_S}{8} \\ b \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2 * \frac{5{,}18}{8} \\ 2{,}6 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 1{,}3 \\ 2{,}6 \end{Bmatrix} = 1{,}3\ m$$

$L_s = 5{,}18\ m$ (délka stropnice)

$b = 2{,}6\ m$ (vzdálenost stropnic)

předpoklad – neutrální osa leží v betonové desce:

$N_a = N_c$ (síla v IPE profilu = síla v betonové desce)

$$A * f_{yd} = x * b_{eff} * f_{cd} \rightarrow x = \frac{A * f_{yd}}{b_{eff} * f_{cd}} = \frac{2848 * 235}{1300 * 13{,}33} = 38{,}62\ mm$$

$x < h_d \rightarrow předpoklad\ splněn$

$h_d = 70mm$ (tloušťka desky)

rameno vnitřních sil:

$$r = \frac{h_{IPE}}{2} + h_{plech} + h_d - \frac{x}{2} = \frac{200}{2} + 50 + 70 - \frac{38{,}62}{2} = 200{,}69\ mm$$

$h_{IPE} = 200\ mm$ (výška IPE profilu)

$h_{plech} = 50\ mm$ (výška plechu)

$$M_{pl,Rd} = N_a * r = A * f_{yd} * r = 2848 * 235 * 200{,}69 = 134{,}32\ kNm$$

$$M_{pl,Rd} = 134{,}32\ kNm > M_{Ed} = 107{,}97\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1400 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 189{,}95\ kN \gg V_{Ed} = 86{,}84\ kN$$

$Vyhovuje.$

e) návrh spřažení

Návrh: přivařený trn 22/100 (S235, f_u = 360 MPa)

únosnost smykového trnu:

$$P_{Rd,1} = 0{,}8 * \frac{\pi * d^2}{4 * \gamma_v} = 0{,}8 * \frac{\pi * 22^2}{4 * 1{,}25} = 243{,}28\ kN$$

$$P_{Rd,2} = 0{,}29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\gamma_v} = 0{,}29 * 1 * 22^2 * \sqrt{20 * 29000} * \frac{1}{1{,}25} =$$

$$= 85{,}52\ kN$$

$d = 22\ mm$ (průměr spřahovacího trnu)

$\gamma_v = 1{,}25$ (dílčí součinitel bezpečnosti pro přípoje)

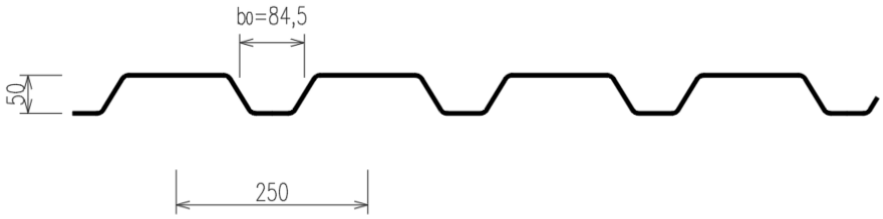
$\alpha = 1\ pro\ \frac{h}{d} > 4 \rightarrow \frac{h}{d} = \frac{100}{22} = 4{,}55$ (korekční součinitel)

redukční součinitel kt:

$$k_t = min\begin{Bmatrix} \frac{0{,}7}{\sqrt{n_t}} * \frac{b_0}{h_p} * \left(\frac{h}{h_p} - 1\right) \\ 0{,}85 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{0{,}7}{\sqrt{1}} * \frac{84{,}5}{50} * \left(\frac{100}{50} - 1\right) \\ 0{,}85 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 1{,}18 \\ 0{,}85 \end{Bmatrix} = 0{,}85$$

$h = 50\ mm$ (výška trnu)

$n_t = 1$ (počet trnů v jedné vlně)



únosnost trnu v žebru:

$$P_{Rd} = k_t * min\begin{Bmatrix} P_{Rd,1} \\ P_{Rd,2} \end{Bmatrix} = 0{,}85 * min\begin{Bmatrix} 243{,}28 \\ 85{,}52 \end{Bmatrix} = 0{,}85 * 85{,}52 = 72{,}69\ kN$$

potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{2 * N_a}{P_{Rd}} = \frac{2 * 669{,}28}{72{,}69} = 18{,}41 \rightarrow na\ spřažení\ je\ potřeba\ 19\ trnů.$$

$$počet\ vln\ plechu = \frac{5180}{250} = 20{,}72 \rightarrow lze\ umístit\ 20\ trnů.$$

počet vln je vyšší než počet potřebných spřahovacích trnů → lze dosáhnout plného spřažení

f) posouzení MSP

modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování a smršťování:

$$E_c' = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{29000}{2} = 14500\ MPa$$

pracovní součinitel pro ideální průřez:

$$n = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210000}{14500} = 14{,}48$$

$$A_i = A_a + h_d * \frac{b_{eff}}{n} = 2848 + 70 * \frac{1300}{14{,}48} = 9132{,}53\ mm^2$$

vzdálenost těžiště od spodního okraje IPE profilu:

$$e = \frac{A_a * \frac{h_{IPE}}{2} + h_d * \frac{b_{eff}}{n} * \left(h_{IPE} + h_{plech} + \frac{h_d}{2}\right)}{A_i} =$$

$$= \frac{2848 * \frac{200}{2} + 70 * \frac{1300}{14{,}48} * \left(200 + 50 + \frac{70}{2}\right)}{9132{,}53} = 227{,}31\ mm$$

$200 + 50 = 250 > 227{,}31 \rightarrow beton\ je\ celou\ plochou\ tlačen.$

moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = I_{y,IPE} + A_a * \left(e - \frac{h_{IPE}}{2}\right)^2 +$$

$$+\frac{1}{n} * \left[\frac{1}{12} * b_{eff} * h_d^3 + b_{eff} * h_d * \left(e - h_{IPE} - h_{plech} - \frac{h_d}{2}\right)^2\right] =$$

$$= 1943 * 10^4 + 2848 * \left(227{,}31 - \frac{200}{2}\right)^2 +$$

$$+\frac{1}{14{,}48} * \left[\frac{1}{12} * 1300 * 70^3 + 1300 * 70 * \left(227{,}31 - 200 - 50 - \frac{70}{2}\right)^2\right] =$$

$$= 89{,}07 * 10^6 mm^4$$

moment vzniklý před zatvrdnutím betonu:

$$M_0 = \frac{1}{8} * f_{beton,plech,IPE} * L^2 = \frac{1}{8} * (8{,}57 + 0{,}31 + 0{,}30) * 5{,}18^2 = 30{,}79\ kNm$$

moment vzniklý po zatvrdnutí betonu:

$$M_p = \frac{1}{8} * f_{podlaha,proměnné} * L^2 = \frac{1}{8} * (3{,}51 + 19{,}5) * 5{,}18^2 = 77{,}18\ kNm$$

největší napětí v ocelovém profilu:

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_p}{I_i} * z_d = \frac{30{,}79 * 10^6}{220600} + \frac{77{,}18 * 10^3}{89{,}07 * 10^6} * 227{,}31 = 139{,}77\ MPa$$

$z_d = e = 227{,}31\ mm$ (vzdálenost spodních vláken od těžiště spřaženého průřezu)

$\sigma_{a,max} = 139{,}77\ MPa < f_{yd} = 235\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

největší napětí v betonové desce:

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n * I_i} * z_h = \frac{77{,}18 * 10^6}{14{,}48 * 89{,}07 * 10^6} * 92{,}69 = 5{,}55\ MPa$$

$z_h = výška\ průřezu - z_d = (200 + 50 + 70) - 227{,}31 = 92{,}69\ mm$

$\sigma_{c,max} = 5{,}55\ MPa < 0{,}85 * f_{ck} = 0{,}85 * 20 = 17\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

průhyb (podlaha + proměnné):

$$\delta_2 = \frac{5}{384} * \frac{\left(g_{podlaha,k} + q_k\right) * L^4}{E_a * I_i} = \frac{5}{384} * \frac{(2{,}6 + 13) * 5180^4}{210000 * 89{,}07 * 10^6} = 7{,}82\ mm$$

$$\delta_{2=} = 7{,}82\ mm < \delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5180}{250} = 20{,}72\ mm \rightarrow Vyhovuje.$$

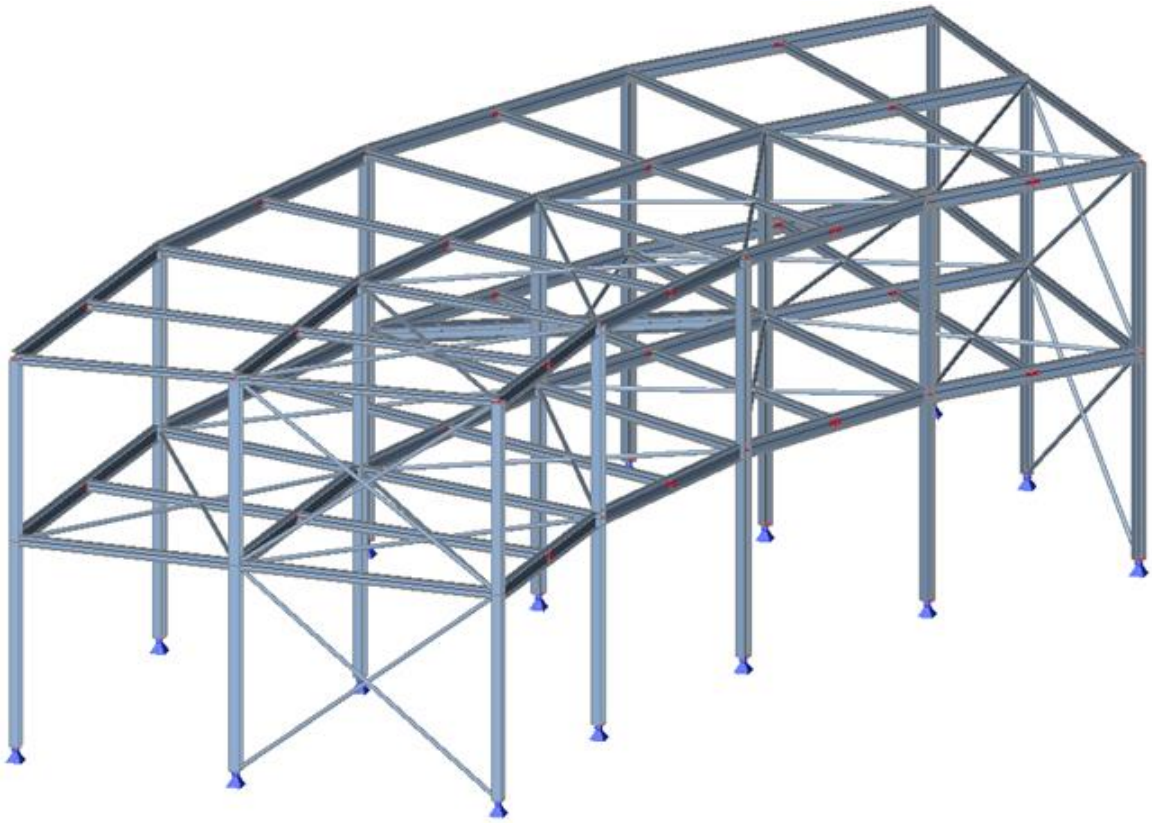
g) závěr

S ohledem na výšku stropní konstrukce, hmotnost a cenu použitých ocelových profilů volíme variantu stropu se stropnicí spřaženou s betonovou deskou.

7 Rámová konstrukce

Ztužení budovy je v příčném směru zajištěno ztužidly, v podélném směru bude konstrukce působit jako tuhý rám. 3D model konstrukce byl proveden ve SCIA Engineer 19.1. Tuhá stropní tabule je v modelu nahrazena diagonálními pruty.

Níže v ukázkách zatěžovacích stavů je model zobrazen jako drátový a některé konstrukce jsou vypnuté kvůli přehlednosti (např. při zobrazení stálého nebo užitného zatížení v 1.NP jsou vypnuty sloupy v 1.NP, příčle nad 1.NP a vaznice).



7.1 Zatěžovací stavy

7.1.1 ZS1 vlastní tíha rámové konstrukce

generováno automaticky pomocí software

7.1.2 ZS2 ostatní stálé zatížení

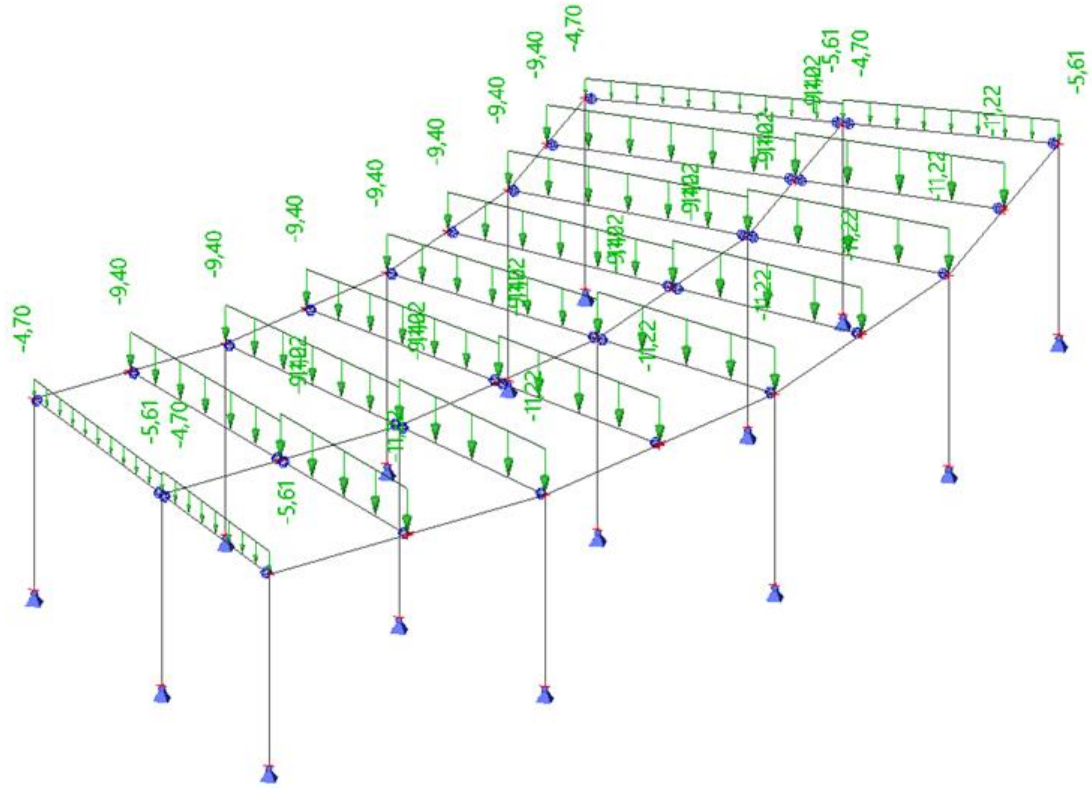
a) liniové zatížení na stropnice

vnitřní stropnice:

$f_k = g_{k,plošné} * ZŠ = 3{,}62 * 2{,}6 = 9{,}40\ kN/m$

vnější stropnice:

$f_k = g_{k,plošné} * ZŠ = 3{,}62 * 3{,}1 = 11{,}22\ kN/m$



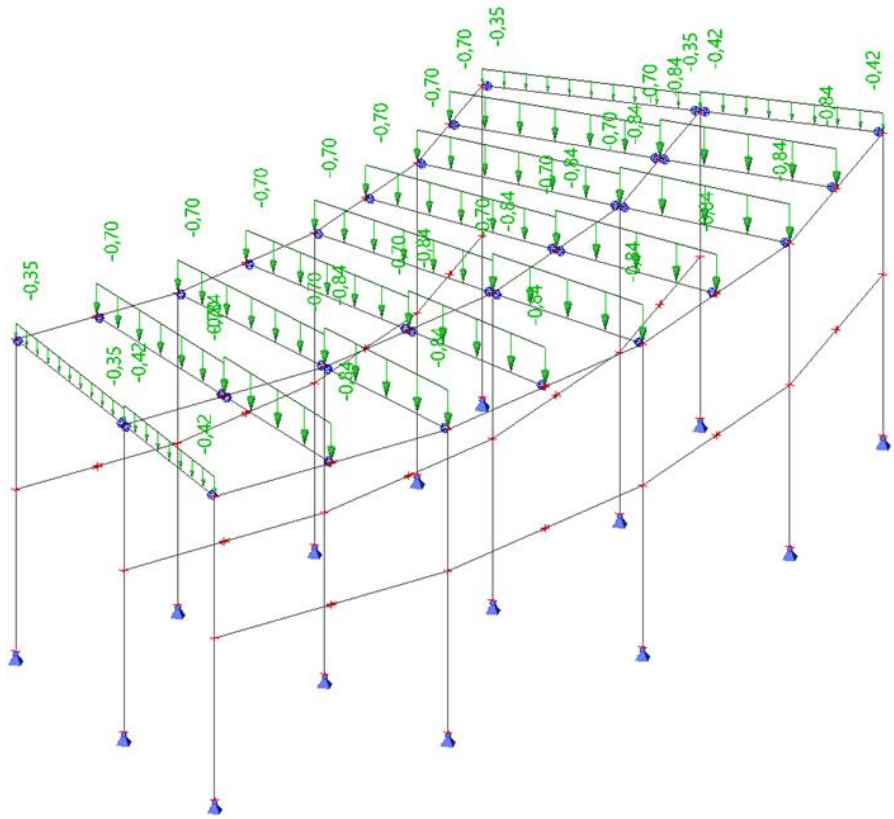
b) liniové zatížení na vaznice

vnitřní vaznice:

$f_k = g_{k,plošné} * ZŠ = 0{,}27 * 2{,}6 = 0{,}70\ kN/m$

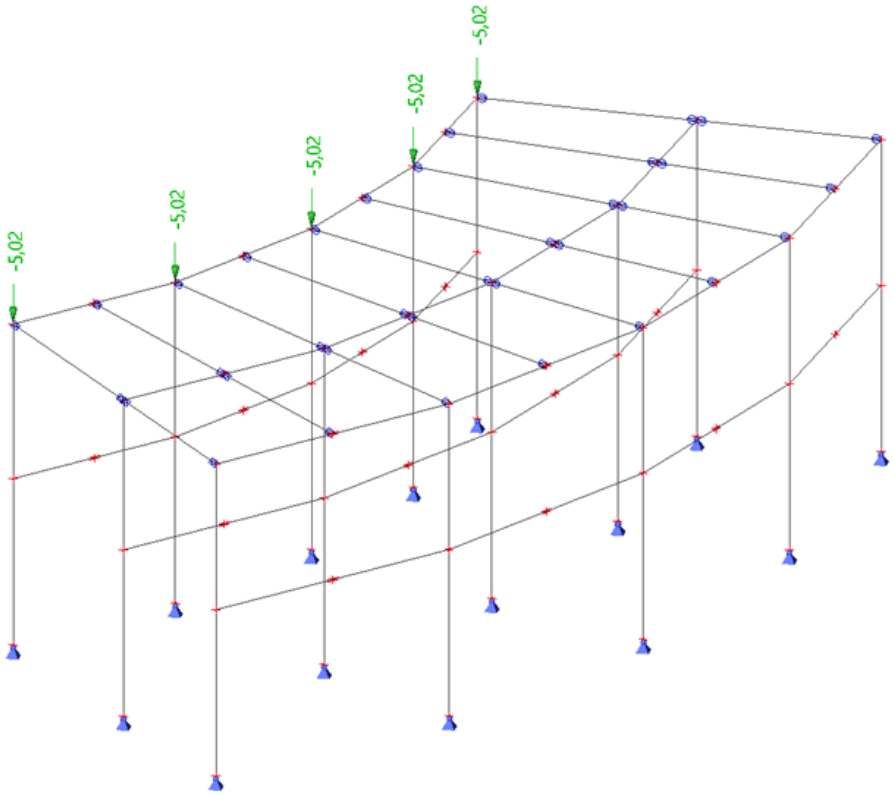
vnější vaznice:

$f_k = g_{k,plošné} * ZŠ = 0{,}27 * 3{,}1 = 0{,}84\ kN/m$



Liniová zatížení na krajních stropnicích/vaznicích jsou poloviční, protože prvky mají poloviční zatěžovací šířku.

c) reakce od přístřešku



$F_k = 5{,}02\ kN$

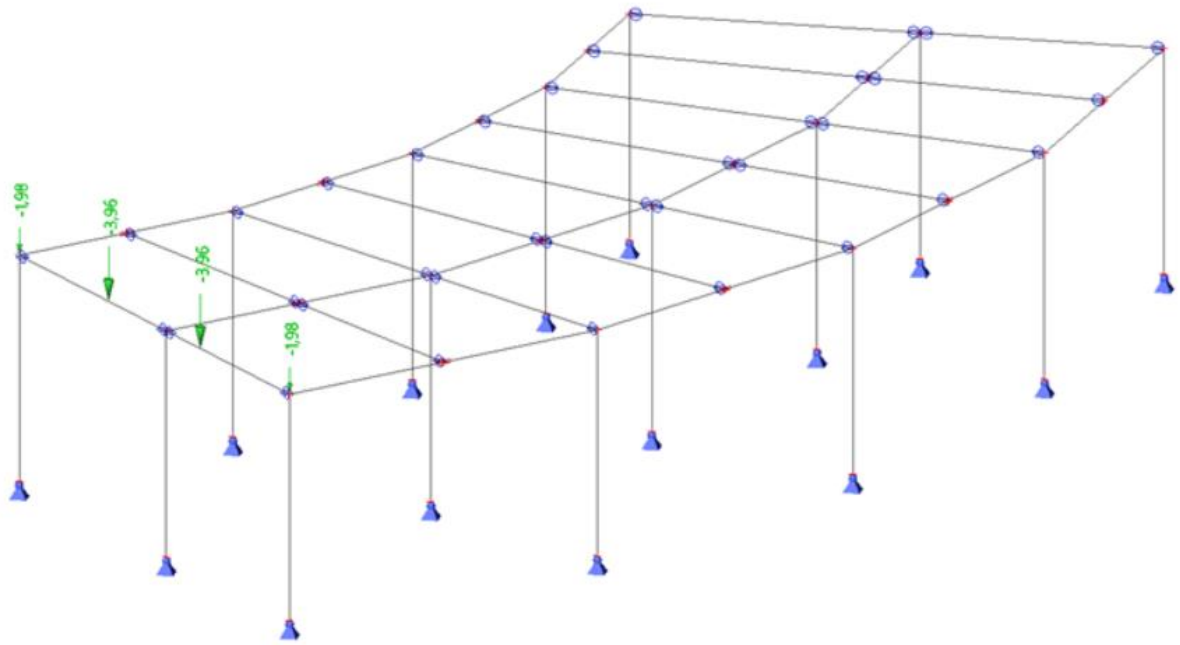
d) tíha obvodového pláště

plášť je zavěšený – zatížení je přenášeno příčlemi

$f_k = g_{k,plošné} * h = 0{,}8 * 4 = 3{,}2\ kN/m$

e) reakce od střechy nad vstupem

$F_k = 1{,}13 * 3{,}5 = 3{,}96\ kN$



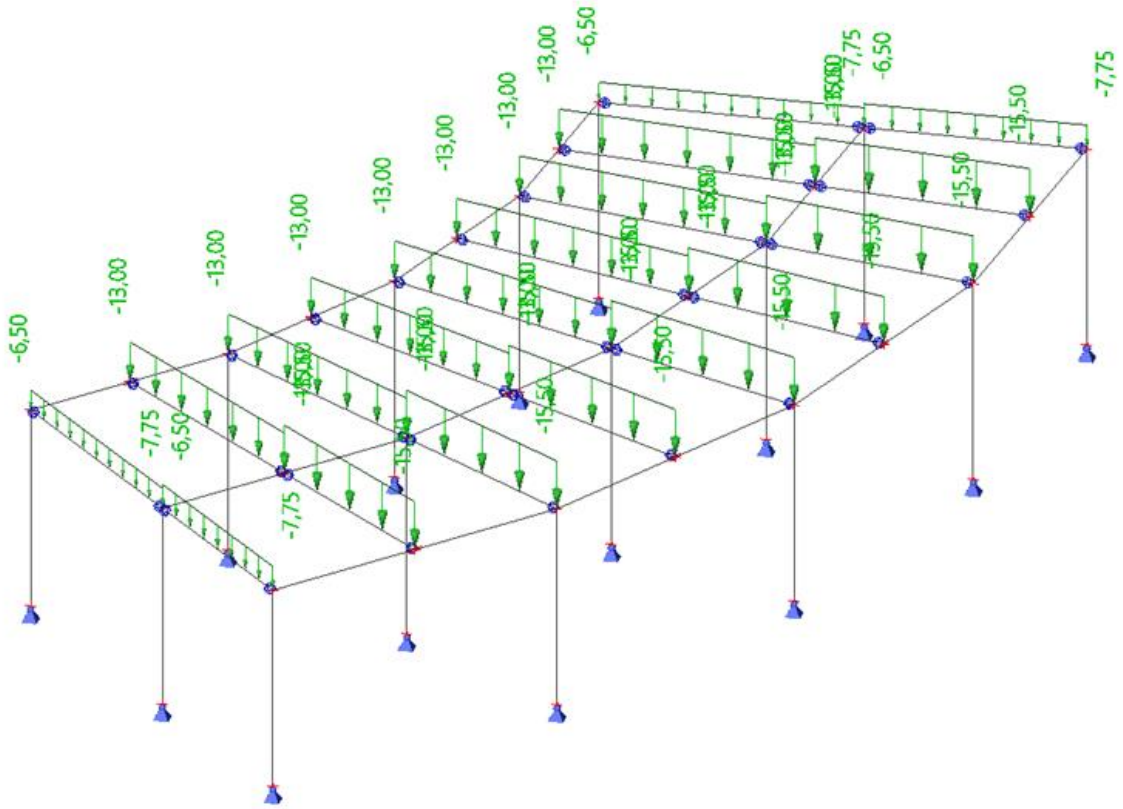
7.1.3 ZS3 užitné zatížení

vnitřní stropnice:

$f_k = q_{k,plošné} * ZŠ = 5 * 2{,}6 = 13\, kN/m$

vnější stropnice:

$f_k = q_{k,plošné} * ZŠ = 5 * 3{,}1 = 15{,}5\, kN/m$



Liniová zatížení na krajních stropnicích jsou poloviční, protože stropnice mají poloviční zatěžovací šířku.

7.1.4 ZS4 sníh

a) liniové zatížení na vaznice

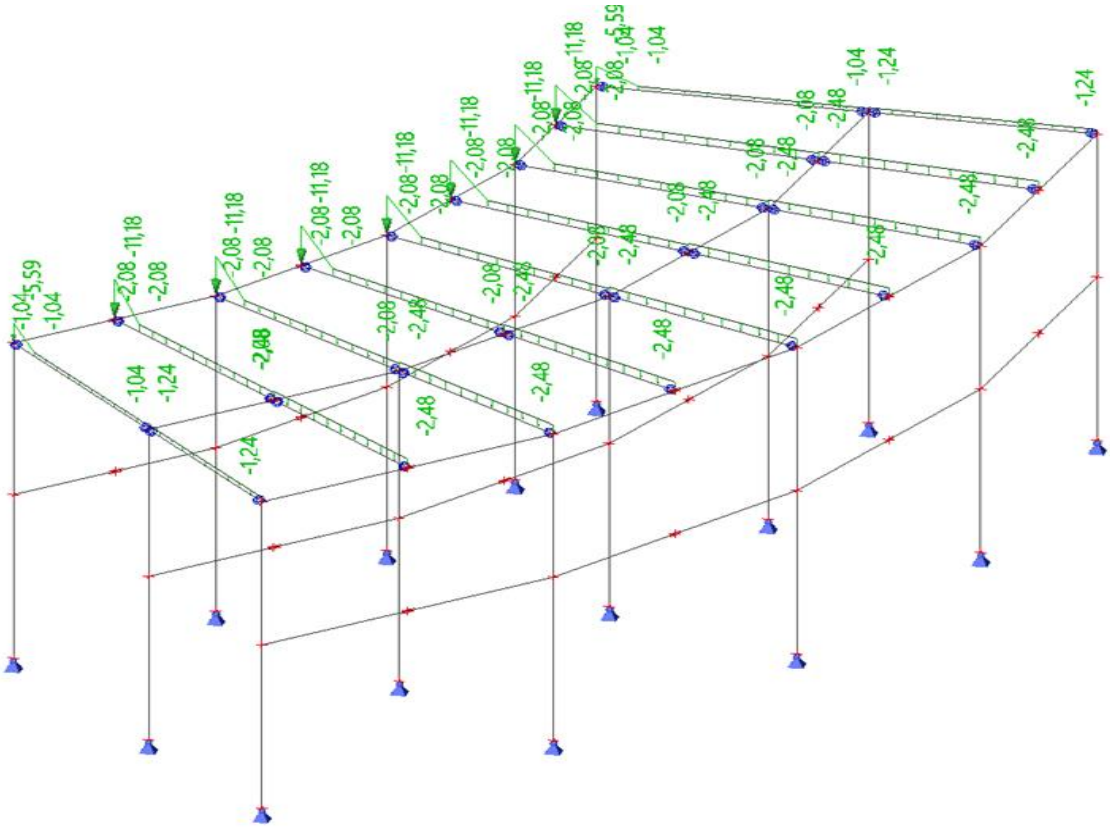
vnitřní vaznice:

$f_{k,kraj} = g_{k,plošné} * ZŠ = 4{,}3 * 2{,}6 = 11{,}18\, kN/m$

$f_{k,zbytek} = g_{k,plošné} * ZŠ = 0{,}8 * 2{,}6 = 2{,}08\, kN/m$

vnější vaznice:

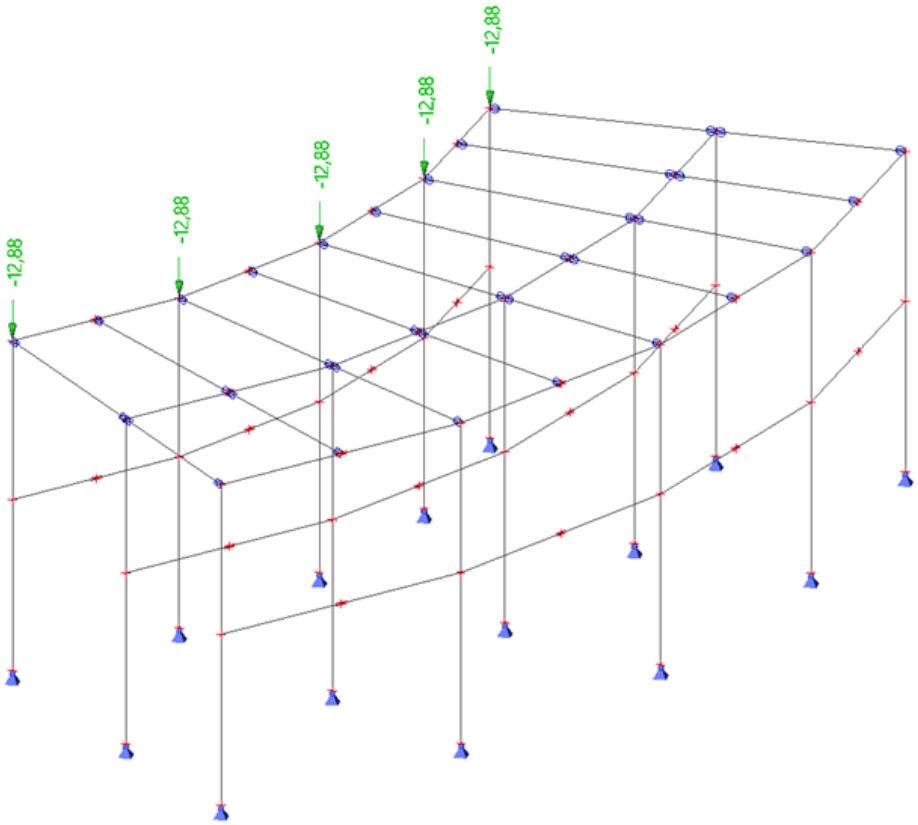
$f_k = g_{k,plošné} * ZŠ = 0{,}8 * 3{,}1 = 2{,}48\, kN/m$



Liniová zatížení na krajních vaznicích jsou poloviční, protože vaznice mají poloviční zatěžovací šířku.

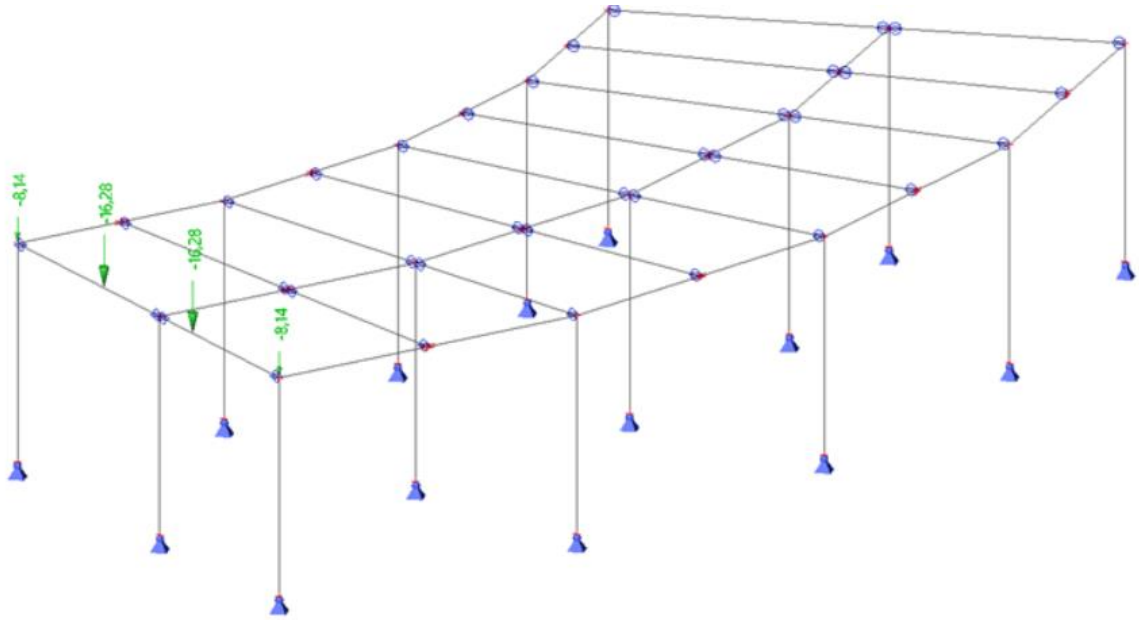
b) reakce od přístřešku

$F_k = 12{,}88\ kN$



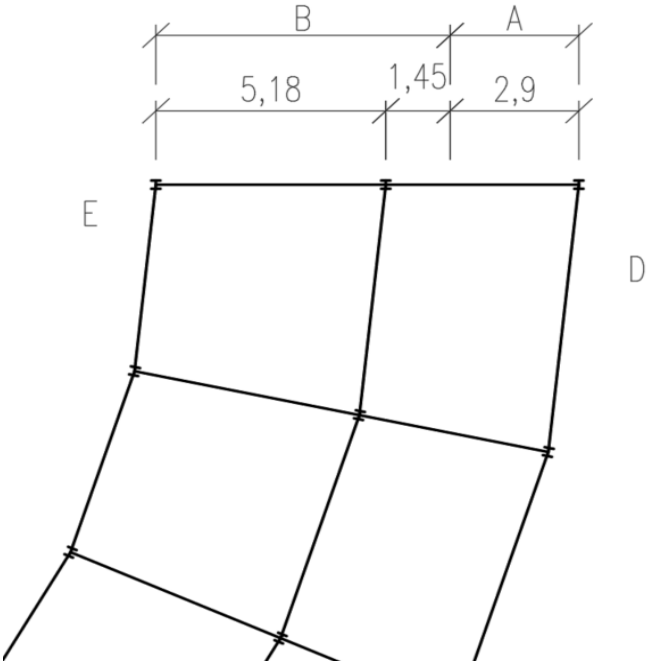
c) reakce od střechy nad vstupem

$F_k = 4{,}65 * 3{,}5 = 16{,}28\ kN$



7.1.5 ZS5 vítr příčný

a) liniové zatížení na příčle



oblast D:

$q_{k(D)} = w_{e(D)} * ZŠ = 0{,}7 * 64 = 2{,}8\, kN/m$

oblast E:

$q_{k(E)} = w_{e(E)} * ZŠ = -0{,}43 * 4 = -1{,}72\, kN/m$

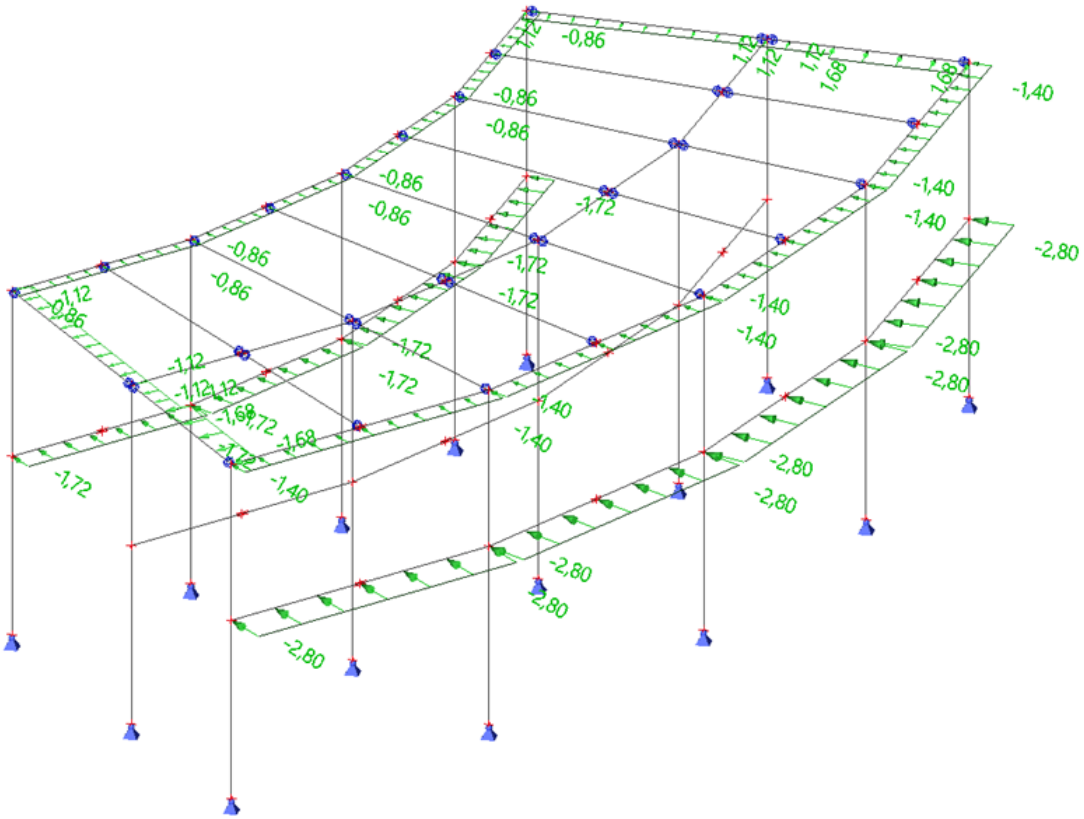
oblast A:

$q_{k(A)} = w_{e(A)} * ZŠ = -0{,}84 * 4 = -3{,}36\, kN/m$

oblast B:

$q_{k(B)} = w_{e(B)} * ZŠ = -0{,}56 * 4 = -2{,}24\, kN/m$

Příčle v úrovni střechy mají poloviční zatěžovací šířku, tudíž jsou zatíženy polovičním zatížením.



b) svislé zatížení – reakce od vaznic

$F_{1,k} = w_{e(H)} * A = -0{,}49 * 1{,}3 * 2{,}59 = -1{,}65\ kN$

$F_{2,k} = w_{e(H)} * (A_1 + A_2) = -0{,}49 * (1{,}3 * 2{,}59 + 1{,}55 * 2{,}175) = -3{,}30\ kN$

$F_{3,k} = w_{e(H)} * A_1 + w_{e(F)} * A_2 = -0{,}49 * 0{,}67 * 1{,}55 + (-1{,}26) * 1{,}5 * 1{,}55 = -3{,}44\ kN$

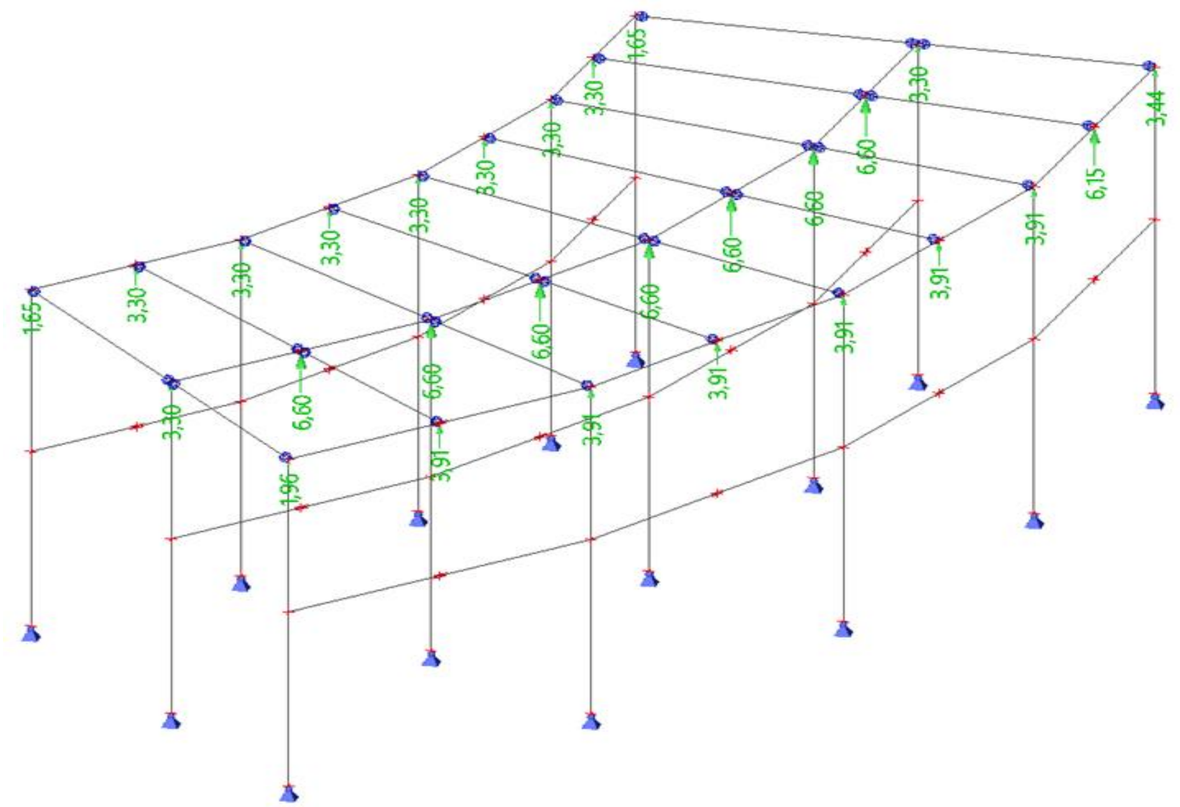
$F_{4,k} = w_{e(H)} * A = -0{,}49 * 2{,}6 * 2{,}59 = -3{,}30\ kN$

$F_{5,k} = w_{e(H)} * (A_1 + A_2) = -0{,}49 * (2{,}6 * 2{,}59 + 2{,}175 * 3{,}1) = -6{,}60\ kN$

$F_{6,k} = w_{e(H)} * A_1 + w_{e(G)} * A_2 + w_{e(F)} * A_3 = -0{,}49 * 3{,}1 * 0{,}67 + (-0{,}84) * 1{,}5 * 1{,}15 +$

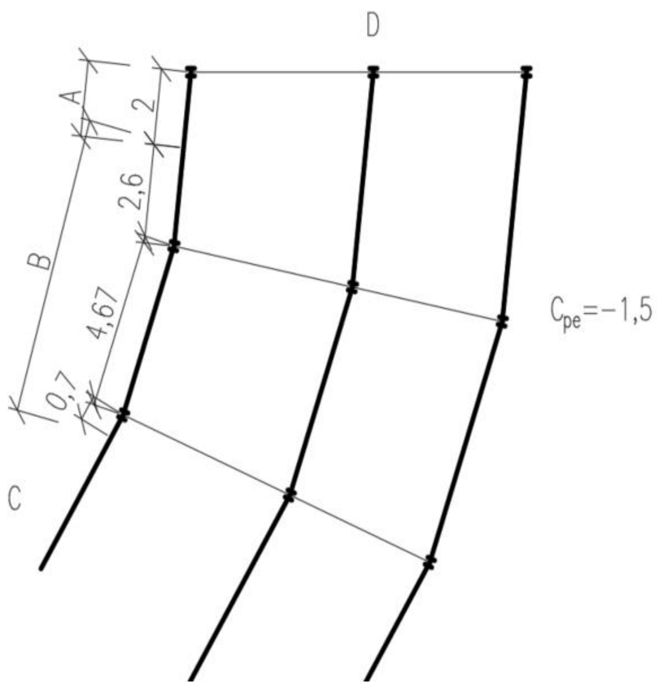
$(-1{,}26) * 1{,}5 * 1{,}95 = -6{,}15\ kN$

$F_{7,k} = w_{e(G)} * A = -0{,}84 * 1{,}5 * 3{,}1 = -3{,}91\ kN$



7.1.6 ZS6 vítr podélný

a) liniové zatížení na příčle



oblast D:

$q_{k(D)} = w_{e(D)} * ZŠ = 0{,}5 * 4 = 2{,}0\,kN/m$

oblast E:

$q_{k(E)} = w_{e(E)} * ZŠ = -0{,}24 * 4 = -0{,}96\, kN/m$

oblast Cpe = - 1,5

$q_k = w_e * ZŠ = -1{,}05 * 4 = -4{,}2\, kN/m$

oblast A:

$q_{k(A)} = w_{e(A)} * ZŠ = -0{,}84 * 4 = -3{,}36\, kN/m$

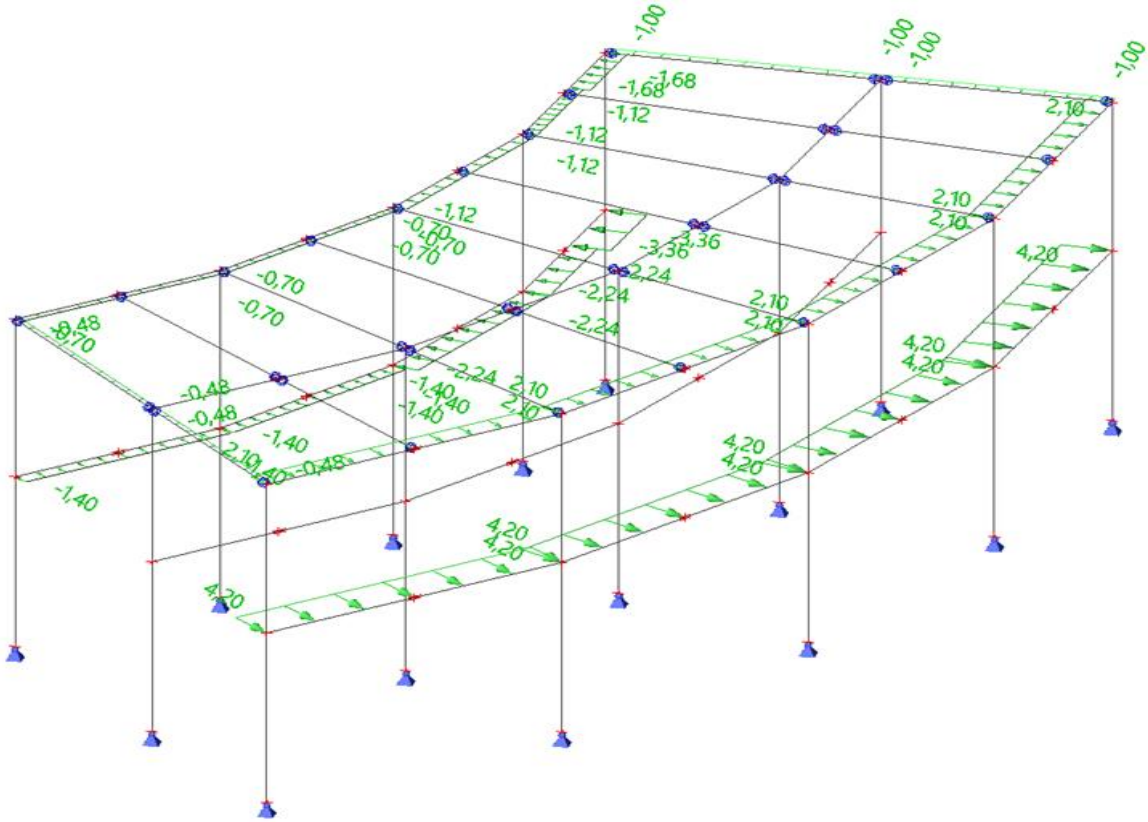
oblast B:

$q_{k(B)} = w_{e(B)} * ZŠ = -0{,}56 * 4 = -2{,}24\, kN/m$

oblast C:

$q_{k(C)} = w_{e(C)} * ZŠ = -0{,}35 * 4 = -1{,}4\, kN/m$

Příčle v úrovni střechy mají poloviční zatěžovací šířku, tudíž jsou zatíženy polovičním zatížením.



b) svislé zatížení – reakce od vaznic

$F_{1,k} = w_{e(F)} * A_1 + w_{e(H)} * A_2 = -1{,}26 * 2{,}59 * 1 + (-0{,}49) * 2{,}59 * 0{,}3 = -3{,}64\ kN$

$F_{2,k} = w_{e(G)} * A_1 + w_{e(F)} * A_2 + w_{e(H)} * (A_3 + A_4) =$

$= -0{,}84 * 1 * 4{,}44 + (-1{,}26) * 0{,}325 * 1 + (-0{,}49) * (0{,}3 * 2{,}59 + 0{,}55 * 2{,}175) = -5{,}11\ kN$

$F_{3,k} = w_{e(F)} * A_1 + w_{e(H)} * A_2 = -1{,}26 * 2{,}175 * 1 + (-0{,}49) * 2{,}175 * 0{,}55 = -3{,}33\ kN$

$F_{4,k} = w_{e(H)} * A = -0{,}49 * 2{,}59 * 2{,}6 = -3{,}30\ kN$

$F_{5,k} = w_{e(H)} * (A_1 + A_2) = -0{,}49 * (2{,}59 * 2{,}6 + 2{,}175 * 3{,}1) = -6{,}60\ kN$

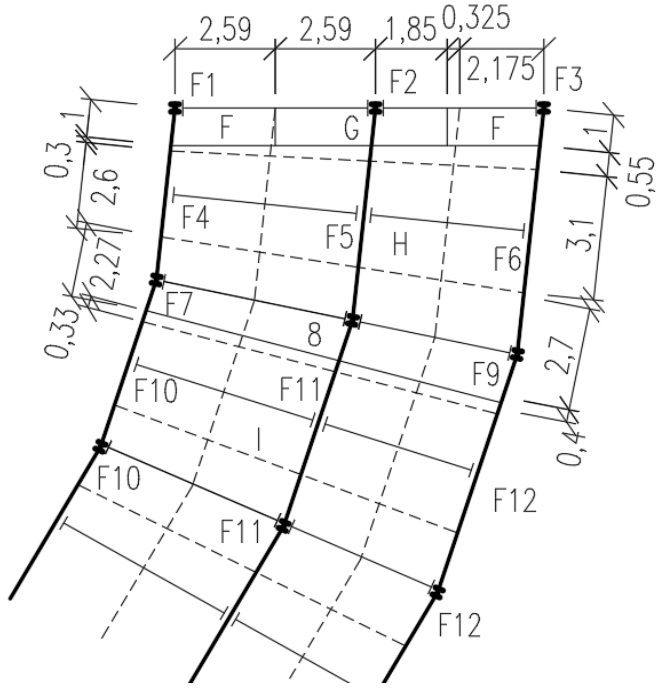
$F_{6,k} = w_{e(H)} * A = -0{,}49 * 2{,}175 * 3{,}1 = -3{,}30\ kN$

$F_{7,k} = w_{e(H)} * A_1 + w_{e(I)} * A_2 = -0{,}49 * 2{,}27 * 2{,}59 + (-0{,}14) * 0{,}33 * 2{,}59 = -3{,}00\ kN$

$F_{8,k} = w_{e(H)} * (A_1 + A_2) + w_{e(I)} * (A_3 + A_4) = -0{,}49 * (2{,}27 * 2{,}59 + 2{,}175 * 2{,}7) +$

$+(-0{,}14) * (0{,}33 * 2{,}59 + 0{,}4 * 2{,}175) = -6{,}00\ kN$

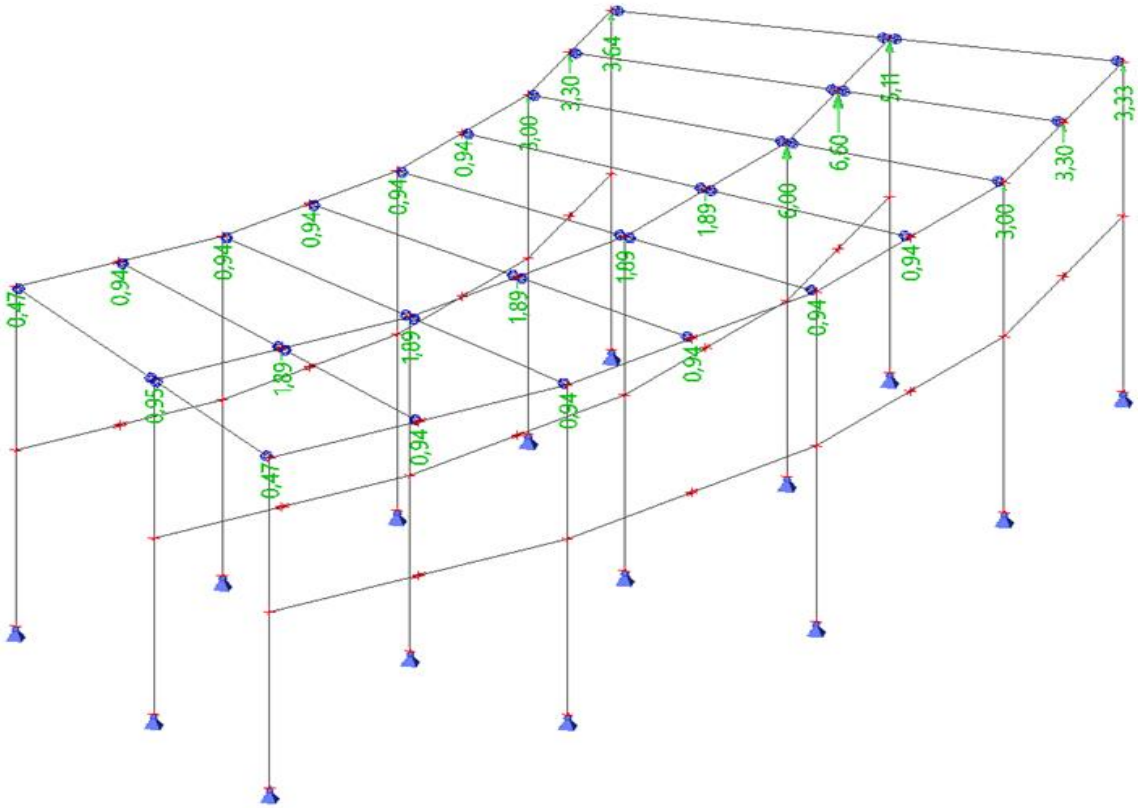
$F_{9,k} = w_{e(H)} * A_1 + w_{e(I)} * A_2 = -0{,}49 * 2{,}7 * 2{,}175 + (-0{,}14) * 0{,}4 * 2{,}175 = -3{,}00\ kN$



$F_{10,k} = w_{e(I)} * A = -0{,}14 * 2{,}6 * 2{,}59 = -0{,}94\ kN$

$F_{11,k} = w_{e(I)} * (A_1 + A_2) = -0{,}14 * (2{,}59 * 2{,}6 + 2{,}175 * 3{,}1) = -1{,}89\ kN$

$F_{12,k} = w_{e(I)} * A = -0{,}14 * 2{,}175 * 3{,}1 = -0{,}94\ kN$


0,47
0,94
0,94
0,94
0,94
0,94
3,00
3,30
3,64
0,95
1,89
1,89
1,89
1,89
1,89
0,94
0,94
0,94
0,47
0,94
0,94
6,00
6,60
7,11
3,00
3,30
3,33

7.2 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ

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

		Zatěžovací stavy									
		vlastní tíha nosných prvků	ostatní stálé	sníh		užitné		vítr příčný		vítr podélný	
		γ_G	γ_G	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q
Kombinace zatěžovacích stavů	KZS 1	1,35	1,35	-	1,5	0,7	1,5				
	KZS 2	1,35	1,35	0,5	1,5	-	1,5				
	KZS 3	1,35	1,35	-	1,5	0,7	1,5	0,6	1,5		
	KZS 4	1,35	1,35	0,5	1,5	-	1,5	0,6	1,5		
	KZS 5	1,35	1,35	0,5	1,5	0,7	1,5	-	1,5		
	KZS 6	1,35	1,35	-	1,5	0,7	1,5			0,6	1,5
	KZS 7	1,35	1,35	0,5	1,5	-	1,5			0,6	1,5
	KZS 8	1,35	1,35	0,5	1,5	0,7	1,5			-	1,5
	KZS 9	1,0	1,0					-	1,5		
	KZS 10	1,0	1,0							-	1,5

7.3 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP

$$\sum_{j=1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

		Zatěžovací stavy									
		vlastní tíha nosných prvků	ostatní stálé	sníh		užitné		vítr příčný		vítr podélný	
		γ_G	γ_G	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q	ψ_0	γ_Q
Kombinace zatěžovacích stavů	KZS 1	1,0	1,0	-	1,0	0,7	1,0				
	KZS 2	1,0	1,0	0,5	1,0	-	1,0				
	KZS 3	1,0	1,0	-	1,0	0,7	1,0	0,6	1,0		
	KZS 4	1,0	1,0	0,5	1,0	-	1,0	0,6	1,0		
	KZS 5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,7	1,0	-	1,0		
	KZS 6	1,0	1,0	-	1,0	0,7	1,0			0,6	1,0
	KZS 7	1,0	1,0	0,5	1,0	-	1,0			0,6	1,0
	KZS 8	1,0	1,0	0,5	1,0	0,7	1,0			-	1,0
	KZS 9	1,0	1,0					-	1,0		
	KZS 10	1,0	1,0							-	1,0

7.4 Imperfekce konstrukce

$$\alpha_h = min\begin{Bmatrix} \frac{2}{\sqrt{h}} \\ 1 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{2}{\sqrt{4}} \\ 1 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = 1$$

$h = 4\,m$ (výška rámu)

$$\alpha_m = min\begin{Bmatrix} \sqrt{0{,}5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \\ 1 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \sqrt{0{,}5 * \left(1 + \frac{1}{5}\right)} \\ 1 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}78 \\ 1 \end{Bmatrix} = 0{,}78$$

$m = 5$ (počet sloupů v jednom rámu)

počáteční náklon konstrukce:

$$\phi = \frac{1}{200} * \alpha_h * \alpha_m = \frac{1}{200} * 1 * 0{,}78 = 3{,}9 * 10^{-3}\,rad = 3{,}9\,mm/m$$

Výpočet konstrukce provedeme nelineárně. Do každé nelineární kombinace zavedeme globální imperfekci v podobě jednoduchého náklonu, který zadáme pro každou kombinaci zvlášť, vždy ve směru působení větru.

7.5 Návrh rámové vazby

Provedeme návrh prutů v prostředním rámu s ohledem na mezní svislý a vodorovný průhyb.

a) mezní průhyby

svislý průhyb pro příčle:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5680}{250} = 22{,}72\ mm$$

$L = 5680\ mm$ (rozpětí prostředních příčlí)

vodorovný průhyb pro sloupy:

$$\delta_{lim} = \frac{H}{300} = \frac{4110}{300} = 13{,}7\ mm$$

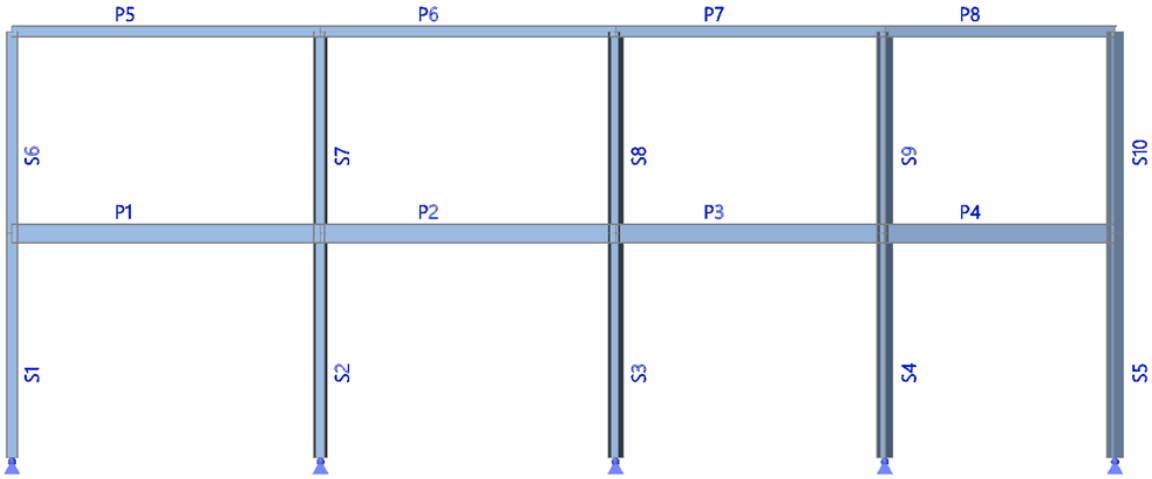
$H = 4110\ mm$ (výška prostředních sloupů)

vodorovný průhyb pro celou konstrukci:

$$\delta_{0,lim} = \frac{H_0}{500} = \frac{7810}{500} = 15{,}62\ mm$$

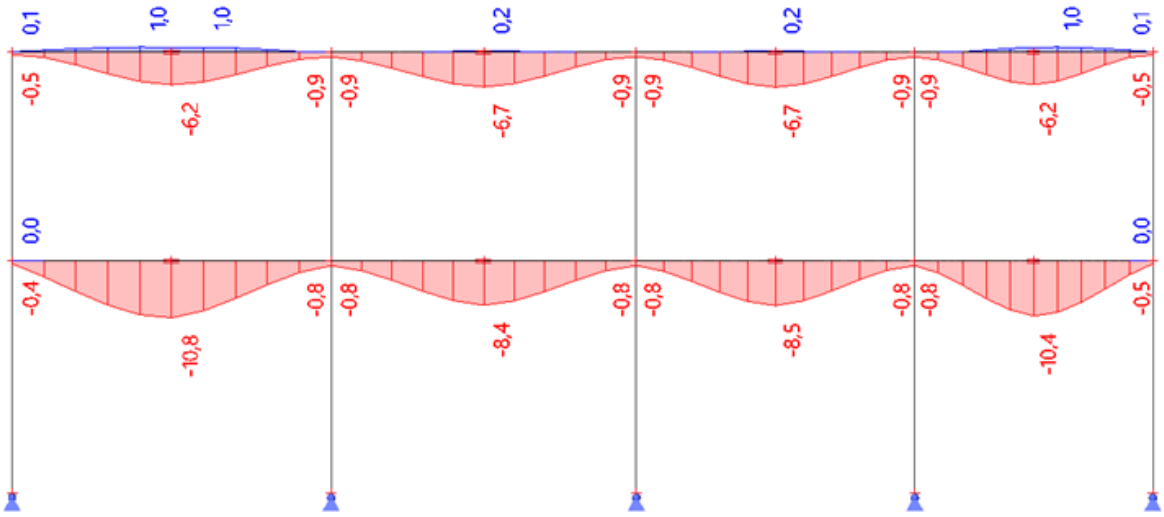
$H_0 = 7810\ mm$ (výška prostředních sloupů)

výsledný návrh:

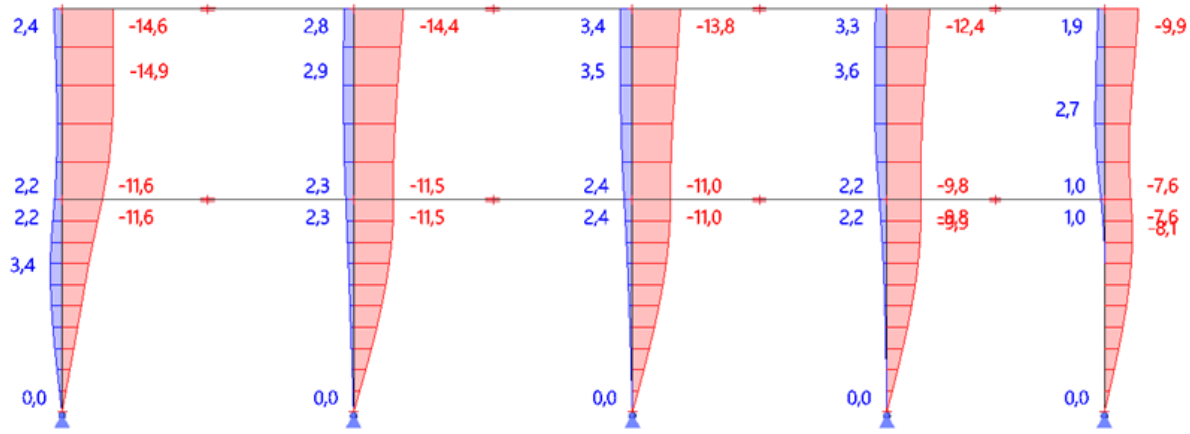


Prvky	Průřez
S1 – S10	HEA 220
P1 – P4	IPE 300
P5 – P8	IPE 180

svislá deformace (u_z) [mm]



vodorovná deformace (u_y) [mm]



7.6 Posouzení prvků rámu

7.6.1 posouzení sloupu

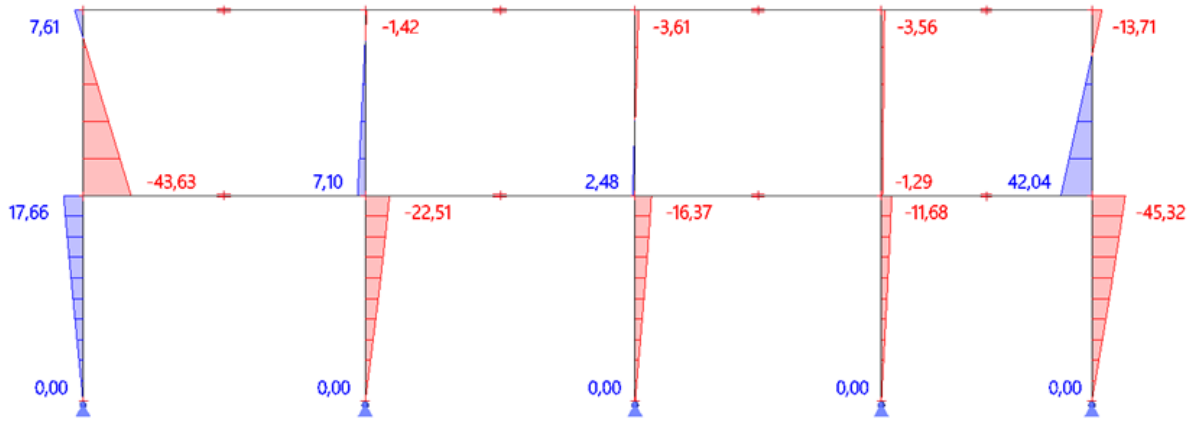
Všechny sloupy budou stejného průřezu. Posoudíme sloup namáhaný největším ohybovým momentem a také sloup namáhaný největší normálovou silou.

7.6.1.1 Největší ohybový moment

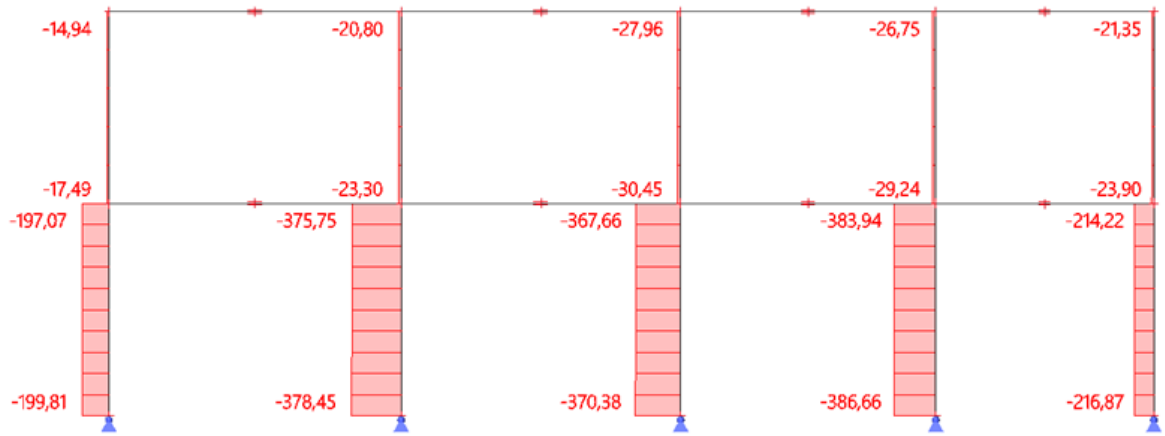
Největší ohybový moment vzniká na sloupu S5 při nelineární kombinaci KZS7. (obálka viz. příloha.)

a) vnitřní síly:

M [kNm]



N [kN]



$M_{Ed} = 45{,}32\ kNm$

$N_{Ed} = 216{,}87\ kN$

$V_{Ed} = 11{,}63\ kN$

b) průřez:

HEA 220

$A = 6434\ mm^2$ $\qquad$ $A_{vz} = 2067\ mm^2$

$i_y = 91{,}7\ mm$ $\qquad$ $i_z = 55{,}1\ mm$

$W_{pl,y} = 568500 mm^3$

c) vzpěr

Jako vzpěrnou délku uvažujeme skutečnou výšku sloupu.

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4110\ mm$

štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4110}{91{,}7} = 44{,}82$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4110}{55{,}1} = 74{,}59$$

poměrné štíhlosti:

$$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{44{,}82}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0{,}48$$

$$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{74{,}59}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0{,}79$$

součinitele vzpěrnosti:

$\chi_y = 0{,}893$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „b“)

$\chi_z = 0{,}668$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

d) klopení

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{568500 * 235}{613{,}66 * 10^6}} = 0{,}47$$

$M_{cr} = 613{,}66\ kNm$ (kritický moment při klopení – viz. příloha)

$$\phi_{LT} = 0{,}5 * \left[1 + \alpha_{LT} * \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 * [1 + 0{,}21 * (0{,}47 - 0{,}4) + 0{,}7 * 0{,}47^2] =$$

$$= 0{,}58$$

$\alpha_{LT} = 0{,}21; \frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1 \leq 2 \rightarrow křivka\ klopení\ „a“$

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}{}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2}} = \frac{1}{0{,}58 + \sqrt{0{,}58^2 - 0{,}7 * 0{,}47^2}} = 0{,}99$$

$$ale\ \chi_{LT} \leq 1;\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^2} = \frac{1}{0{,}47^2} = 4{,}53$$

e) posudek na kombinaci tlaku a ohybu

charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$N_{Rk} = A * f_y = 6434 * 235 = 1512\ kN$

$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 568500 * 235 = 133{,}60\ kNm$

součinitele ekvivalentního konstantního momentu C_{my} a C_{mLT}:

$C_{my} = 0{,}9$ (vybočení s posuvem styčníků)

$C_{mLT} = 0{,}6 + \psi * 0{,}4 = 0{,}6 + 0 * 0{,}4 = 0{,}6\ ale\ C_{mLT} \geq 0{,}4$

$$\psi = \frac{M_d}{M_h} = \frac{0}{45{,}32} = 0$$

interakční součinitele:

$$k_{yy} = min \begin{Bmatrix} C_{my} * \left(1 + \left(\overline{\lambda_y} - 0{,}2\right) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \end{Bmatrix} =$$

$$= min \begin{Bmatrix} 0{,}9 * \left(1 + (0{,}48 - 0{,}2) * \frac{216{,}87}{0{,}893 * \frac{1512}{1{,}0}}\right) \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{216{,}87}{0{,}893 * \frac{1512}{1{,}0}}\right) \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 0{,}86 \\ 0{,}78 \end{Bmatrix} = 0{,}78$$

$$k_{zy} = max \begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * \overline{\lambda_z}}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{Bmatrix} = max \begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * 0{,}79}{0{,}6 - 0{,}25} * \frac{216{,}87}{0{,}668 * \frac{1512}{1{,}0}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{0{,}6 - 0{,}25} * \frac{216{,}87}{0{,}668 * \frac{1512}{1{,}0}} \end{Bmatrix} =$$

$$= max \begin{Bmatrix} 0{,}95 \\ 0{,}94 \end{Bmatrix} = 0{,}95$$

posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{216{,}87}{\frac{0{,}893 * 1512}{1{,}0}} + 0{,}78 * \frac{45{,}32}{\frac{0{,}99 * 133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}43 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{216{,}87}{\frac{0{,}668 * 1512}{1{,}0}} + 0{,}95 * \frac{45{,}32}{\frac{0{,}99 * 133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}54 \leq 1$$

$Vyhovuje.$

podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{216{,}87}{\frac{1512}{1{,}0}} + \frac{45{,}32}{\frac{133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}48 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

f) posudek na smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2067 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 280{,}45\ kN \gg V_{Ed} = 11{,}63\ kN$$

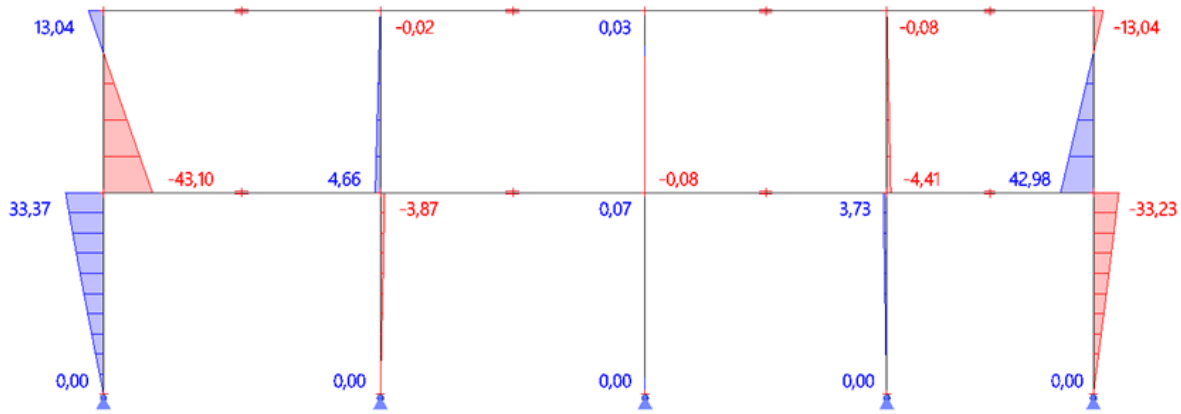
$Vyhovuje$. (malý smyk → není nutné zohledňovat působení smykové síly na únosnost v tlaku a ohybu.)

7.6.1.2 Největší normálová síla

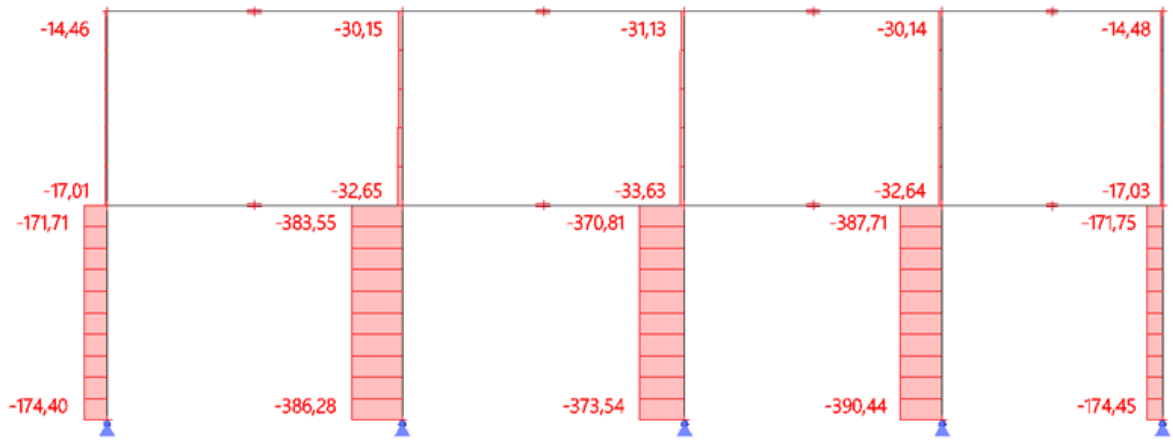
Největší normálová síla vzniká na sloupu S4 při nelineární kombinaci KZS2. (obálka viz. příloha)

a) vnitřní síly:

M [kNm]



N [kN]



$M_{Ed} = 3{,}73\ kNm$

$N_{Ed} = 390{,}44\ kN$

$V_{Ed} = 1{,}00\ kN$

b) průřez:

HEA 220

$A = 6434\ mm^2$ $\qquad$ $A_{vz} = 2067\ mm^2$

$i_y = 91{,}7\ mm$ $\qquad$ $i_z = 55{,}1\ mm$

$W_{pl,y} = 568500 mm^3$

c) posudek na kombinaci tlaku a ohybu

charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$N_{Rk} = A * f_y = 6434 * 235 = 1512\ kN$

$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 568500 * 235 = 133{,}60\ kNm$

součinitele ekvivalentního konstantního momentu C_{my} a C_{mLT}:

$C_{my} = 0{,}9$ (vybočení s posuvem styčníků)

$C_{mLT} = 0{,}6 + \psi * 0{,}4 = 0{,}6 + 0 * 0{,}4 = 0{,}6\ ale\ C_{mLT} \geq 0{,}4$

$\psi = \frac{M_d}{M_h} = \frac{0}{3{,}30} = 0$

interakční součinitele:

$$k_{yy} = min \begin{Bmatrix} C_{my} * \left(1 + \left(\overline{\lambda_y} - 0{,}2\right) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \end{Bmatrix} =$$

$$= min \begin{Bmatrix} 0{,}9 * \left(1 + (0{,}48 - 0{,}2) * \frac{390{,}44}{0{,}893 * \frac{1512}{1{,}0}}\right) \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{390{,}44}{0{,}893 * \frac{1512}{1{,}0}}\right) \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 0{,}97 \\ 1{,}11 \end{Bmatrix} = 0{,}97$$

$$k_{zy} = max\begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * \overline{\lambda_z}}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{Bmatrix} = max\begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * 0{,}79}{0{,}6 - 0{,}25} * \frac{390{,}44}{0{,}668 * \frac{1512}{1{,}0}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{0{,}6 - 0{,}25} * \frac{390{,}44}{0{,}668 * \frac{1512}{1{,}0}} \end{Bmatrix} =$$

$$= max\begin{Bmatrix} 0{,}91 \\ 0{,}89 \end{Bmatrix} = 0{,}91$$

posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{390{,}44}{\frac{0{,}893 * 1512}{1{,}0}} + 0{,}97 * \frac{3{,}73}{\frac{0{,}99 * 133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}32 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{390{,}44}{\frac{0{,}668 * 1512}{1{,}0}} + 0{,}91 * \frac{3{,}73}{\frac{0{,}99 * 133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}41 \leq 1$$

$Vyhovuje.$

podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{390{,}44}{\frac{1512}{1{,}0}} + \frac{3{,}73}{\frac{133{,}60}{1{,}0}} = 0{,}29 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

d) posudek na smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2067 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 280{,}45\ kN \gg V_{Ed} = 1{,}00\ kN$$

$Vyhovuje.$ (malý smyk → není nutné zohledňovat působení smykové síly na únosnost v tlaku a ohybu.)

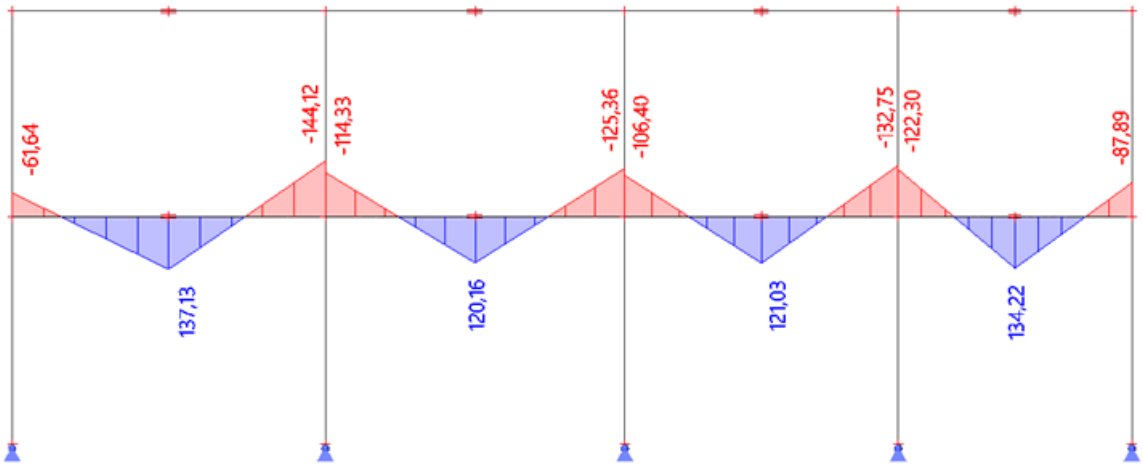
7.6.2 posouzení příčle nad 1.NP

Všechny příčle nad 1.NP budou stejného průřezu. Posoudíme příčel namáhanou největším ohybovým momentem.

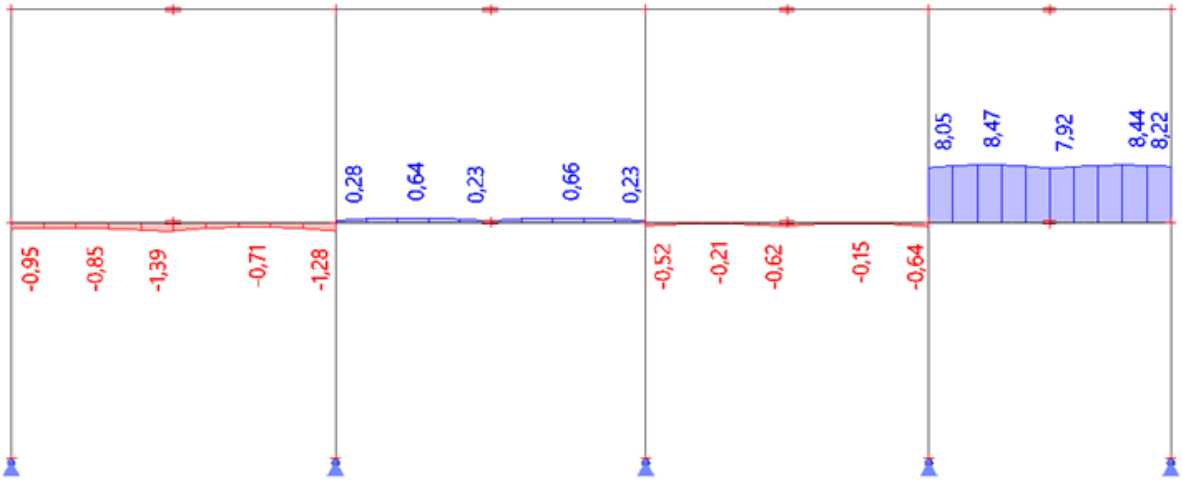
Největší ohybový moment vzniká na příčli P1 při nelineární kombinaci KZS7. (obálka viz. příloha)

a) vnitřní síly:

M [kNm]



N [kN]



$M_{Ed} = 137{,}13\ kNm$

$N_{Ed} = -1{,}39\ kN$

$V_{Ed} = 99{,}78\ kN$

b) průřez:

IPE 300

$A = 5381\ mm^2$ $\qquad$ $A_{vz} = 2568\ mm^2$

$W_{pl,y} = 804300 mm^3$

c) klopení

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628400 * 235}{790{,}47 * 10^6}} = 0{,}43$$

$M_{cr} = 790{,}47\ kNm$ (kritický moment při klopení – viz. příloha)

$$\phi_{LT} = 0{,}5 * \left[1 + \alpha_{LT} * \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 * [1 + 0{,}21 * (0{,}43 - 0{,}4) + 0{,}7 * 0{,}43^2] =$$

$$= 0{,}57$$

$$\alpha_{LT} = 0{,}21; \frac{h}{b} = \frac{300}{150} = 2 \leq 2 \rightarrow křivka\ klopení\ „a“$$

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}{}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2}} = \frac{1}{0{,}57 + \sqrt{0{,}57^2 - 0{,}7 * 0{,}43^2}} = 0{,}99$$

$$ale\ \chi_{LT} \leq 1;\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^2} = \frac{1}{0{,}43^2} = 5{,}41$$

d) posudek na ohyb

Provedeme posouzení pouze na ohyb, protože vliv normálové síly je zanedbatelný.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0{,}99 * 628400 * \frac{235}{1{,}0} = 146{,}20\ kNm > M_{Ed} = 137{,}13\ kNm$$

$Vyhovuje.$

e) posudek na smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2568 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 348{,}42\ kN \gg V_{Ed} = 99{,}78\ kN$$

$Vyhovuje.$ (malý smyk → není nutné zohledňovat působení smykové síly na únosnost v ohybu.)

7.6.3 posouzení příčle nad 2.NP

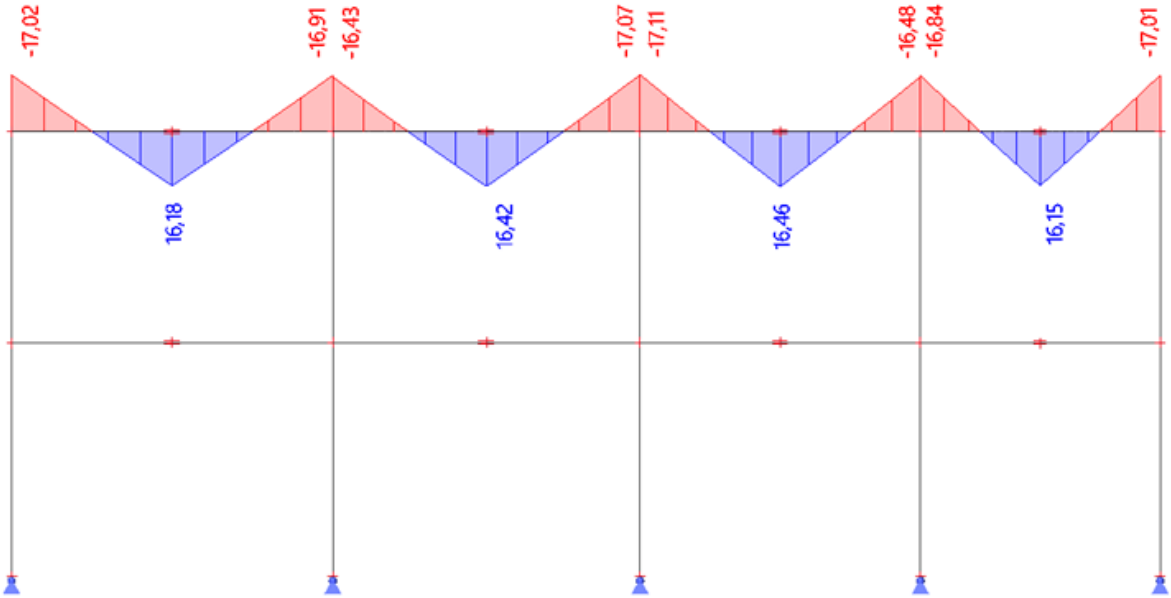
Všechny příčle nad 2.NP budou stejného průřezu. Posoudíme příčel namáhanou největším ohybovým momentem a příčel namáhanou největší normálovou silou.

7.6.3.1 Největší ohybový moment

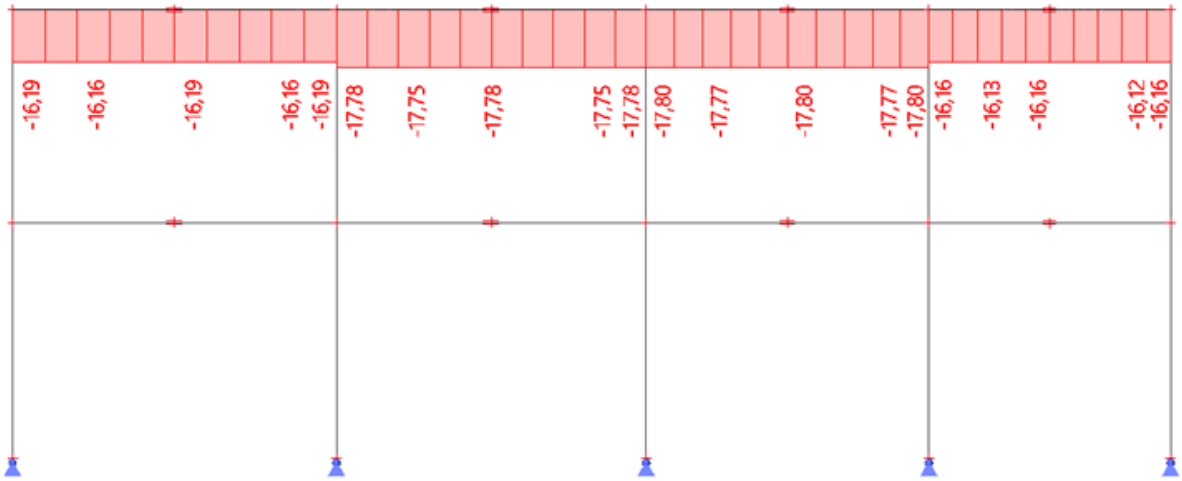
Největší ohybový moment vzniká na příčli P7 při nelineární kombinaci KZS1. (obálka viz. příloha)

a) vnitřní síly:

[kNm]



[kN]



$M_{Ed} = 17{,}11\ kNm$

$N_{Ed} = -17{,}80\ kN$

$V_{Ed} = 12{,}17\ kN$

b) průřez:

IPE 180

$A = 2395\ mm^2$ $\qquad$ $A_{vz} = 1125\ mm^2$

$i_y = 74{,}2\ mm$ $\qquad$ $i_z = 20{,}5\ mm$

$W_{pl,y} = 166400 mm^3$

c) vzpěr

Jako vzpěrnou délku pro vybočení v rovině uvažujeme skutečnou délku příčle. Pro vybočení z roviny je příčel zajištěna v polovině rozpětí stropnicí.

$L_{cr,y} = 5696\ mm$

$L_{cr,z} = 2848\ mm$

štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5696}{74{,}2} = 76{,}77$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2848}{20{,}5} = 138{,}93$$

poměrné štíhlosti:

$$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{76{,}77}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0{,}82$$

$$\overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{138{,}93}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}48$$

součinitele vzpěrnosti:

$\chi_y = 0{,}712$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „b“)

$\chi_z = 0{,}321$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

d) klopení

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{166400 * 235}{47{,}06 * 10^6}} = 0{,}91$$

$M_{cr} = 47{,}06\ kNm$ (kritický moment při klopení – viz. příloha)

$$\phi_{LT} = 0{,}5 * \left[1 + \alpha_{LT} * \left(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}\right) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right] = 0{,}5 * [1 + 0{,}21 * (0{,}91 - 0{,}4) + 0{,}7 * 0{,}91^2] =$$

$$= 0{,}84$$

$\alpha_{LT} = 0{,}21; \frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1{,}98 \leq 2 \rightarrow křivka\ klopení\ „a“$

součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}{}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}{}^2}} = \frac{1}{0{,}84 + \sqrt{0{,}84^2 - 0{,}7 * 0{,}91^2}} = 0{,}84$$

$ale\ \chi_{LT} \leq 1;\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^2} = \frac{1}{0{,}91^2} = 1{,}21$

charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$N_{Rk} = A * f_y = 2395 * 235 = 562{,}83\ kN$

$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 166400 * 235 = 39{,}1\ kNm$

e) posudek na kombinaci tlaku a ohybu

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my}:

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_{h,1}} = \frac{16{,}46}{-17{,}11} = -0{,}96$$

$$\psi = \frac{M_{h,2}}{M_{h,1}} = \frac{-16{,}48}{-17{,}11} = 0{,}96$$

$C_{my} = 0{,}1 - 0{,}8 * \alpha_s = 0{,}1 - 0{,}8 * 0{,}96 = 0{,}87$

$ale\ C_{my} \geq 0{,}4$

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT}:

$$\psi = \frac{M_{h,2}}{M_{h,1}} = \frac{16{,}46}{-17{,}11} = -0{,}96$$

$$C_{mLT} = 0{,}6 + 0{,}4 * \psi = 0{,}6 + 0{,}4 * (-0{,}96) = 0{,}22$$

$$ale\ C_{mLT} \geq 0{,}4 \rightarrow C_{mLT} = 0{,}4$$

interakční součinitele:

$$k_{yy} = min \begin{Bmatrix} C_{my} * \left(1 + \left(\overline{\lambda_y} - 0{,}2\right) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) \end{Bmatrix} =$$

$$= min \begin{Bmatrix} 0{,}87 * \left(1 + (0{,}82 - 0{,}2) * \frac{17{,}80}{0{,}712 * \frac{562{,}83}{1{,}0}}\right) \\ 0{,}87 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{17{,}80}{0{,}712 * \frac{669{,}28}{1{,}0}}\right) \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 0{,}89 \\ 0{,}90 \end{Bmatrix} = 0{,}89$$

$$k_{zy} = max \begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * \overline{\lambda_z}}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{C_{mLT} - 0{,}25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{Bmatrix} = max \begin{Bmatrix} 1 - \frac{0{,}1 * 1{,}48}{0{,}4 - 0{,}25} * \frac{17{,}80}{0{,}321 * \frac{562{,}83}{1{,}0}} \\ 1 - \frac{0{,}1}{0{,}4 - 0{,}25} * \frac{17{,}80}{0{,}321 * \frac{562{,}83}{1{,}0}} \end{Bmatrix} =$$

$$= max \begin{Bmatrix} 0{,}90 \\ 0{,}93 \end{Bmatrix} = 0{,}93$$

posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{17{,}80}{\frac{0{,}712 * 562{,}83}{1{,}0}} + 0{,}89 * \frac{17{,}11}{\frac{0{,}84 * 39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}51 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{17{,}80}{\frac{0{,}321 * 562{,}83}{1{,}0}} + 0{,}93 * \frac{17{,}11}{\frac{0{,}84 * 39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}58 \leq 1$$

$Vyhovuje.$

podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{17{,}80}{\frac{562{,}83}{1{,}0}} + \frac{17{,}11}{\frac{39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}47 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

f) posudek na smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1125 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 152{,}64\ kN \gg V_{Ed} = 12{,}17\ kN$$

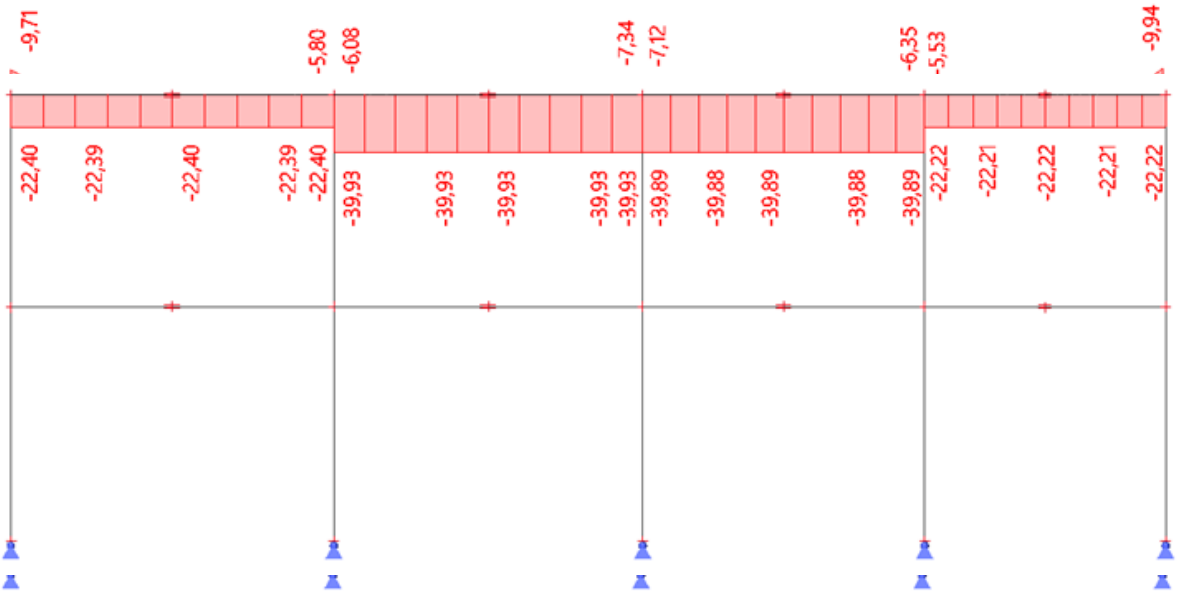
$Vyhovuje$. (malý smyk → není nutné zohledňovat působení smykové síly na únosnost v tlaku a ohybu.)

7.6.3.2 Největší normálová síla

Největší normálová síla vzniká na příčli P6 při nelineární kombinaci KZS4. (obálka viz. příloha)

a) vnitřní síly:

M [kNm]



N [kN]

$M_{Ed} = 7{,}34\ kNm$

$N_{Ed} = -39{,}93\ kN$

$V_{Ed} = 5{,}19\ kN$

b) průřez:

IPE 180

$A = 2395\ mm^2$ $\qquad$ $A_{vz} = 1125\ mm^2$

$i_y = 74{,}2\ mm$ $\qquad$ $i_z = 20{,}5\ mm$

$W_{pl,y} = 166400 mm^3$

c) posudek na kombinaci tlaku a ohybu

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my}:

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_{h,1}} = \frac{6{,}33}{-7{,}34} = -0{,}86$$

$$\psi = \frac{M_{h,2}}{M_{h,1}} = -\frac{-6{,}08}{-7{,}34} = 0{,}83$$

$$C_{my} = 0{,}1 - 0{,}8 * \alpha_s = 0{,}1 - 0{,}8 * 0{,}86 = 0{,}79$$

$ale\ C_{my}\ \geq 0{,}4$

součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT}:

$$\psi = \frac{M_{h,2}}{M_{h,1}} = \frac{6{,}33}{-7{,}34} = -0{,}86$$

$$C_{mLT} = 0{,}6 + 0{,}4 * \psi = 0{,}6 + 0{,}4 * (-0{,}86) = 0{,}26$$

$ale\ C_{mLT} \geq 0{,}4 \rightarrow C_{mLT} = 0{,}4$

interakční součinitele:

$$k_{yy} = min \left\{ \begin{array}{c} C_{my} * \left(1 + \left(\overline{\lambda_y} - 0{,}2\right) * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_y * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_y * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= min\begin{Bmatrix} 0{,}79 * \left(1 + (0{,}82 - 0{,}2) * \dfrac{39{,}93}{0{,}712 * \dfrac{562{,}83}{1{,}0}}\right) \\ 0{,}79 * \left(1 + 0{,}8 * \dfrac{39{,}93}{0{,}712 * \dfrac{562{,}83}{1{,}0}}\right) \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}84 \\ 0{,}85 \end{Bmatrix} = 0{,}84$$

$$k_{zy} = max\begin{Bmatrix} 1 - \dfrac{0{,}1 * \overline{\lambda_z}}{C_{mLT} - 0{,}25} * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_z * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \dfrac{0{,}1}{C_{mLT} - 0{,}25} * \dfrac{N_{Ed}}{\chi_z * \dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{Bmatrix} = max\begin{Bmatrix} 1 - \dfrac{0{,}1 * 1{,}48}{0{,}4 - 0{,}25} * \dfrac{39{,}93}{0{,}321 * \dfrac{562{,}83}{1{,}0}} \\ 1 - \dfrac{0{,}1}{0{,}4 - 0{,}25} * \dfrac{39{,}93}{0{,}321 * \dfrac{562{,}83}{1{,}0}} \end{Bmatrix} =$$

$$= max\begin{Bmatrix} 0{,}78 \\ 0{,}85 \end{Bmatrix} = 0{,}85$$

posudek:

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\dfrac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{39{,}93}{\dfrac{0{,}712 * 562{,}83}{1{,}0}} + 0{,}84 * \frac{7{,}34}{\dfrac{0{,}72 * 39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}32 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\dfrac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{39{,}93}{\dfrac{0{,}321 * 562{,}83}{1{,}0}} + 0{,}85 * \frac{7{,}34}{\dfrac{0{,}72 * 39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}44 \leq 1$$

$Vyhovuje.$

podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\dfrac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\dfrac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{39{,}93}{\dfrac{562{,}83}{1{,}0}} + \frac{7{,}34}{\dfrac{39{,}1}{1{,}0}} = 0{,}26 \leq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

d) posudek na smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1125 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 152{,}64\ kN \gg V_{Ed} = 5{,}19\ kN$$

$Vyhovuje.$ (malý smyk → není nutné zohledňovat působení smykové síly na únosnost v tlaku a ohybu.)

8 Ztužidla

Diagonály ztužidel budou z kruhových trubek a budou působit v tahu i v tlaku.

8.1 Stěnové ztužidlo

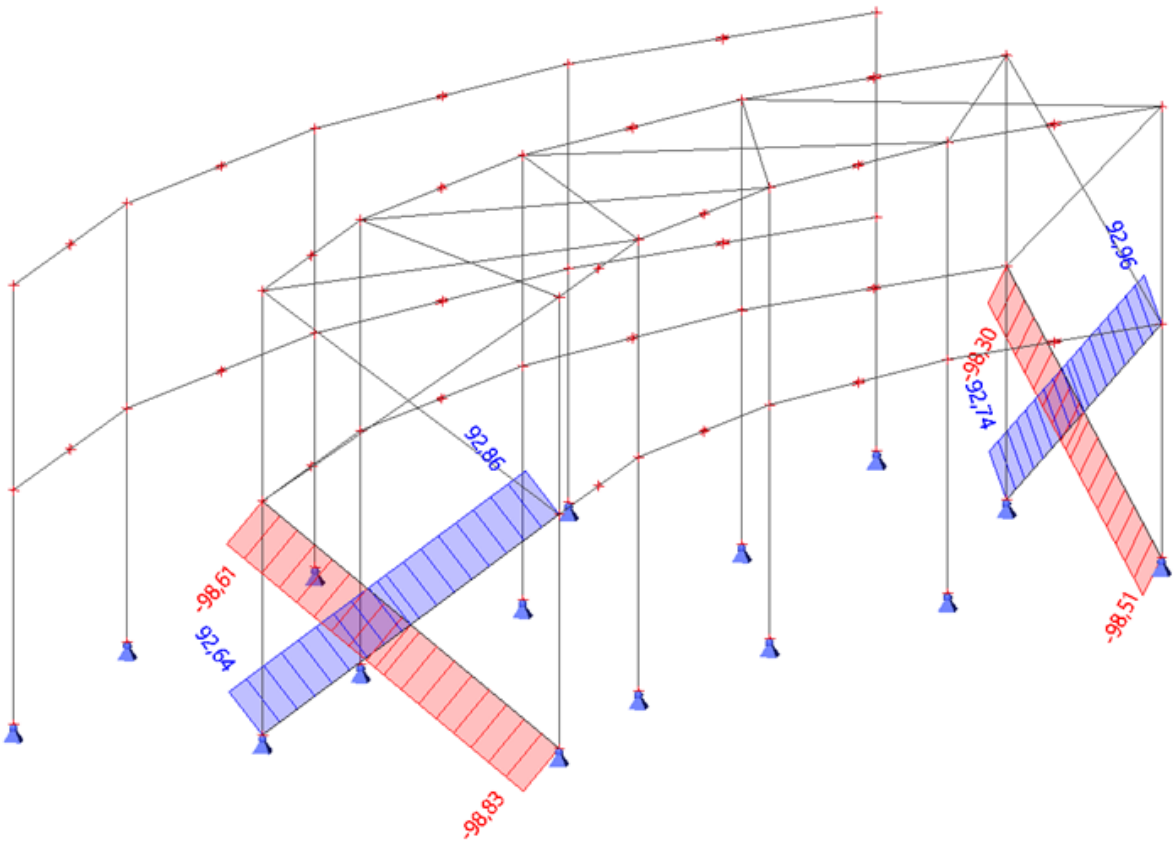
Provedeme návrh a posouzení spodních a horních diagonál ztužidla.

8.1.1 Spodní diagonála

Největší tlaková i největší tahová síla vzniká v nelineární kombinaci KZS9 (obálka viz. příloha).

a) vnitřní síly

N [kN]



Největší tahová síla: $N_{t,Ed} = 92{,}96\ kN$

Největší tlaková síla: $N_{c,Ed} = 98{,}83\ kN$

b) návrh

$L = 6612\ m$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině je rovna polovině délky prutu. Vzpěrnou délku pro vybočení z roviny vypočteme z rozdílu tlakové a tahové síly v diagonálách:

$L_{cr,y} = 0{,}5 * L = 0{,}5 * 6612 = 3306\ mm$

$$L_{cr,z} = L * \sqrt{1 - 0{,}75 * \frac{N_t}{N_c}} = 6612 * \sqrt{1 - 0{,}75 * \frac{92{,}86}{98{,}83}} = 3593\ mm$$

$N_c = N_{c,Ed} = 98{,}83\ kN$

$N_t = 92{,}86\ kN$ (tahová síla v diagonále při nelineární kombinaci KZS9)

Návrh: kruhová trubka 89/4,0

$A = 1068\ mm^2$ $\qquad$ $i = 30{,}1\ mm$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3593}{30{,}1} = 119{,}37$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{119{,}37}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}27$$

$\chi = 0{,}402$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}402 * 1068 * 235 = 100{,}90\ \text{kN} > N_{c,Ed} = 98{,}83\ kN$

$N_{t,Rd} = A * f_y = 1068 * 235 = 250{,}98\ kN > N_{t,Ed} = 92{,}96\ kN$

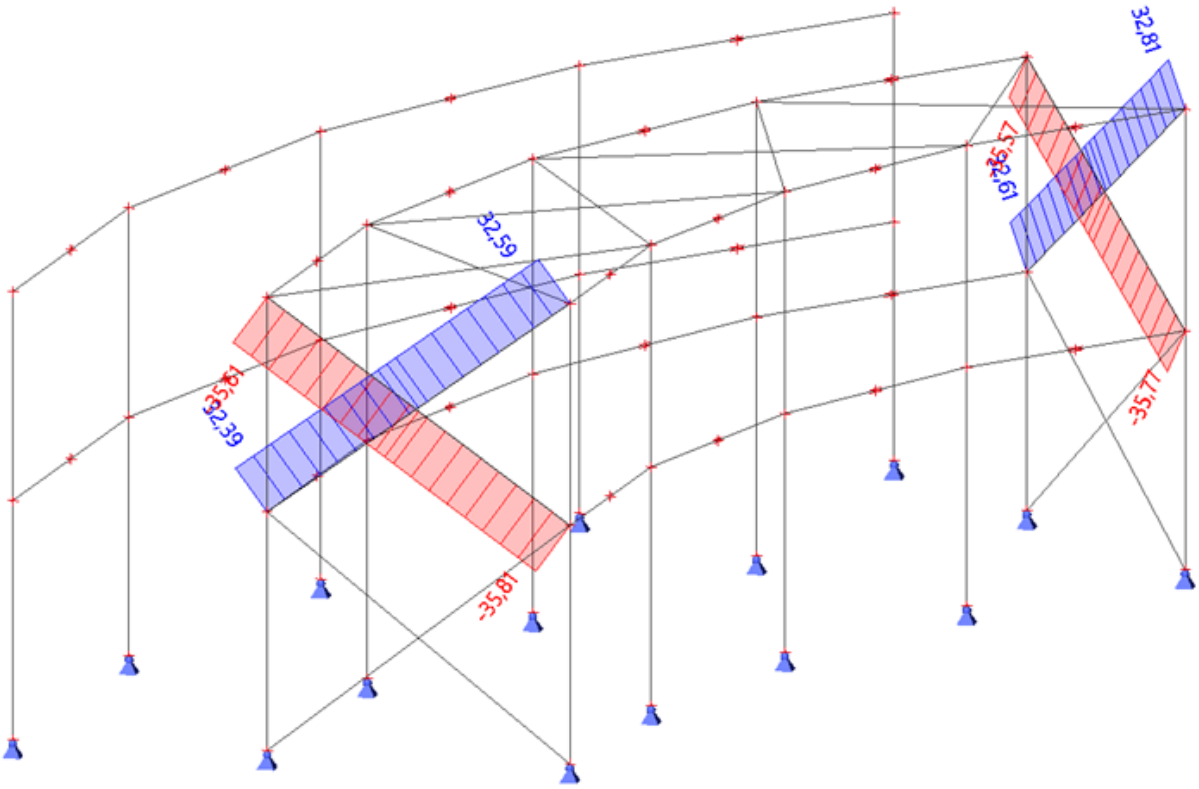
$Vyhovuje.$

8.1.2 Horní diagonála

Největší tlaková i největší tahová síla vzniká v nelineární kombinaci KZS9 (obálka viz. příloha).

a) vnitřní síly

N [kN]



Největší tahová síla: $N_{t,Ed} = 32{,}81\ kN$

Největší tlaková síla: $N_{c,Ed} = 35{,}81\ kN$

b) návrh

$L = 6366\ m$

Vzpěrná délka pro vybočení v rovině je rovna polovině délky prutu. Vzpěrnou délku pro vybočení z roviny vypočteme z rozdílu tlakové a tahové síly v diagonálách:

$L_{cr,y} = 0{,}5 * L = 0{,}5 * 6366 = 3183\ mm$

$$L_{cr,z} = L * \sqrt{1 - 0{,}75 * \frac{N_t}{N_c}} = 6366 * \sqrt{1 - 0{,}75 * \frac{32{,}59}{35{,}81}} = 3587\ mm$$

$N_c = N_{c,Ed} = 35{,}81\ kN$

$N_t = 32{,}59\ kN$ (tahová síla v diagonále při nelineární kombinaci KZS9)

Návrh: kruhová trubka 63,5/4,0

$A = 748\ mm^2$ $\qquad\qquad$ $i = 21{,}1\ mm$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3587}{21{,}1} = 170 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{170}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}81$$

$\chi = 0{,}232$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}232 * 748 * 235 = 40{,}78\ kN > N_{c,Ed} = 35{,}81\ kN$

$N_{t,Rd} = A * f_y = 748 * 235 = 175{,}78\ kN > N_{t,Ed} = 32{,}81\ kN$

$Vyhovuje.$

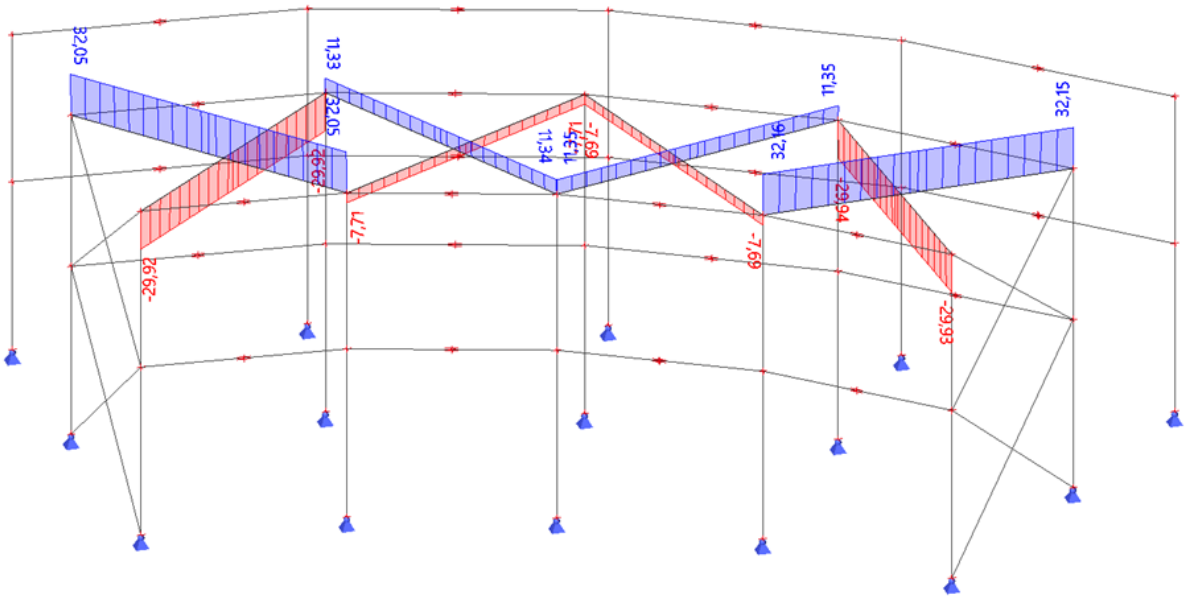
8.2 Střešní ztužidlo

Všechny diagonály střešního ztužidla budou stejného průřezu.

Největší tlaková i největší tahová síla vzniká v nelineární kombinaci KZS9 (obálka viz. příloha).

a) vnitřní síly

N [kN]



Největší tahová síla: $N_{t,Ed} = 32{,}16\ kN$

Největší tlaková síla: $N_{c,Ed} = 29{,}94\ kN$

b) návrh

$L = 7279\ m$

Obě vzpěrné délky jsou rovny polovině délky prutu, protože v místě křížení jsou diagonály připojeny k vaznici, které brání vybočení v rovině i z roviny.

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 0{,}5 * L = 0{,}5 * 7279 = 3640\ mm$

Návrh: kruhová trubka 60,3/3,6

$A = 641\ mm^2$ $\qquad$ $i = 20{,}1\ mm$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3640}{20{,}1} = 181{,}09 \leq 200$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{181{,}09}{\pi} * \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1{,}93$$

$\chi = 0{,}209$ (pro křivku vzpěrné pevnosti „c“)

$N_{c,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}209 * 641 * 235 = 31{,}48\ kN > N_{c,Ed} = 29{,}94\ kN$

$N_{t,Rd} = A * f_y = 641 * 235 = 150{,}64\ kN > N_{t,Ed} = 32{,}16\ kN$

$Vyhovuje.$

9 Návrh detailů

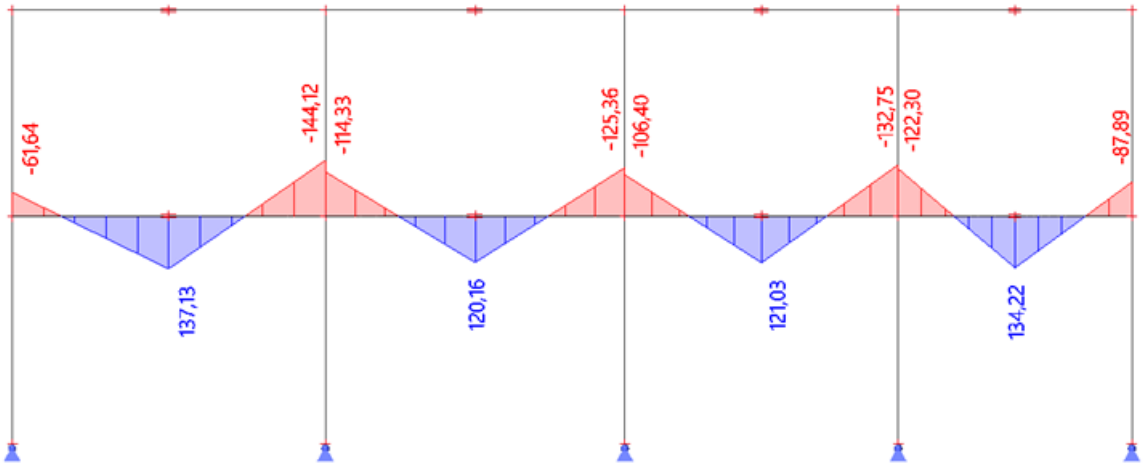
9.1 Rámový roh

Provedeme návrh a posouzení momentového přípoje příčle na sloup. Použijeme nepředepnuté šrouby M24 třídy pevnosti 8.8. Ocel použitá na výztuhy a čelní desku je uvažována S235.

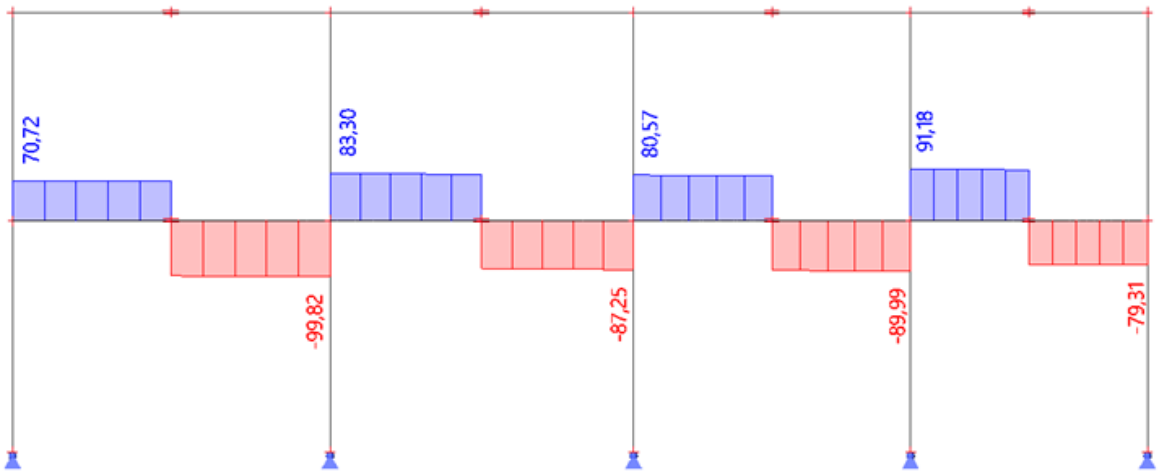
vnitřní síly:

Největší ohybový moment a posouvající síla vznikají na styku sloupu S2 a příčle P5 při nelineární kombinaci KZS 7.

M [kNm]



V [kN]



$M_{Ed} = 144{,}13\ kNm$

$V_{Ed} = 99{,}82\ kN$

9.1.1 Návrh svarů

Svary navrhneme na plnou únosnost průřezů.

svar čelní desky a tažené pásnice příčle:

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} = \frac{10{,}7}{2} * \frac{235}{1{,}0} * \frac{0{,}8 * 1{,}25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 5{,}08\ mm \rightarrow a_1 = 6\ mm$$

$t_f = 10{,}7\ mm$ (tloušťka pásnice příčle)

$\beta_w = 0{,}8$ (korelační součinitel pro koutové svary pro ocel S235)

$\gamma_{M2} = 1{,}25$ (dílčí součinitel spolehlivosti materiálu pro přípoje)

$f_u = 360\ MPa$ (mez pevnosti materiálu spojovaných prvků)

svar čelní desky a tlačené pásnice příčle:

Svar uvažujeme zjednodušeně stejné tloušťky jako u tažené pásnice.

$a_2 = 6\ mm$

svar čelní desky a stojiny příčle:

$$a_3 \geq \frac{t_w}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} = \frac{7{,}1}{2} * \frac{235}{1{,}0} * \frac{0{,}8 * 1{,}25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 3{,}28\ mm \rightarrow a_3 = 4\ mm$$

$t_w = 7{,}1\ mm$ (tloušťka stojiny příčle)

svar výztuhy a stojiny sloupu:

Svar uvažujeme stejné tloušťky jako svar čelní desky a stojiny příčle.

$a_4 = 4\ mm$

svar výztuhy příčle a čelní desky:

Svar uvažujeme stejné tloušťky jako svar čelní desky a stojiny příčle.

$a_4 = 4\ mm$

9.1.2 Návrh dílčích komponent

Dílčí komponenty budou navrženy odhadem podle tlouštěk pásnic sloupu a příčle.

výztuha stojiny sloupu:

$t_v \approx t_f = 12\ mm$

$t_f = 10{,}7\ mm$ (tloušťka pásnice příčle)

čelní deska:

$t_d \approx t_f = 12\ mm$

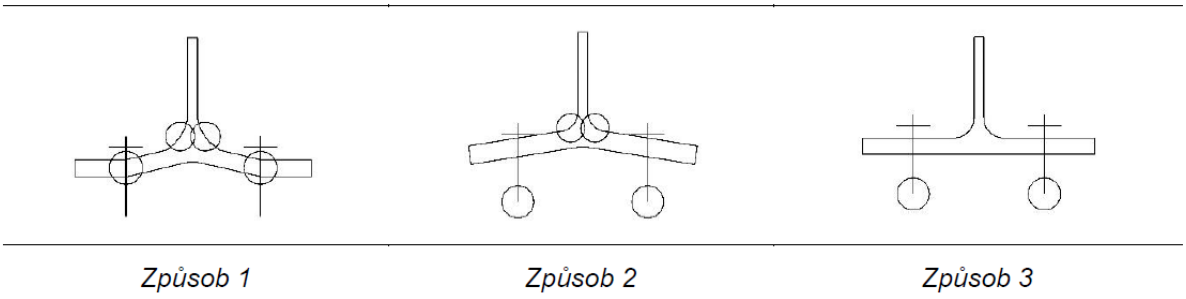
$t_f = 11\ mm$ (tloušťka pásnice sloupu)

9.2 Únosnost šroubů v tahu

Pro výpočet únosnosti ohýbané pásnice a čelní desky použijeme model náhradního T-průřezu. Jeho únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení.

Způsob porušení		Návrhová únosnost
způsob 1	plastický mechanismus (4 plastické klouby)	$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m}$
způsob 2	plastický mechanismus – páčení) 2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)	$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
způsob 3	porušení šroubů v tahu	$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

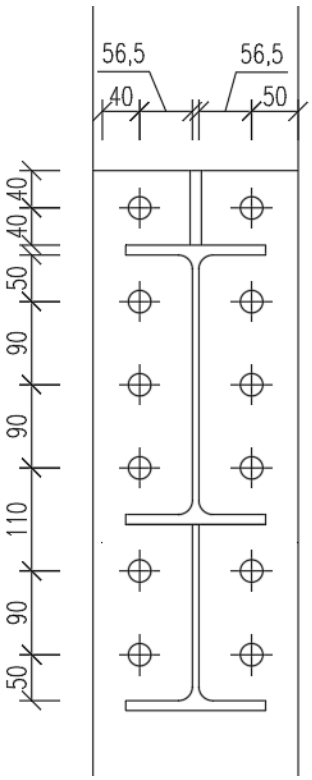
grafické znázornění způsobů porušení:



$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * 353 * 800}{1{,}25} = 203{,}3\ kN$$

$f_{ub} = 800\ MPa$ (mez pevnosti materiálu šroubů)

9.2.1.1 Únosnost 1. řady šroubů



$c_1 = 0{,}8 * a_1 * \sqrt{2} = 0{,}8 * 6 * \sqrt{2} = 6{,}79\ mm$

$c_2 = 0{,}8 * a_3 * \sqrt{2} = 0{,}8 * 4 * \sqrt{2} = 4{,}53\ mm$

$m_2 = 40 - c_1 = 40 - 6{,}79 = 33{,}21\ mm$

$m = 56{,}5 - c_2 = 56{,}5 - 4{,}53 = 51{,}97\ mm$

$e = 50\ mm$

$e_1 = 40\ mm$

$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{51{,}97}{51{,}97+50} = 0{,}51$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{33{,}21}{51{,}97+50} = 0{,}33$$

$\alpha = 2 * \pi$

$$n = min\begin{Bmatrix} e \\ 1{,}25 * m \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 1{,}25 * 51{,}97 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 64{,}96 \end{Bmatrix} = 50\ mm$$

a) efektivní šířka

samostatné působení, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = min\begin{Bmatrix} 2 * \pi * m \\ \pi * m + 2 * e_1 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2 * \pi * 51{,}97 \\ \pi * 51{,}97 + 2 * 40 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 326{,}54 \\ 243{,}27 \end{Bmatrix} = 243{,}57\ mm$$

samostatné působení, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = e_1 + \alpha * m - (2 * m + 0{,}625 * e) = 40 + 2 * \pi * 51{,}97 - (2 * 51{,}97 + 0{,}625 * 50) =$$

$$= 231{,}35\ mm$$

$$l_{eff,1} = min\begin{Bmatrix} l_{eff,cp} \\ l_{eff,nc} \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 243{,}57 \\ 231{,}35 \end{Bmatrix} = 231{,}35\ mm$$

$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 231{,}35\ mm$

b) plastické momenty únosnosti

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 231{,}35 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 1{,}64 * 10^6\ Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 231{,}35 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 1{,}64 * 10^6\ Nmm$$

c) návrhová únosnost 1. řady šroubů

způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1{,}64 * 10^6}{51{,}97} = 126{,}23\ kN$$

způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1{,}64 * 10^6 + 50 * 2 * 203{,}3 * 10^3}{51{,}97 + 50} = 231{,}54\ kN$$

způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203{,}3 = 406{,}6\ kN$$

únosnost 1. řady šroubů odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t,1,Rd} = min\begin{Bmatrix} F_{t,a,Rd} \\ F_{t,b,Rd} \\ F_{t,c,Rd} \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 126{,}23 \\ 231{,}54 \\ 406{,}6 \end{Bmatrix} = 126{,}23\ kN$$

9.2.1.2 Únosnost 2. řady šroubů

$$m_2 = 50 - c_1 = 50 - 6{,}79 = 43{,}21\ mm$$

$$m = 56{,}5 - c_2 = 56{,}5 - 4{,}53 = 51{,}97\ mm$$

$$e = 50\ mm$$

$$p = 90\ mm$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{51{,}97}{51{,}97+50} = 0{,}51$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{43{,}21}{51{,}97 + 50} = 0{,}42$$

$$\alpha = 6$$

$$n = min\begin{Bmatrix} e \\ 1{,}25 * m \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 1{,}25 * 51{,}97 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 64{,}96 \end{Bmatrix} = 50\ mm$$

a) efektivní šířka

samostatné působení, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 51{,}97 = 326{,}54\ mm$$

samostatné působení, nekruhové porušení:

$l_{eff,nc} = \alpha * m = 6 * 51{,}97 = 311{,}82\ mm$

skupinové působení, kruhové porušení:

$l_{eff,cp} = \pi * m + p = \pi * 51{,}97 + 90 = 253{,}27\ mm$

skupinové působení, nekruhové porušení:

$l_{eff,nc} = 0{,}5 * p + \alpha * m - (2 * m + 0{,}625 * e) = 0{,}5 * 90 + 6 * 51{,}97 -$

$-(2 * 51{,}97 + 0{,}625 * 50) = 221{,}63 mm$

$$l_{eff,1} = min \begin{Bmatrix} min\ (l_{eff,cp}) \\ min(l_{eff,nc}) \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 311{,}82 \\ 221{,}63 \end{Bmatrix} = 221{,}63\ mm$$

$l_{eff,2} = min\ (l_{eff,nc}) = 221{,}63\ mm$

b) plastické momenty únosnosti

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 221{,}63 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 1{,}58 * 10^6\ Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 221{,}63 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 1{,}58 * 10^6\ Nmm$$

c) návrhová únosnost 2. řady šroubů

způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1{,}58 * 10^6}{51{,}97} = 121{,}61\ kN$$

způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1{,}58 * 10^6 + 50 * 2 * 203{,}3 * 10^3}{51{,}97 + 50} = 230{,}36\ kN$$

způsob 3:

$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203{,}3 = 406{,}6\ kN$

únosnost 2. řady šroubů odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t,1,Rd} = min \begin{Bmatrix} F_{t,a,Rd} \\ F_{t,b,Rd} \\ F_{t,c,Rd} \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 121{,}61 \\ 230{,}36 \\ 406{,}6 \end{Bmatrix} = 121{,}61\ kN$$

9.2.1.3 Únosnost 3. řady šroubů

$m = 56{,}5 - c_2 = 56{,}5 - 4{,}53 = 51{,}97\ mm$

$e = 50\ mm$

$p = 90\ mm$

$$n = min\begin{Bmatrix} e \\ 1{,}25 * m \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 1{,}25 * 51{,}97 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 50 \\ 64{,}96 \end{Bmatrix} = 50\ mm$$

a) efektivní šířka

samostatné působení, kruhové porušení:

$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 51{,}97 = 326{,}54\ mm$

samostatné působení, nekruhové porušení:

$l_{eff,nc} = 4 * m + 1{,}25 * e = 4 * 51{,}97 + 1{,}25 * 50 = 270{,}38\ mm$

skupinové působení, kruhové porušení:

$l_{eff,cp} = 2 * p = 2 * 90 = 180\ mm$

skupinové působení, nekruhové porušení:

$l_{eff,nc} = p = 90\ mm$

$$l_{eff,1} = min\begin{Bmatrix} min\ (l_{eff,cp}) \\ min(l_{eff,nc}) \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 270{,}38 \\ 90 \end{Bmatrix} = 90\ mm$$

$l_{eff,2} = min\ (l_{eff,nc}) = 90\ mm$

b) plastické momenty únosnosti

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 90 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 0{,}64 * 10^6\ Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 90 * 11^2 * \frac{235}{1{,}0} = 0{,}64 * 10^6\ Nmm$$

c) návrhová únosnost 3. řady šroubů

způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 0{,}64 * 10^6}{51{,}97} = 49{,}26\ kN$$

způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 0{,}64 * 10^6 + 50 * 2 * 203{,}3 * 10^3}{51{,}97 + 50} = 211{,}93\ kN$$

způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203{,}3 = 406{,}6\ kN$$

únosnost 3. řady šroubů odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t,1,Rd} = min \begin{Bmatrix} F_{t,a,Rd} \\ F_{t,b,Rd} \\ F_{t,c,Rd} \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 49{,}26 \\ 211{,}93 \\ 406{,}6 \end{Bmatrix} = 49{,}26\ kN$$

9.2.1.4 Únosnost 4. a 5. řady šroubů

$$m = 56{,}5 - c_2 = 56{,}5 - 4{,}53 = 51{,}97\ mm$$

$$e = 50\ mm$$

$$p = 100\ mm$$

$$n = min \begin{Bmatrix} e \\ 1{,}25 * m \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 50 \\ 1{,}25 * 51{,}97 \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 50 \\ 64{,}96 \end{Bmatrix} = 50\ mm$$

a) efektivní šířka

samostatné působení, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 51{,}97 = 326{,}54\ mm$$

samostatné působení, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 4 * m + 1{,}25 * e = 4 * 51{,}97 + 1{,}25 * 50 = 270{,}38\ mm$$

skupinové působení, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 * p = 2 * 100 = 2000\ mm$$

skupinové působení, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = p = 100\ mm$$

$$l_{eff,1} = min \begin{Bmatrix} min\ (l_{eff,cp}) \\ min(l_{eff,nc}) \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 270{,}38 \\ 100 \end{Bmatrix} = 100\ mm$$

$$l_{eff,2} = min\ (l_{eff,nc}) = 100\ mm$$

b) plastické momenty únosnosti

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 100 * 11^2 * \frac{235}{1,0} = 0,71 * 10^6\ Nmm$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * {t_{fc}}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 100 * 11^2 * \frac{235}{1,0} = 0,71 * 10^6\ Nmm$$

c) návrhová únosnost 1. řady šroubů

způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 0,71 * 10^6}{51,97} = 54,65\ kN$$

způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 0,71 * 10^6 + 50 * 2 * 203,3 * 10^3}{51,97 + 50} = 213,3\ kN$$

způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 406,6\ kN$$

únosnost 3. řady šroubů odpovídá způsobu porušení s nejnižší únosností:

$$F_{t,1,Rd} = min \begin{Bmatrix} F_{t,a,Rd} \\ F_{t,b,Rd} \\ F_{t,c,Rd} \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 54,65 \\ 213,3 \\ 406,6 \end{Bmatrix} = 54,65\ kN$$

9.2.1.5 Únosnost 6. řady šroubů – smyková únosnost

a) únosnost šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 353 * 800}{1,25} = 135,55\ kN$$

$A_s = 353\ mm^2$ (plocha šroubu v místě závitu)

b) únosnost šroubu v otlačení

$$\alpha_b = min \begin{Bmatrix} \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} \frac{90}{3 * 26} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1,0 \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 0,9 \\ 2,22 \\ 1,0 \end{Bmatrix} = 0,9$$

$d_0 = d + 2\ mm = 24 + 2 = 26\ mm$ (průměr otvoru pro šroub)

$$k_1 = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{50}{26} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 3{,}68 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = 2{,}5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 0{,}9 * 24 * 11 * 360}{1{,}25} = 171{,}07\ kN$$

c) únosnost přípoje ve smyku

$$V_{Rd} = 2 * min\begin{Bmatrix} F_{v,Rd} \\ F_{b,Rd} \end{Bmatrix} = 2 * min\begin{Bmatrix} 135{,}55 \\ 171{,}07 \end{Bmatrix} = 2 * 135{,}55 = 271{,}1\ kN$$

$V_{Rd} = 271{,}1\ kN > V_{Ed} = 99{,}82\ kN \rightarrow Vyhovuje.$

9.2.2 Únosnost základních komponent

a) únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{628400 * 235}{(300 - 10{,}7) * 1{,}0} = 510{,}82\ kN$$

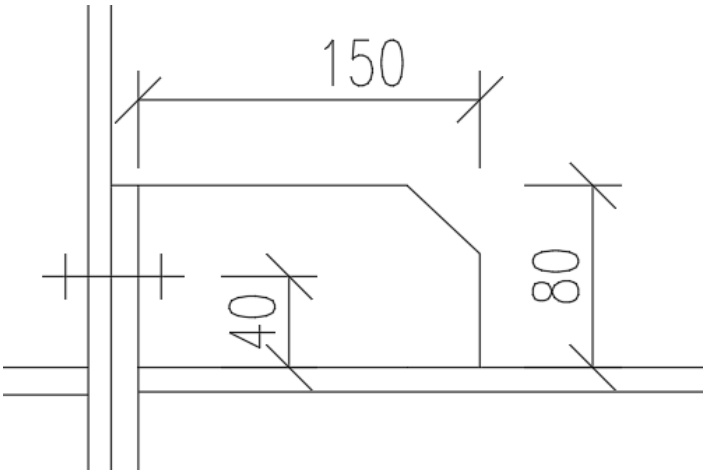
ověření podmínky tlačené pásnice a tažených šroubů:

$$F_{c,fb,Rd} \leq \sum_{i=1}^{n} F_{t,i,Rd}$$

$510{,}82\ kN \leq 126{,}23 + 121{,}61 + 49{,}26 + 2 * 54{,}65 = 406{,}4\ kN$

Podmínka je splněna, není nutné redukovat únosnost šroubů.

b) návrh svaru výztuhy příčle a tažené pásnice příčle



Svar navrhneme na přenos síly v horní řadě šroubů.

$F_{Ed} = 126{,}23\ kN$

navrhujeme svar výšky $a_w = 4\ mm$

napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{,Ed}}{a_w * l_w} = \frac{126{,}23 * 10^3}{4 * 150 * 2} = 105{,}19\ MPa$$

$l_w = 2 * 150\ mm$ (délka svaru, viz obrázek)

$M_w = F_{Ed} * e = 126{,}23 * 10^3 * 40 = 5049200\ Nmm$ (ohybový moment působící na svar)

$e = 40\ mm$ (rameno působící síly)

$$\sigma_w = \frac{M_w}{2 * \frac{1}{6} * a_w * l_w^2} == \frac{5049200}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 150^2} = 168{,}31\ MPa$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{168{,}31}{\sqrt{2}} = 119{,}01\ MPa$$

posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{119{,}01^2 + 3 * (119{,}01^2 + 105{,}19^2)} \leq \frac{360}{0{,}8 * 1{,}25}$$

$300{,}22\ MPa \leq 360\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$119{,}01 \leq \frac{360}{1{,}25}$$

$119{,}01\ MPa \leq 288\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

c) návrh svaru výztuhy a čelní desky

Svar navrhneme na přenos síly v horní řadě šroubů.

$F_{Ed} = 126{,}23\ kN$

navrhujeme svar výšky $a_w = 4\ mm$

napětí ve svaru:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{126{,}23 * 10^3}{\sqrt{2} * 2 * 4 * 80} = 139{,}47\ MPa$$

$l_w = 2 * 80\ mm$ (délka svaru, viz obrázek)

posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{139{,}47^2 + 3 * (139{,}47^2 + 0^2)} \leq \frac{360}{0{,}8 * 1{,}25}$$

$278{,}94\ MPa \leq 360\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$139{,}47 \leq \frac{360}{1{,}25}$$

$139{,}47\ MPa \leq 288\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

9.2.3 Rozdělení sil a momentové únosnosti

Pro plastické rozdělení sil je potřeba splnit podmínku:

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

$126{,}23\ kN \leq 1{,}9 * 203{,}3 = 386{,}27\ kN$

Podmínka je splněna pro horní řadu šroubů a všechny ostatní řady mají nižší únosnost.

momentová únosnost přípoje:

řada	únosnost řady [kN]	rameno sil [m]	momentová únosnost řady [kNm]
1.	126,23	0,54	68,16
2.	121,61	0,43	52,29
3.	49,26	0,35	17,24
4.	54,65	0,26	14,21
5.	54,65	0,15	8,20
	406,4	-	160,10

$M_{pl,Rd} = 160{,}10\ kNm > M_{Ed} = 144{,}13\ kNm \rightarrow Vyhovuje.$

9.3 Kloubová patka + přípoj ztužidla

9.3.1 Přípoj ztužidla

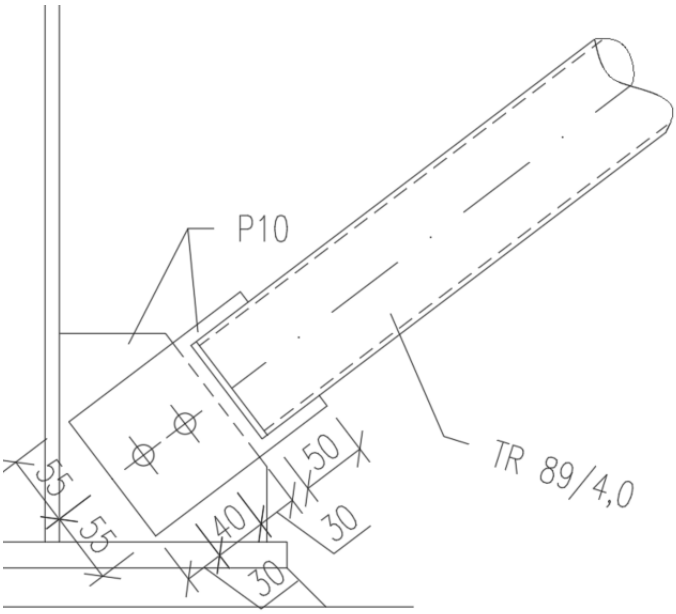
Použijeme šrouby M16 třídy pevnosti 8.8. Ocel použitá na spojovací plechy je uvažována S235.

a) vnitřní síly

Vnitřní síly převezmeme z návrhu ztužidel (viz. kapitola 7.1.1)

Největší tahová síla: $N_{t,Ed} = 92{,}96\ kN$

b) schéma přípoje



$p_1 = 40\ mm$

$e_1 = 30\ mm$

$e_2 = 55\ mm$

c) únosnost šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 157 * 800}{1{,}25} = 60{,}3\ kN$$

$A_s = 157 mm^2$ (plocha jádra šroubu)

d) únosnost šroubu v otlačení

vnější šroub:

$$\alpha_b = min\begin{Bmatrix} \frac{e_1}{3 * d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{30}{3 * 18} \\ \frac{800}{360} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}56 \\ 2{,}22 \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = 0{,}56$$

$d_0 = d + 2\ mm = 16 + 2 = 18\ mm$ (průměr otvoru pro šroub)

$$k_1 = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{55}{18} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 6{,}86 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = 2{,}5$$

$$F_{b1,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 0{,}56 * 16 * 10 * 360}{1{,}25} = 64{,}51\ kN$$

vnitřní šroub:

$$\alpha_b = min\begin{Bmatrix} \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{40}{3 * 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}49 \\ 2{,}22 \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = 0{,}49$$

$k_1 = 2{,}5$

$$F_{b2,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 * 0{,}49 * 16 * 10 * 360}{1{,}25} = 56{,}45\ kN$$

e) únosnost přípoje

$$F_{t,Rd} = 2 * min\begin{Bmatrix} F_{v,Rd} \\ F_{b1,Rd} \\ F_{b2,Rd} \end{Bmatrix} = 2 * min\begin{Bmatrix} 60{,}3 \\ 64{,}51 \\ 56{,}45 \end{Bmatrix} = 2 * 56{,}45 = 112{,}9\ kN$$

$F_{t,Rd} = 112{,}9\ kN \geq N_{t,Ed} = 92{,}96\ kN \rightarrow Vyhovuje.$

f) návrh svaru – plech + diagonála

navrhujeme svar výšky $a_w = 3\ mm$

napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{t,Ed}}{a_w * l_w} = \frac{92{,}96 * 10^3}{3 * 50 * 4} = 154{,}93\ MPa$$

$l_w = 4 * 50\ mm$ (délka svaru, viz obrázek)

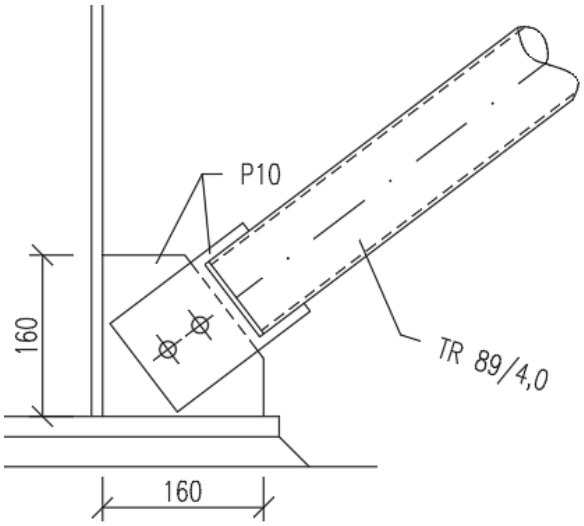
posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 * (0^2 + 154{,}93^2)} \leq \frac{360}{0{,}8 * 1{,}25}$$

$268{,}35\ MPa \leq 360\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

g) návrh svaru – plech + patní deska



výška svarů: $a_w = 3\ mm$

úhel diagonály: $\alpha = 39°$

$F_{Ed} = N_{t,Ed} * \cos\alpha =$

$= 92{,}96 * \cos 39° = 72{,}24\ kN$

napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F\_eD}{a_w * l_w} = \frac{72{,}24 * 10^3}{3 * 160 * 2} = 75{,}25\ MPa$$

$l_w = 2 * 160\ mm$ (délka svaru, viz obrázek)

posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 * (0^2 + 72{,}24^2)} \leq \frac{360}{0{,}8 * 1{,}25}$$

$125{,}12\ MPa \leq 360\ MPa \rightarrow Vyhovuje.$

9.3.2 Kloubová patka

9.3.2.1 Svislá únosnost

Patní deska je tvořena plechem o rozměrech 300x300 mm tloušťky 20 mm. Kotvení je provedeno třemi chemickými kotvami HAS-U 8.8 M20x350. Je použitý beton třídy pevnosti C20/25.

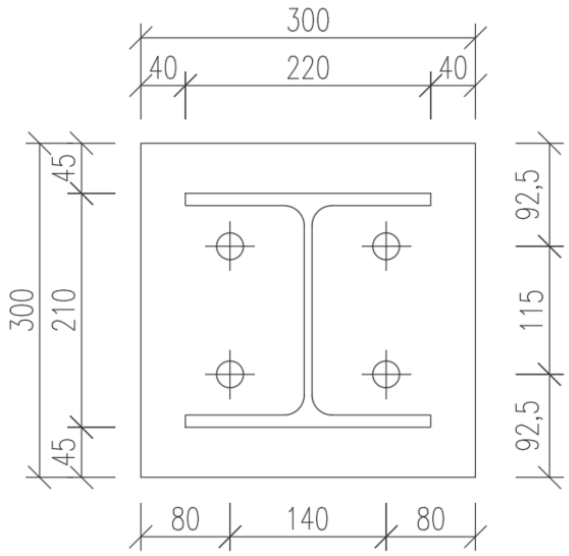
a) vnitřní síly

reakce v patce:

kombinace zatížení	N [kN]	V_z [kN]	V_y [kN]
KZS1	157,33	-4,48	6,98
KZS2	176,56	-4,50	8,62
KZS3	53,02	42,15	3,00
KZS4	71,96	42,36	4,60
KZS5	45,42	42,53	3,12
KZS6	224,24	-34,54	11,98
KZS7	243,62	-34,65	13,65
KZS8	256,95	-52,82	15,00
KZS9	-108,78	72,69	-3,45
KZS10	161,26	-49,12	10,31

Patku nejprve posoudíme na největší tlakovou sílu z nelineární kombinace KZS 8, poté navrhneme smykovou zarážku a posoudíme kotvy na tahovou sílu z nelineární kombinace KZS 9.

b) geometrie



patní plech:

$a = 300\ mm;\ b = 300\ mm;\ t = 20\ mm$

betonový základ:

beton: C20/25

$f_{ck} = 20\ MPa$

$\gamma_c = 1{,}5$

výšku podlití volíme 30 mm

Rozměry betonové patky navrhneme zjednodušeně na svislou únosnost. Předpokládaná návrhová únosnost základové půdy je $\sigma_{Rd} = 300\ kPa$

Vzhledem k velké tahové síle v nelineární kombinaci KZS 9 bude řada krajních sloupů založena na základovém pasu.

$N_{Ed} = 256{,}95\ kN$

Návrh rozměrů: $b = 1000\ mm; h = 700\ mm$

tíha pasu:

$G_p = b * 1m * h * \gamma_{beton} * \gamma_G = 1 * 1 * 0{,}7 * 24 * 1{,}35 = 22{,}68\, kN/m$

napětí v základové spáře:

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed} + G_p}{l * b} = \frac{256{,}95 * 10^3 + 22{,}68 * 10^3}{1000 * 1000} = 280\ kPa$$

$\sigma_{Ed} = 280\ kPa \leq \sigma_{Rd} = 300\ kPa \rightarrow Vyhovuje.$

započitatelné rozměry betonového pasu:

$$a_1 = min\begin{Bmatrix} b \\ 3 * a \\ a + h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 1000 \\ 3 * 300 \\ 300 + 700 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 1000 \\ 900 \\ 1000 \end{Bmatrix} = 900\ mm$$

$$b_1 = min\begin{Bmatrix} \infty \\ 3 * b \\ b + h \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \infty \\ 3 * 300 \\ 300 + 700 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \infty \\ 900 \\ 1000 \end{Bmatrix} = 900\ mm$$

součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a * b}} = \sqrt{\frac{900 * 900}{300 * 300}} = 3$$

návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \frac{\frac{2}{3} * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} * 3 * 20}{1{,}5} = 26{,}67\ MPa$$

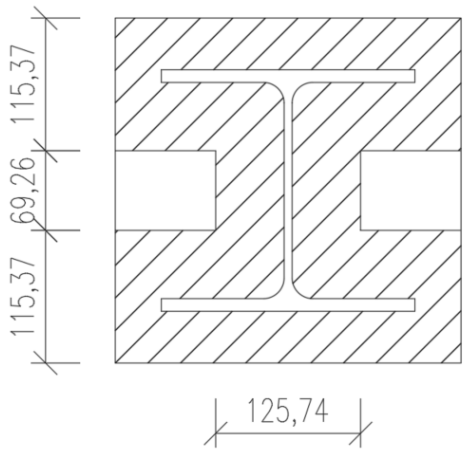
účinná šířka patní desky:

$$c = t * \sqrt{\frac{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}{f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{\frac{235}{1{,}0}}{26{,}67}} = 59{,}37\ mm$$

účinná plocha:

$A_{eff} = 2 * 115{,}37 * 300 + 69{,}26 * 125{,}74 =$

$= 77930{,}75\ mm$



c) posouzení

$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 77930{,}75 * 26{,}67 =$

$= 2078{,}41\ kN \geq N_{Ed} = 256{,}95\ kN$

$Vyhovuje.$

9.3.2.2 Vodorovná únosnost

Pomocí softwaru jsme zjistili, že kotvy nejsou schopné přenést vodorovné síly, tudíž musíme navrhnout smykovou zarážku.

a) vnitřní síly

Smykovou zarážku posoudíme na nelineární kombinace KZS 8 a KZS 9.

KZS 8:

$V_{z,Ed} = 52{,}82\ kN$

$V_{y,Ed} = 15{,}00\ kN$

KZS 8:

$V_{z,Ed} = 72{,}69\ kN$

$V_{y,Ed} = 3{,}45\ kN$

b) návrh zarážky

HEB 100

$A = 2604\ mm^2$ $\quad$ $A_{vz} = 904\ mm^2$

$W_{pl,y} = 104200\ mm^3$ $\quad$ $W_{pl,z} = 51420\ mm^3$

potřebná výška zarážky:

$$h > \frac{V_{Ed}}{b * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{72{,}69 * 10^3}{100 * \frac{20}{1{,}5}} = 54{,}52\ mm \rightarrow h = 70\ mm$$

$b = 100\ mm$ (šířka pásnice zarážky)

c) posouzení na smyk

$$V_{y,Rd} = A_{vz} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 904 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 122{,}65\ kN > V_{z,Ed} = 72{,}69\ kN \rightarrow velký\ smyk$$

$$V_{z,Rd} = A_{pásnice} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 1700 * \frac{235}{\sqrt{3}} = 230{,}65\ kN \gg V_{y,Ed} = 15{,}00\ kN$$

d) posouzení na jednoosý ohyb

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} * f_y = 104200 * 235 = 24{,}49\ kNm$$

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} * f_y = 51420 * 235 = 12{,}08\ kNm$$

$$M_{y,Ed} = V_z * \left(e + \frac{h}{2}\right) = 72{,}69 * \left(0{,}03 + \frac{0{,}07}{2}\right) = 4{,}72\ kNm < M_{pl,y,Rd} = 24{,}49\ kNm$$

$e = 30\ mm$ (výška podlití)

$Vyhovuje.$

$$M_{z,Ed} = V_y * \left(e + \frac{h}{2}\right) = 15{,}00 * \left(0{,}03 + \frac{0{,}07}{2}\right) = 0{,}98\ kNm < M_{pl,z,Rd} = 12{,}08\ kNm$$

e) posouzení na dvouosý ohyb

KZS 8:

$$M_{y,Ed} = V_z * \left(e + \frac{h}{2}\right) = 52{,}82 * \left(0{,}03 + \frac{0{,}07}{2}\right) = 3{,}43\ kNm$$

$$M_{z,Ed} = 0{,}98\ kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{3{,}43}{57{,}60} + \frac{0{,}98}{27{,}64} = 0{,}10 \geq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

KZS 9:

$$M_{y,Ed} = 4{,}72\ kNm$$

$$M_{z,Ed} = V_y * \left(e + \frac{h}{2}\right) = 3{,}45 * \left(0{,}03 + \frac{0{,}07}{2}\right) = 0{,}22\ kNm$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{4{,}72}{57{,}60} + \frac{0{,}22}{27{,}64} = 0{,}09 \geq 1 \rightarrow Vyhovuje.$$

f) posouzení na ohyb s vlivem smyku

$$\rho = \left(2 * \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(2 * \frac{72{,}69}{122{,}65} - 1\right)^2 = 0{,}03$$

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \frac{\rho * A_{vz}^2}{4 * t_w}\right) * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\left(104200 - \frac{0{,}03 * 904^2}{4 * 6}\right) * 235}{1{,}0} = 24{,}25\ kNm$$

$t_w = 6\ mm$ (tloušťka stojiny zarážky)

$M_{y,V,Rd} = 24{,}25\ kNm > M_{y,Ed} = 4{,}72\ kNm$

g) návrh svaru stojiny smykové zarážky a patního plechu

Svar navrhneme na plnou únosnost stojiny.

$$a_1 \geq \frac{t_w}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} = \frac{6}{2} * \frac{235}{1{,}0} * \frac{0{,}8 * 1{,}25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 2{,}77\ mm \rightarrow a_1 = 4\ mm$$

h) návrh svaru pásnic smykové zarážky a patního plechu

Svar navrhneme na plnou únosnost pásnic.

$$\boldsymbol{a_2 \geq \frac{t_f}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} = \frac{10}{2} * \frac{235}{1{,}0} * \frac{0{,}8 * 1{,}25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 4{,}62\ mm \rightarrow a_2 = 5\ mm}$$

$t_f = 10\ mm$ (tloušťka pásnice zarážky)

9.4 Přípoj stropnice na příčel

Přípoj bude proveden pomocí čelní desky navařené na stojině stropnice. Použitá ocel na čelní desku je uvažována S 235 a 4x šroub M16 třídy pevnosti 8.8

a) vnitřní síly

Vnitřní sílu převezmeme z kapitoly 6.2.2.1 – posouvající síla při návrhu stropnice spřažené s betonovou deskou.

$V_{Ed,1} = 83{,}37\ kN$

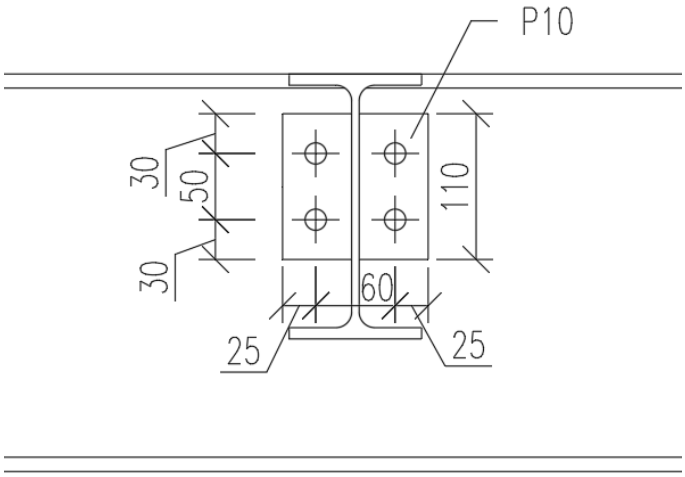
b) schéma přípoje

$e_1 = 30\ mm$

$p_1 = 50\ mm$

$e_2 = 25\ mm$

$p_2 = 60\ mm$



c) únosnost šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}6 * 157 * 800}{1{,}25} = 60{,}3\ kN$$

potřebný počet šroubů:

$$n = \frac{V_{Ed,1}}{F_v, Rd} = \frac{83{,}37}{60{,}3} = 1{,}38 < 4 \rightarrow Vyhovuje$$

d) únosnost šroubu v otlačení

Pří únosnosti v otlačení rozhoduje stojina příčle. Přenášená síla se rovná součtu reakcí od obou stropnic.

$t_w = 7{,}1\ mm$ (tloušťka stojiny příčle)

reakce od kratší stropnice:

$$V_{Ed,2} = \frac{1}{2} * (g_d + q_d) * ZŠ * L = \frac{1}{2} * (3{,}71 + 7{,}5) * 3{,}1 * 4{,}33 = 75{,}24\ kN$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,1} + V_{Ed,2} = 83{,}37 + 75{,}24 = 158{,}61\ kN$$

vnější šroub:

$$\alpha_b = min \begin{Bmatrix} \frac{e_1}{3 * d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} \frac{30}{3 * 18} \\ \frac{800}{360} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min \begin{Bmatrix} 0{,}56 \\ 2{,}22 \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = 0{,}56$$

$d_0 = d + 2\,mm = 16 + 2 = 18\,mm$ (průměr otvoru pro šroub)

$$k_1 = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2{,}8 * \frac{25}{18} - 1{,}7 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 2{,}19 \\ 2{,}5 \end{Bmatrix} = 2{,}19$$

$$F_{b1,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}19 * 0{,}56 * 16 * 7{,}1 * 360}{1{,}25} = 40{,}12\,kN$$

vnitřní šroub:

$$\alpha_b = min\begin{Bmatrix} \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} \frac{50}{3 * 18} - \frac{1}{4} \\ \frac{800}{360} \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = min\begin{Bmatrix} 0{,}68 \\ 2{,}22 \\ 1{,}0 \end{Bmatrix} = 0{,}68$$

$k_1 = 2{,}19$

$$F_{b2,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}19 * 0{,}68 * 16 * 7{,}1 * 360}{1{,}25} = 48{,}72\,kN$$

e) únosnost přípoje v otlačení

$$F_{b,Rd} = 4 * min\begin{Bmatrix} F_{b1,Rd} \\ F_{b2,Rd} \end{Bmatrix} = 4 * min\begin{Bmatrix} 40{,}12 \\ 48{,}72 \end{Bmatrix} = 4 * 40{,}12 = 160{,}48\,kN$$

$F_{b,Rd} = 160{,}48\,kN \geq V_{Ed} = 158{,}61\,kN \rightarrow Vyhovuje.$

f) návrh svaru

navrhujeme svar výšky $a_w = 3\,mm$

napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,1}}{a_w * l_w} = \frac{83{,}37 * 10^3}{3 * 110 * 2} = 126{,}32\,MPa$$

$l_w = 2 * 110\,mm$ (délka svaru, viz obrázek)

posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * \left(\sigma_{\parallel}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 * (0^2 + 126{,}32^2)} \leq \frac{360}{0{,}8 * 1{,}25}$$

$218{,}79\,MPa \leq 360\,MPa \rightarrow Vyhovuje.$

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Bakalářská práce

Ocelový skelet nákupní pasáže

Shopping arcade steel structure

Výkresová dokumentace

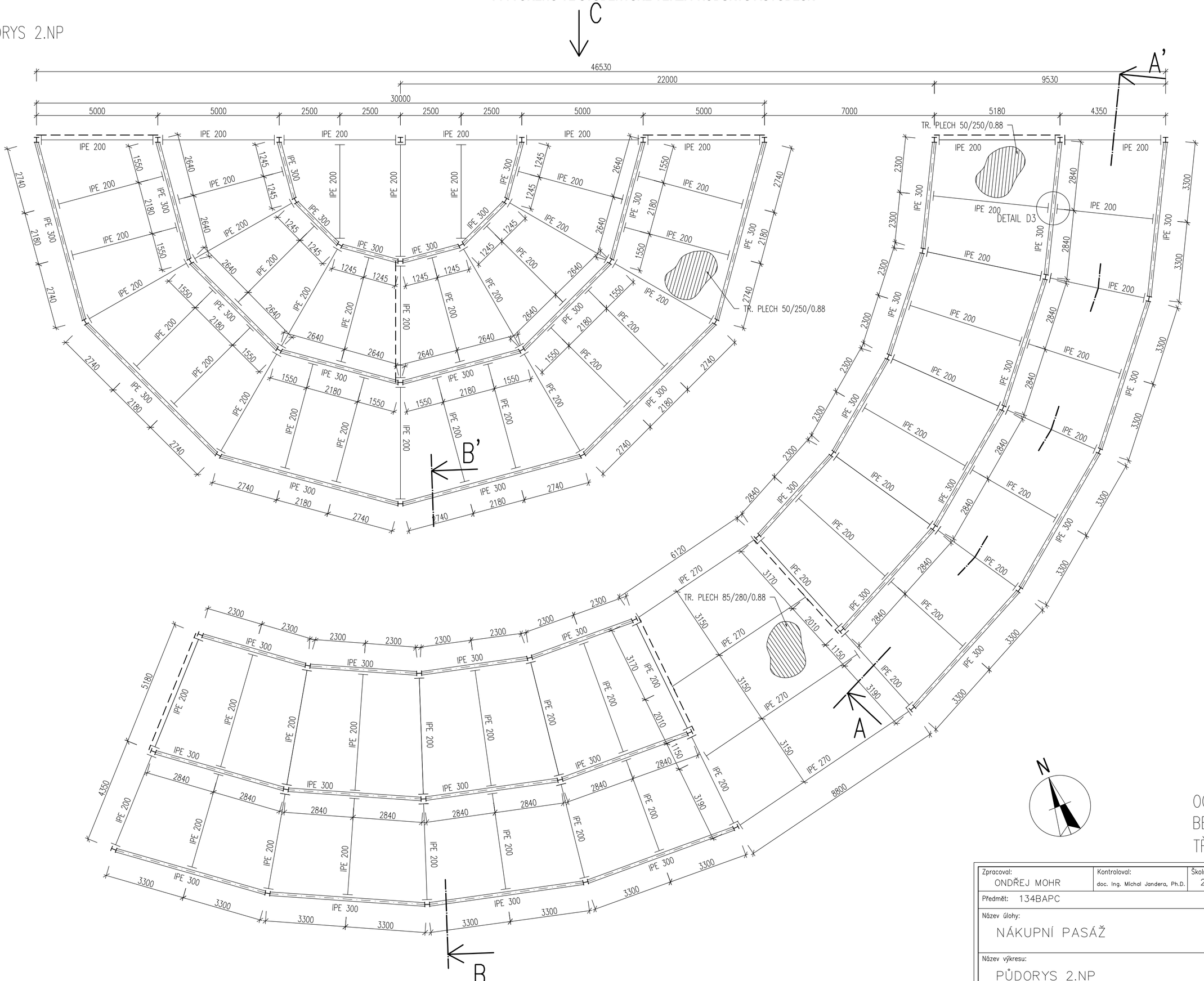
Květen 2021

Vypracoval: Ondřej Mohr

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

PŮDORYS 2.NP



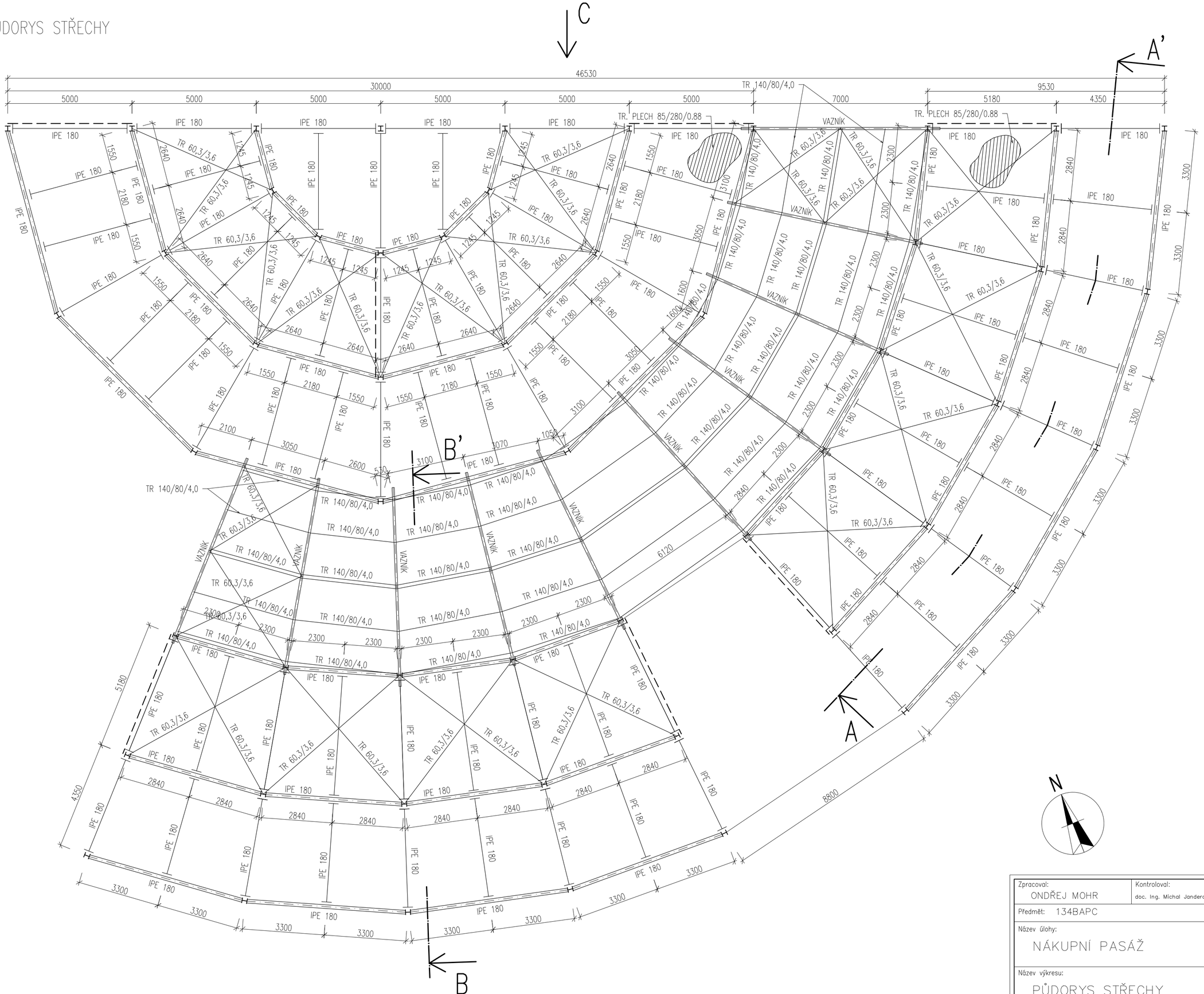
OCEL: S235 JR
BETON: C20/25
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:100
		Číslo výkresu:	1.
Název výkresu: PŮDORYS 2.NP			

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

PŮDORYS STŘECHY



OCEL: S235 JR

TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:100
		Číslo výkresu:	2.
Název výkresu: PŮDORYS STŘECHY			

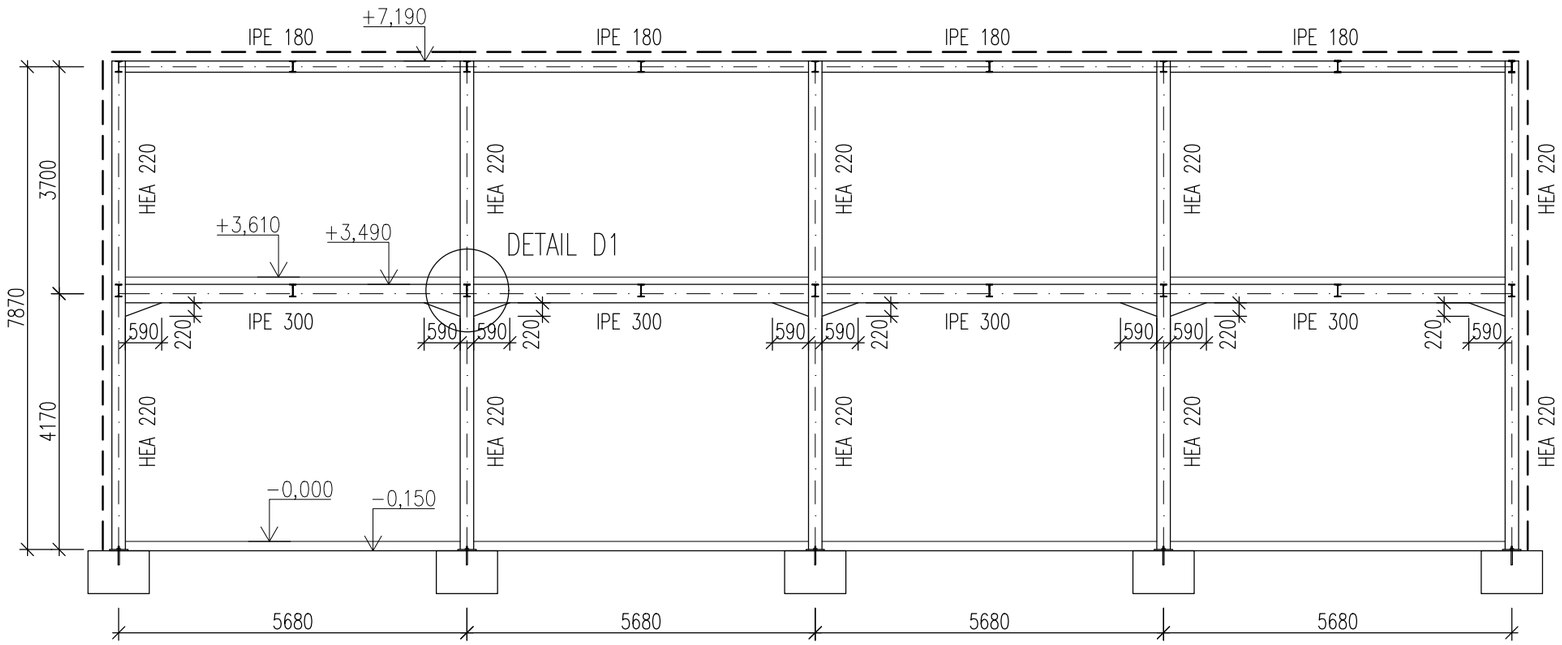
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

ŘEZ A–A'



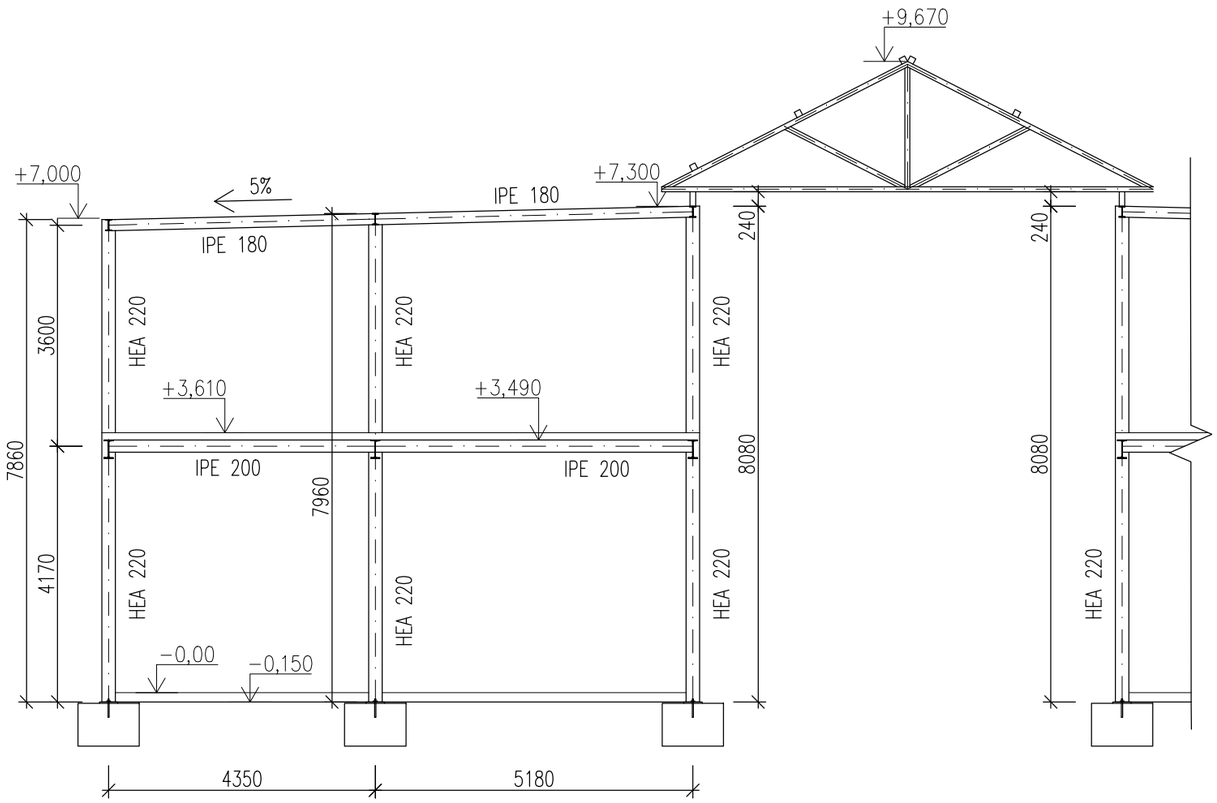
OCEL: S235 JR
BETON: C20/25
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:100
		Číslo výkresu:	2.
Název výkresu: ŘEZ A–A'			

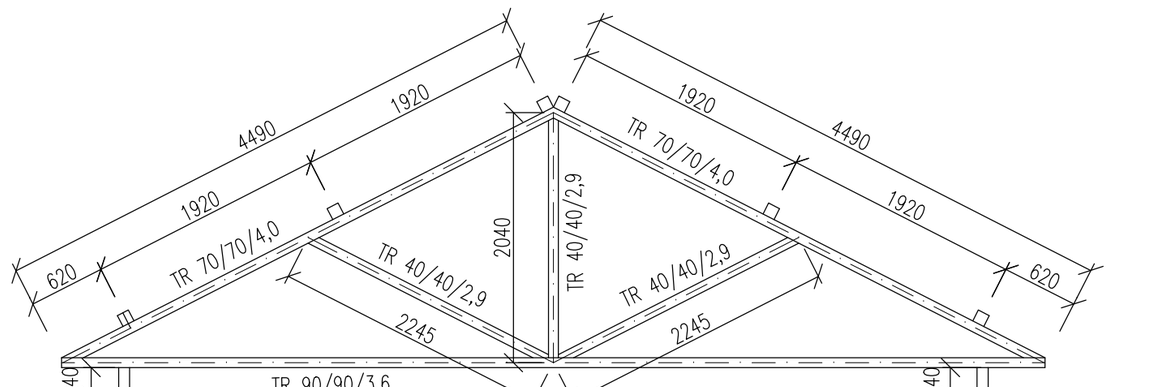
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

PŘÍČNÝ B–B'



POHLED NA VAZNÍK 1:50



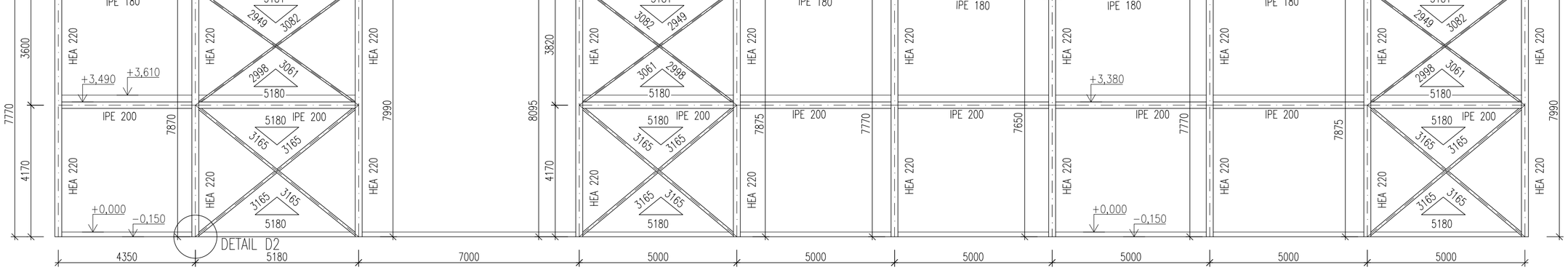
OCEL: S235 JR
BETON: C20/25
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:100
		Číslo výkresu:	4.
Název výkresu: ŘEZ B–B'			

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

POHLED C



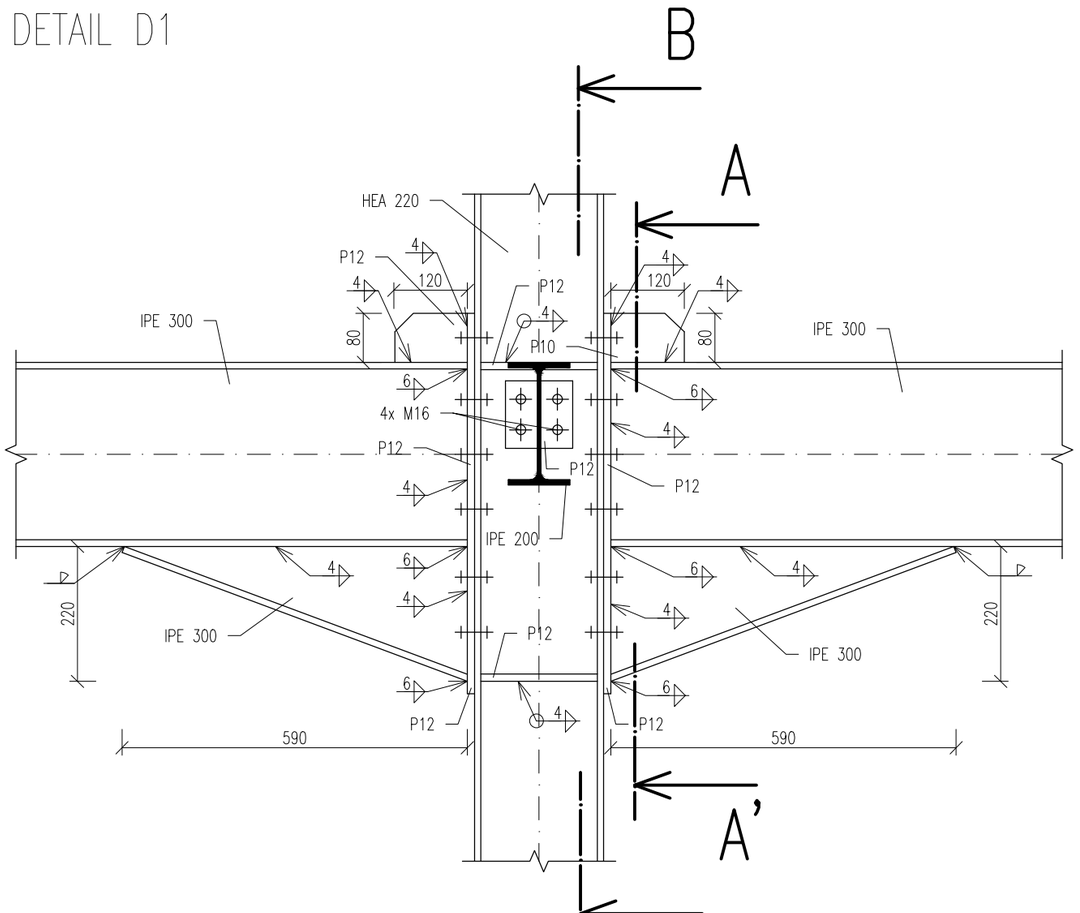
OCEL: S235 JR
BETON: C20/25
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ			Datum: 13.4.2021
			Měřítko: 1:100
			Číslo výkresu: 5.
Název výkresu: POHLED C			

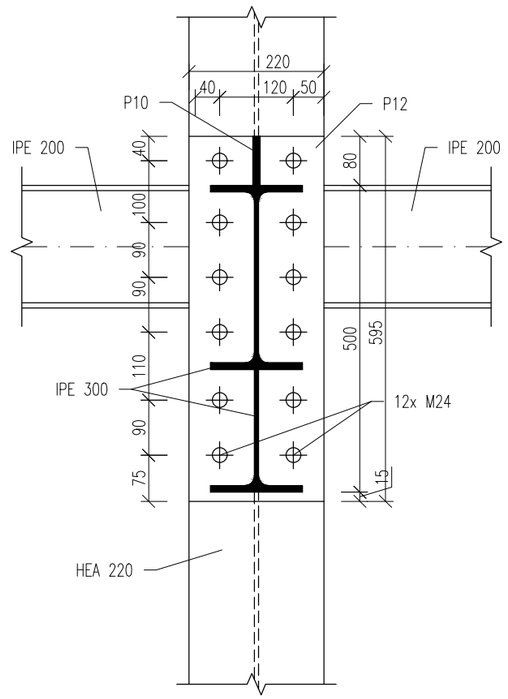
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

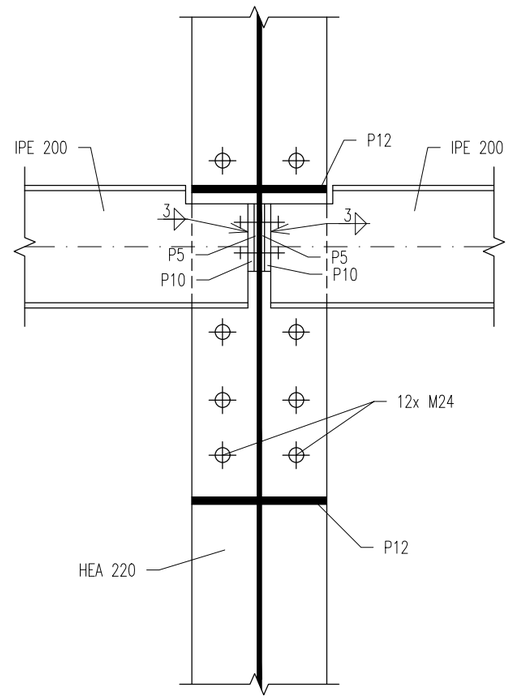
DETAIL D1



ŘEZ A–A'



ŘEZ B–B'



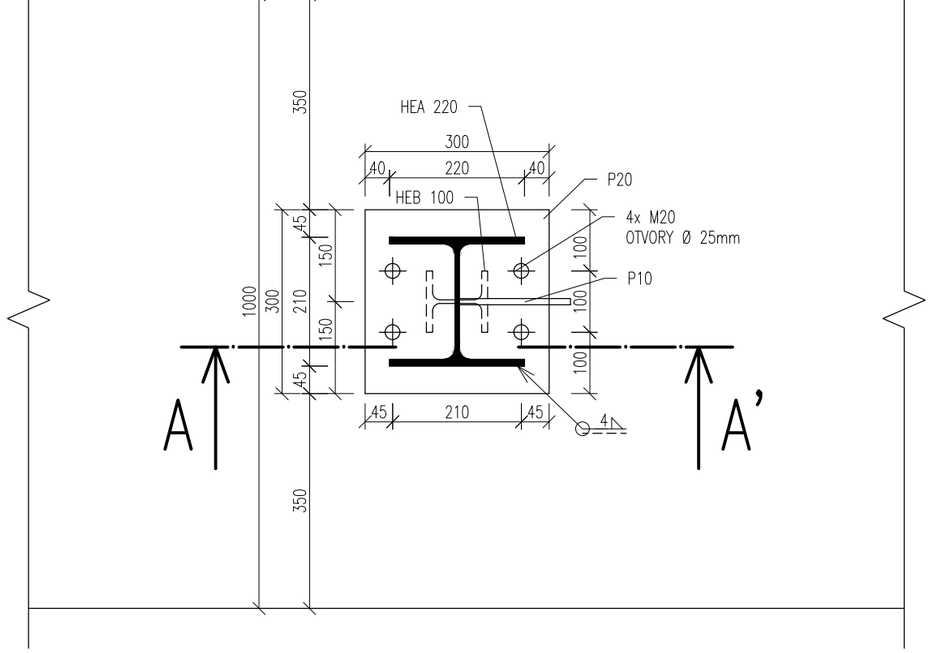
OCEL: S235 JR
ŠROUBY: 8.8
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:10
		Číslo výkresu:	6.
Název výkresu: DETAIL D1 – RÁMOVÝ ROH			

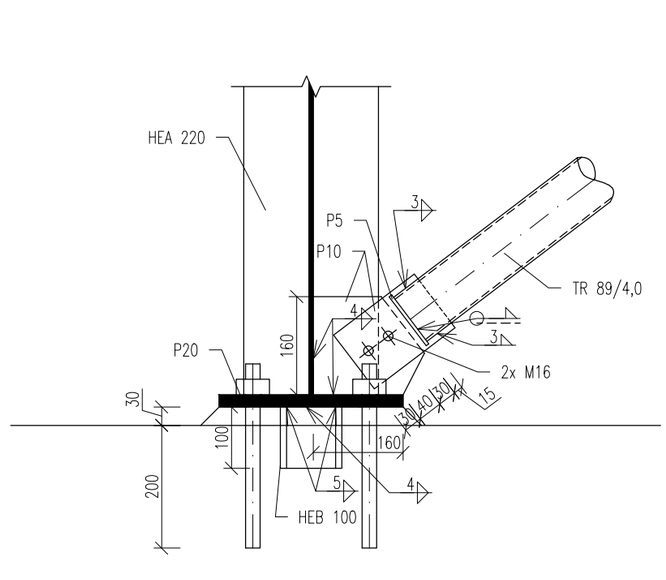
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

DETAIL D2



ŘEZ A–A'



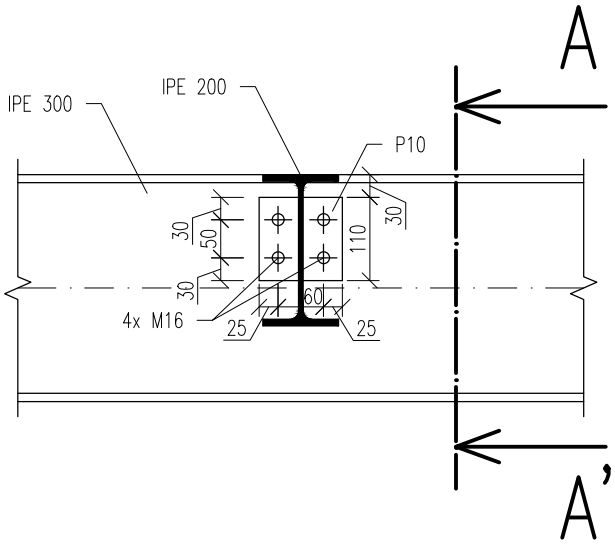
OCEL: S235 JR
BETON: C20/25
ŠROUBY 8.8
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ		Datum:	13.4.2021
		Měřítko:	1:10
		Číslo výkresu:	7.
Název výkresu: DETAIL D2 – ZÁKLAD SE ZTUŽIDLEM			

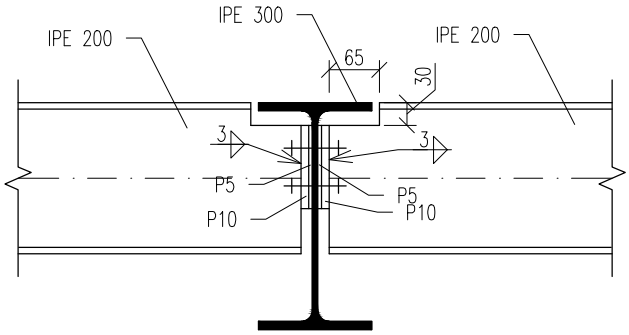
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

DETAIL D3



ŘEZ A–A'



OCEL: S235 JR
ŠROUBY: 8.8
TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC2

Zpracoval: ONDŘEJ MOHR	Kontroloval: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2020/2021	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: 134BAPC			
Název úlohy: NÁKUPNÍ PASÁŽ			Datum: 13.4.2021
			Měřítko: 1:10
			Číslo výkresu: 8.
Název výkresu: DETAIL D3 – PŘÍPOJ STROPNICE NA PŘÍČEL			

VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK
VYTVOŘENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK