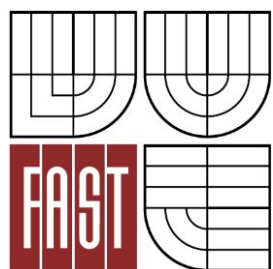




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ ČERPACÍ STANICE PHM GAS STATION ROOF STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

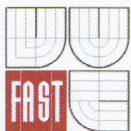
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN OČADLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Martin Očadlík


Název Zastřešení čerpací stanice PHM

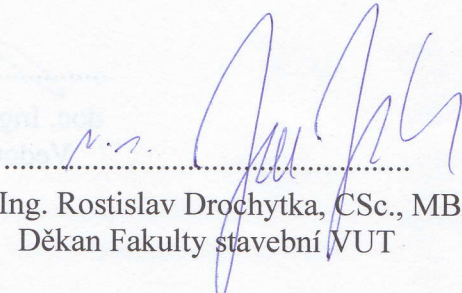
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2014

Datum odevzdání bakalářské práce 29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014


.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu


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



Podklady a literatura

Ferjenčík, P., Schun, J., Melcher, J., Voříšek, V., Chladný, E.: Navrhovanie ocelových konštrukcií 1. časť + 2. časť, SNTL Alfa, Praha, 1986

Marek, P. a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb, SNTL Alfa, Bratistava, 1985

Skripta zabývající se danou problematikou

Normativní dokumenty z dané problematiky

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce zastřešení čerpací stanice PHM podle předané dispozice. Objekt se nachází v lokalitě Zlín.

Předepsané přílohy

Technická zpráva

Statický výpočet hlavních nosných částí, návrh a výpočet směrných detailů.

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím bakalářské práce

Výkaz materiálu.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....
doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Mým úkolem bylo navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení čerpací stanice PHM. Rozměry konstrukce byly stanoveny na základě dopravní obslužnosti 8 odběrných míst. Stavba je uvažována v lokalitě Zlín. Statický výpočet hlavních nosných prvků byl proveden v programu Dlubal RFEM v.5.03. Ručním výpočtem pak byly ověřeny vybrané prvky konstrukce včetně spojů a kotvení sloupů k základové patce.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, zastřešení, nosný systém, zatížení, čerpací stanice, vaznice, vazník, kloub, vetknutí, svar, šroub, ztužidlo, návrh, dimenzování, posouzení, mezní stavy, svislá deformace

Abstract

My task was to propose and consider steel structure roof of gas station. Dimensions of construction were determined based on transport service of the 8 supply points. Construction is situated in Zlin. Structural analysis of the main bearing elements was made with Dlubal RFEM v.5.03 software. Selected structure elements, including joints and column anchors were verified manually.

Keywords

Steel structure, roofing, load-bearing system, load, gas station, purlin, girder, joint, restraint, weld, bolt, bracing, design, dimensioning, examination, limit states, vertical deformation

...

Bibliografická citace VŠKP

Martin Očadlík *Zastřešení čerpací stanice PHM*. Brno, 2015. 68 s., 55 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29.5.2015



.....
podpis autora
Martin Očadlík

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, čas, který mi věnoval, cenné rady, které mi poskytnul, trpělivost, kterou se mnou měl a to vše po celý průběh zpracování práce.



.....
Martin Očadlík

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

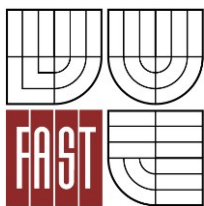
Prohlášení:

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

V Brně dne 29.5.2015



.....
podpis autora
Martin Očadlík



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Autor práce Martin Očadlík

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby

Studijní program B3607 Stavební inženýrství

Název práce Zastřešení čerpací stanice PHM

Název práce v anglickém jazyce Gas station roof structure

Typ práce Bakalářská práce

Přidělovaný titul Bc.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze PDF

Anotace práce Mým úkolem bylo navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení čerpací stanice PHM. Rozměry konstrukce byly stanoveny na základě dopravní obslužnosti 8 odběrných míst. Stavba je uvažována v lokalitě Zlín. Statický výpočet hlavních nosných prvků byl proveden v programu Dlubal RFEM v.5.03. Ručním výpočtem pak byly ověřeny vybrané prvky konstrukce včetně spojů a kotvení sloupů k základové patce.

Anotace práce v anglickém jazyce My task was to propose and consider steel structure roof of gas station. Dimensions of construction were determined based on transport service of the 8 supply points. Construction is situated in Zlín. Structural analysis of the main bearing elements was made with Dlubal RFEM v.5.03 software. Selected structure elements including joints and column anchors were verified manually.

Klíčová slova Ocelová konstrukce, zastřešení, nosný systém, zatížení, čerpací stanice, vaznice, vazník, kloub, vetknutí, svar, šroub, ztužidlo, návrh, dimenzování, posouzení, mezní stavy, svislá deformace

Klíčová slova v anglickém jazyce Steel structure, roofing, load-bearing system, load, gas station, purlin, girder, joint, restraint, weld, bolt, bracing, design, dimensioning, examination, limit states, vertical deformation

Obsah:

2. STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE

2.1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

2.2 RUČNÍ STATICKÝ VÝPOČET

2.3 NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ

3. PŘÍLOHY

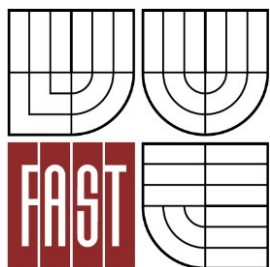
3.1 SOFTWAROVÝ STATICKÝ VÝPOČET

3.2 VÝKAZ MATERIÁLU

3.3 VÝKRESY



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ČÁST 2
PART 2

:

STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE
STRUCTURAL ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN OČADLÍK

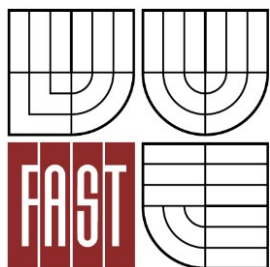
VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ČÁST 2.1 : TECHNICKÁ ZPRÁVA
PART 2.1 TECHNICAL REPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN OČADLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015

Obsah:	str.
1. OBECNÉ ÚDAJE	2
2. NORMATIVNÍ DOKUMENTY A POUŽITÁ LITERATURA.....	2
3. POPIS NOSNÉ OCELOVÉ KONSTRUKCE	2
4. MATERIÁL	3
5. ZALOŽENÍ OBJEKTU	3
6. VÝROBA KONSTRUKCE	3
7. DOPRAVA A MONTÁŽ KONSTRUKCE	3
8. POVRCHOVÁ OCHRANA KONSTRUKCE	3
9. OCHRANA KONSTRUKCE PŘED ŠKODLIVÝMI VLIVY VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ	3
10. BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI	4
11. ZPŮSOB NAKLÁDÁNÍ S ODPADY	4

1. Obecné údaje

Cílem práce bylo navrhnout nosnou konstrukci zastřešení čerpací stanice PHM. Podkladem pro návrh byla ČSN 73 6060, která stanovuje požadavky na umístění a na požadavky technické a technologické. Dalšími podklady byly České Technické normy viz níže.

Dispoziční řešení vychází z normativních požadavků na dopravní obslužnost čerpacího zařízení. Při návrhu 8 samostatných odběrných míst, včetně jejich samostatných přístupů, byly stanoveny následující parametry. Rozteč sloupů v podélném směru 12,75 m a v příčném směru 10,0 m. Půdorysný rozměr průmětu střešní konstrukce je 22,75 m v podélném směru a 11,5 m ve směru příčném. Výškově je konstrukce navržena tak, aby byl umožněn podjezd nákladními vozy i autobusy. Světlá výška průjezdného profilu je 4,35 m. Tvarem je střešní konstrukce navržena ve vnitřním poli jako střecha sedlová a převislá část jako střecha pultová. Podélný sklon ve všech částí střechy je 10%. Jako střešní plášť bude použit trapézový plech.

Odvodnění střechy je řešeno mezistřešními žlaby se svislým odpadním potrubím v místě sloupů.

Plánované umístění stavby je ve městě Zlín. Z toho plyne stanovení klimatického zatížení. Konstrukce čerpací stanice je zasazena do rovinnatého terénu.

Statický výpočet byl proveden v programu Dlubal RFEM v.5.03. Ručně pak vybrané prvky konstrukce včetně spojů a kotvení sloupů k základové patce.

2. Normativní dokumenty a použitá literatura

Normy:

Označení	Název	Účinnost
ČSN EN 1990 ed. 2	Zásady navrhování konstrukcí	03 / 2011
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí-Část 1-1: Obecná zatížení- Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb	04 / 2004
ČSN EN 1991-1-3 ed. 2	Zatížení konstrukcí-Část 1-3: Obecná zatížení- Zatížení sněhem	07 / 2013
ČSN EN 1991-1-4 ed. 2	Zatížení konstrukcí-Část 1-4: Obecná zatížení- Zatížení větrem	05 / 2013
ČSN EN 1993-1-1 ed. 2	Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb.	08 / 2011
ČSN EN 1993-1-8 ed. 2	Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků	12 / 2013
ČSN EN 1090-2+A1	Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí - Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků	02 / 2012
ČSN 73 6060	Čerpací stanice pohonných hmot	10 / 2006

Publikace, knihy:

- Ferjenčík, P., Schun, J., Melcher, J., Voříšek, V., Chladný, E.,: Navrhovanie ocelových konštrukcií 1. časť + 2. časť, SNTL Alfa, Praha, 1986
- Marek, P. a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb, SNTL Alfa, Bratistava, 1985
- Skripta zabývající se danou problematikou

3. Popis nosné ocelové konstrukce

Hlavní nosné prvky střechy jsou tvořeny plnostěnými nosníky IPE. Ty jsou osazeny buď přímo na sloupy (pozice krajních vazníků) nebo na příčník, který je čelně připojen ke sloupům v příčném směru (pozice středního vazníku). Tyto vazníky jsou staticky řešeny jako kloubově uložený nosník s převislými konci. Délka vnitřního pole (v půdorysném průmětu) je 12,75 m a konzoly 5,0 m. V příčném směru na vazníky jsou kloubově uloženy vaznice profilu UPE, které jsou staticky řešeny obdobně a to jako kloubově uložený nosník s krajními převislými konci. Délka vnitřních polí je 5,0 m a délka konzol je 0,75 m. Na vaznice je položen trapézový plech, který bude tvořit tuhý střešní plášť díky účinnému přikotvení k vaznicím. Vazníky a příčník jsou připojeny k podporujícím prvkům kloubově. Patka sloupu bude vetknutá v prostoru, čímž se zajistí příčná i podélná stabilita celé konstrukce. Sloupy jsou tvořeny uzavřeným kruhovým profilem. Sloupy budou kotveny prostřednictvím kotevních šroubů s kotevní hlavou do ŽB patky. Návrh a posouzení betonové patky není předmětem tohoto statického výpočtu.

4. Materiál

Na veškeré prvky konstrukce bude použita ocel S235. Spojovací prostředky budou z materiálu jakosti 5.6 – běžně a 8.8 – vysokopevnostní ocel (montážní spoj vazníků). Na kotevní šrouby bude použita ocel S235. Klempířské výrobky budou chráněny povrchovou úpravou žárovým pozinkováním nebo případným poplastováním.

5. Založení objektu

Konstrukci pro přenesení veškerého zatížení do základové půdy tvoří ŽB patky čtvercového půdorysu. Tato konstrukce není předmětem této práce. Pro návrh ocelové konstrukce je uvažováno s maximálními přípustnými deformacemi patky v základové spáře a s plnou únosností dle reakcí od konstrukce střechy.

6. Výroba konstrukce

Veškeré konstrukční prvky budou vyrobeny nebo připraveny pro vložení do konstrukce ve výrobním závodě v souladu s ČSN 1990-1 – Provádění ocelových konstrukcí. Dle této normy se konstrukce zařadí do odpovídající výrobní skupiny. Musí být dodrženy mezní úchytky rozměrů a tyto budou pečlivě kontrolovány. Ve výrobním závodě budou veškeré prvky opatřeny kompletní antikorozi ochranou.

7. Doprava a montáž konstrukce

Montáž konstrukce bude provedena podle montážní dokumentace a veškeré práce budou probíhat v souladu s ustanoveními bezpečnosti práce. Pro dopravu budou rozhodující rozměry největšího dílce, kterým je vazník, který má celkovou délku 22,75 m. Proto bude rozdělen na tři samostatné konstrukční části. Vazník bude na staveništi smontován a dále vztyčen jako celek na sloupy, které budou osazeny jako první. Montáž bude provedena pomocí autojeřábů. V průběhu výstavby bude třeba využít dočasného zavětrování konstrukce, jelikož vlastní tuhost konstrukce v podélném směru bude zajištěna až po osazení vaznic a tzužidel.

Na výrobu jsou kladeny požadavky dle ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí.

8. Povrchová ochrana konstrukce

Ochrana všech částí ocelové konstrukce je zajištěna nátěrovým systémem podle stupně korozní agresivity (dle ČSN EN 9223) C3. Všechny nátěry a antikorozi ochrany musí být provedeny v souladu s platnými normami. Očekávaná životnost antikorozi ochrany je 10 - 15 let. Povrch je upraven otrýskáním a opatřen třívrstevným nátěrovým systémem o celkové tloušťce minimálně 130 μm , optimálně 150 μm . Nátěr se skládá ze základní antikorozi barvy, podkladní barvy a vrchního emailu. Po dokončení montáže musí být povrch konstrukce důkladně zkontrolován a případné poruchy antikorozi ochrany musí být řádně opraveny.

Normy pro nátěrové ochrany:

- ČSN EN ISO 12944-1-8: Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy
- ČSN ISO 8501-1-2: Příprava ocelových povrchů před nanášením nátěrových hmot a obdobných výrobků

Barevnost konstrukce bude upřesněno po dohodě s investorem.

Dle „ČSN 73 6060 Čerpací stanice pohonných hmot“ není nutné posuzovat požární odolnost konstrukce.

9. Ochrana stavby před škodlivými vlivy vnějšího prostředí

Jedná se o objekt bez pobytových místností, který není uzavřený a lze tedy zaručit ochranu před radonovým zářením. Stavba se nenachází v žádném ochranném pásmu ani podolovaném území. V blízkosti základové spáry se nenachází zvýšená hladina podzemní vody.

10. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Při provádění veškerých stavebních prací musí být dodržovány požadavky stanovené vyhláškou ČÚBP č. 324/1990 a č. 207/1991 Sb. Stavebník je povinen zajistit podmínky pro splnění požadavků na bezpečnost práce osob na staveništi a to i osob nepatřících na stavenišť. Stavebník dále stanoví postup, souběh a návaznosti jednotlivých stavebních prací tak, jak mu to ukládá §4 vyhl. ČBÚB č. 324/1990 Sb. Pracovníci jsou povinni dodržovat především tato ustanovení:

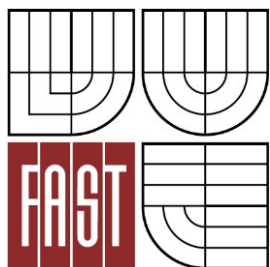
- §9 Povinnosti dodavatelů stavebních prací
- §10 Povinnosti pracovníků
- §13 Zajištění otvorů a jam
- §14 Vertikální komunikace - žebříky
- §15 Skladování - základní ustanovení
- §16 Způsoby skladování
- §18 Zajištění inženýrských sítí
- §19 Zajištění výkopových prací
- §20 Výkopové práce
- §21 Manipulace s břemeny
- §47 Práce ve výškách a nad volnou hloubkou - základní ustanovení
- §48 Zajištění proti pádu
- §50 Osobní zajištění
- §51 Zajištění proti pádu předmětů a materiálu
- §52 Zajištění pod místem práce ve výšce a jeho okolí
- §57 Práce nad sebou
- §60 Přerušování práce ve výškách
- §71 Stroje a strojní zařízení - základní ustanovení
- §72 Obsluha
- §73 Provozní podmínky strojů
- §75 Zakázané činnosti
- §92 Práce související se stavební činností - manipulace
- §99 Svařování

11. Způsob nakládání s odpady

Za veškeré odpady vzniklé v průběhu stavby zodpovídá stavebník, který je povinen při kolaudaci stavby doložit doklad o nakládání s odpady. Veškerý odpad je skladován, tříděn a odvážen buďto vlastními silami, nebo specializovanou firmou, která poté vystavuje potvrzení o nakládání s odpady. S odpady bude nakládáno operativně v průběhu stavby s ohledem na jejich momentální výskyt na staveništi. Stavebník je povinen s odpady nakládat dle zákona č. 125/1997 Sb. a prováděcí vyhlášky MŽP ČR č. 38/1997 Sb. Při znečištění veřejné komunikace stavbou je stavebník povinen tyto komunikace vyčistit.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ČÁST 2.2 : RUČNÍ STATICKÝ VÝPOČET
PART 2.2 PHYSICAL STRUCTURE ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN OČADLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015

Obsah:	str.
1. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE.....	2
1.1. ÚČINKY ZATÍŽENÍ.....	2
1.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	2
1.3. ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	2
1.4. ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	2
1.5. ZATÍŽENÍ VĚTREM.....	3
1.6. ZATÍŽENÍ UŽITNÉ.....	6
1.7. KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	6
2. NÁVRH A POSOUZENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE.....	8
2.1. TRAPÉZOVÝ PLECH - CB 50/260/0,88.....	8
2.2. VAZNICE.....	9
2.2.1. MEZILEHLÁ VAZNICE – UPE120.....	9
2.2.2. VRCHOLOVÁ VAZNICE – 2xUPE120.....	12
2.2.3. ÚŽLABNÍ VAZNICE – 2xUPE120.....	14
2.2.4. VRCHOLOVÁ OKAPOVÁ VAZNICE – UPE120+L40.....	15
2.2.5. TÁHLO RD18.....	16
2.2.6. MSP.....	16
2.3. VAZNÍK.....	17
2.3.1. STŘEDNÍ VAZNÍK IPE400.....	17
2.3.2. KRAJNÍ VAZNÍK IPE330.....	18
2.3.3. POSOUZENÍ NA OHYB A OSOVOU SÍLU (6.3.3), se ztrátou stability.....	19
2.3.4. MSP.....	21
2.4. PŘÍČEL.....	21
2.4.1. MSP.....	25
2.5. SLOUP.....	25
2.5.1. MSP.....	27
2.6. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO.....	28

1. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Jednotlivé účinky zatížení na konstrukci jsou stanoveny dle ČSN EN 1991-1. Následně jsou pak tyto hodnoty přeneseny do programu Dlubal RFEM v.5.03 a v něm vypočítány vnitřní síly, deformace a posouzení průhybů. Automaticky je generován pouze zatěžovací stav č. 1 a to vlastní tíha konstrukce, mimo trapézový plech, který vyvolá zatížení dle příslušného profilu.

1.1 ÚČINKY ZATÍŽENÍ

- Ú1 zatížení stálé
- Ú2 sníh
- Ú3 vítr
- Ú4 užitné

1.2. ZATĚŽOVACÍ STAVY

- ZS1 stálé (vlastní tíha konstrukce a tíha střešního pláště - trapézového plechu)
- ZS2 sníh rovnoměrně působící (<1000 m.n.m.)
- ZS3 sníh nerovnoměrně působící (<1000 m.n.m.)
- ZS4 vítr příčný (tlak)
- ZS5 vítr příčný (sání)
- ZS6 vítr podélný (tlak)
- ZS7 vítr podélný (sání)
- ZS8 užitné (zatížení osobou, jen vaznice)

1.3. ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Velikost zatížení od vlastní tíhy konstrukce je automaticky přiřazena k zatěžovacímu stavu č. 1. Hmotnost trapézového plechu je dána konkrétním profilem viz bod 2.1 v tomto statickém výpočtu.

1.4. ZATÍŽENÍ SNĚHEM

- Místo stavby - Zlín
- Zatížení sněhem na zemi - $s_k = 0,9 \text{ kN/m}^2$ (dle ČHMÚ)
- Součinitel expozice - $C_e = 1,0$
- Teplotní součinitel - $C_t = 1,0$
- Tvarový součinitel - $\mu_1 = 0,8$
- Sklon střechy - $10\% = 5,71^\circ$

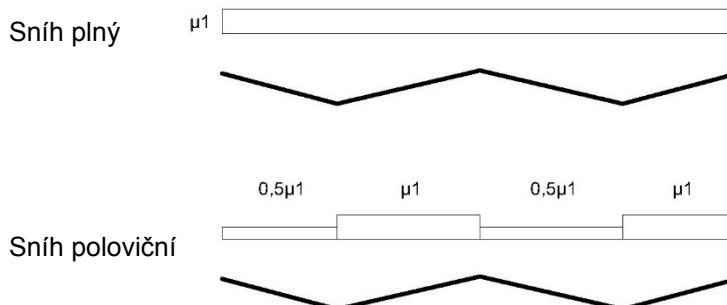
úhel sklonu střechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	--

Tvarové součinitele zatížení sněhem dle ČSN EN 1991

Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

Schéma uspořádání zatížení na střeše:



Tabulky zatížení sněhem na jednotlivé vaznice:

SNÍH - PLNÝ

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	s [N/m ²]	q _k [kN/m]
v ₁	0,838	0,72	0,603
v ₂ - v ₃	1,675	0,72	1,206
v ₄	0,838	0,72	0,603
v ₅	0,801	0,72	0,577
v ₆ - v ₈	1,602	0,72	1,153
v ₉	0,801	0,72	0,577

SNÍH - POLOVIČNÍ

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	s [N/m ²]	q _k [kN/m]
v ₁	0,838	0,36	0,302
v ₂ - v ₃	1,675	0,36	0,603
v ₄	0,838	0,36	0,302
v ₅	0,801	0,36	0,288
v ₆ - v ₈	1,602	0,36	0,577
v ₉	0,801	0,36	0,288

1.5. ZATÍŽENÍ VĚTREM

Místo stavby	- Zlín
Větrná oblast	- II (v _{b,0} = 25 m/s)
Kategorie terénu	- III (z ₀ = 0,3 m, z _{min} = 5 m)
Součinitel směru větru	- C _{dir} = 1,0
Součinitel ročního období	- C _{season} = 1,0
Součinitel ortografie	- c ₀ (z) = 1,0
Součinitel tření	- C _{fr} = 0,04
Referenční výška	- z = 4,7 m
Součinitel plnosti	- φ = 0

Základní rychlost větru:

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

Součinitel drsnosti terénu:

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

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{5}{0,3} \right) = 0,606 \quad , \text{ pro } z = 4,7 \leq z_{min} = 5,0$$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,606 \cdot 1,0 \cdot 25 = 15,15 \text{ m/s}$$

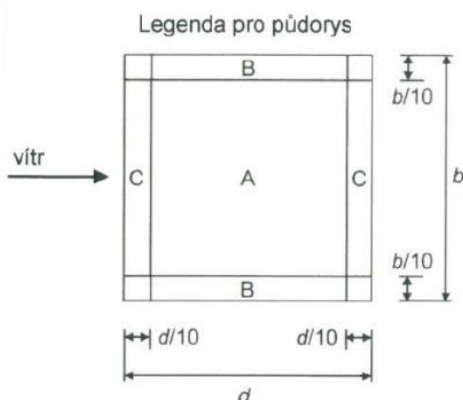
Turbulence větru:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \left(\frac{5}{0,3} \right)} = 0,355$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,15^2 = 499,93 \text{ N/m}^2$$

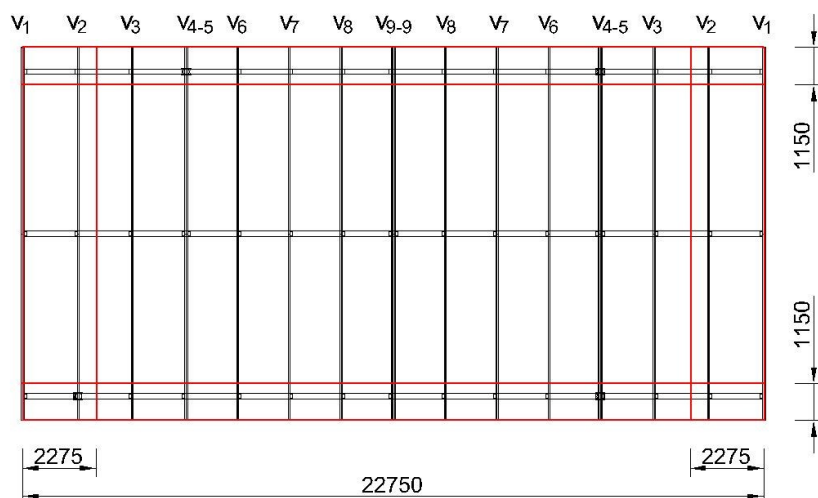
Stanovení účinků zatížení od tlaku větru v podélném a příčném směru:



Tabulka součinitelů tlaku větru:

α[-°]	-	C _{o,net}			C _f
		A	B	C	
5	max φ	+0,8	+2,1	+1,3	+0,4
	min φ	-1,6	-2,2	-2,5	-1,4
5,7106	max φ	+0,857	+2,143	+1,343	+0,414
	min φ	-1,671	-2,257	-2,528	-1,4
10	max φ	+1,2	+2,4	+1,6	+0,5
	min φ	-2,1	-2,6	-2,7	-1,4

Schéma rozdělení plochy střešní konstrukce:



Tabulky zatížení větrem na jednotlivé vaznice:

VÍTR PŘÍČNÝ - TLAK

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	$q_p(z)$ [N/m ²]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	C_{fr}	q_k [kN/m]
V _{1,B}	0,838	499,93		2,143		0,04	0,915
V _{2,B} - V _{3,B}	1,675	499,93		2,143		0,04	1,828
V _{4,B}	0,838	499,93		2,143		0,04	0,915
V _{5,B}	0,801	499,93		2,143		0,04	0,874
V _{6,B} - V _{8,B}	1,602	499,93		2,143		0,04	1,748
V _{9,B}	0,801	499,93		2,143		0,04	0,874
V _{1,C}	0,838	499,93			1,343	0,04	0,579
V _{2,C+A}	0,838+0,611	499,93	0,857		1,343	0,04	0,853
V _{3,A}	1,675	499,93	0,857			0,04	0,751
V _{4,A}	0,838	499,93	0,857			0,04	0,376
V _{5,A}	0,801	499,93	0,857			0,04	0,359
V _{6,A} - V _{8,A}	1,602	499,93	0,857			0,04	0,718
V _{9,A}	0,801	499,93	0,857			0,04	0,359

VÍTR PŘÍČNÝ - SÁNÍ

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	$q_p(z)$ [N/m ²]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	q_k [kN/m]
V _{1,C}	0,838	499,93			-2,528	-1,059
V _{2,C+B}	0,838+0,611	499,93		-2,257	-2,528	-1,749
V _{3,B}	1,675	499,93		-2,257		-1,890
V _{4,B}	0,838	499,93		-2,257		-0,946
V _{5,B}	0,801	499,93		-2,257		-0,904
V _{6,B} - V _{8,B}	1,602	499,93		-2,257		-1,808
V _{9,B}	0,801	499,93		-2,257		-0,904
V _{2,C+A}	0,838+0,611	499,93	-1,671		-2,528	-1,570
V _{3,A}	1,675	499,93	-1,671			-1,399
V _{4,A}	0,838	499,93	-1,671			-0,700
V _{5,A}	0,801	499,93	-1,671			-0,669
V _{6,A} - V _{8,A}	1,602	499,93	-1,671			-1,338
V _{9,A}	0,801	499,93	-1,671			-0,669

VÍTR PODÉLNÝ - TLAK

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	$q_p(z)$ [N/m ²]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	C_{fr}	q_k [kN/m]
V _{1,B}	0,838	499,93		2,143		0,04	0,915
V _{2,B}	1,675	499,93		2,143		0,04	1,828
V _{3,A}	1,675	499,93	0,857			0,04	0,751
V _{3,C}	1,675	499,93			1,343	0,04	1,158
V _{4,A}	0,838	499,93	0,857			0,04	0,376
V _{4,C}	0,838	499,93			1,343	0,04	0,579
V _{5,A}	0,801	499,93	0,857			0,04	0,359
V _{5,C}	0,801	499,93			1,343	0,04	0,554
V _{6,A} - V _{8,A}	1,602	499,93	0,857			0,04	0,718
V _{6,C} - V _{8,C}	1,602	499,93			1,343	0,04	1,108
V _{9,A}	0,801	499,93	0,857			0,04	0,359
V _{9,C}	0,801	499,93			1,343	0,04	0,554

VÍTR PODÉLNÝ - SÁNÍ

Vaznice dle pozice	Zat. šířka [m]	$q_p(z)$ [N/m ²]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	q_k [kN/m]
V _{1,B}	0,838	499,93		-2,257		-0,946
V _{1,C}	0,838	499,93			-2,528	-1,059
V _{2,B}	1,675	499,93		-2,257		-1,890
V _{2,C} - V _{3,C}	1,675	499,93			-2,528	-2,117
V _{3,A}	1,675	499,93	-1,671			-1,399
V _{4,A}	0,838	499,93	-1,671			-0,700
V _{4,C}	0,838	499,93			-2,528	-1,059
V _{5,A}	0,801	499,93	-1,671			-0,669
V _{5,C}	0,801	499,93			-2,528	-1,012
V _{6,A} - V _{8,A}	1,602	499,93	-1,671			-1,338
V _{6,C} - V _{8,C}	1,602	499,93			-2,528	-2,025
V _{9,A}	0,801	499,93	-1,671			-0,669
V _{9,C}	0,801	499,93			-2,528	-1,012

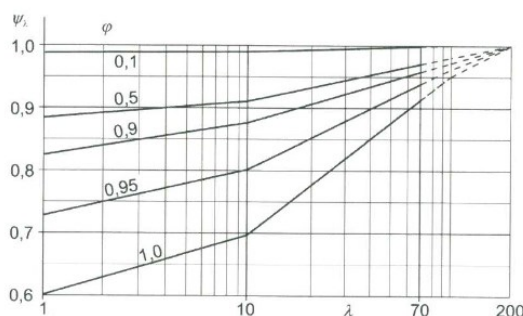
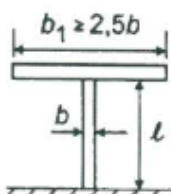
Zatížení tlakem větru na stěny hlavních nosníků:

Součinitel síly - $C_{f,0} = 2,0$ (dle NA.2.35)

Stanovení součinitele koncového efektu:

$$\lambda = \min\{l/b; 70\} = \min\left\{\frac{4,3}{0,2}; 70\right\} = 21,5 \quad (\text{pro } l \leq 15 \text{ m})$$

dle grafu: $\psi_\lambda = 1,0$



Obrázek 7.36 – Směrné hodnoty součinitele koncového efektu ψ_λ jako funkce součinitele plnosti φ v závislosti na štíhlosti λ

Tlak větru (liniové zatížení):

$$w_{p,k} = q_p(z) \cdot c_f \cdot h = 499,93 \cdot 2,0 \cdot 0,45 = 0,45 \text{ kN/m} \quad \text{- příčel}$$

$$w_{p,k} = q_p(z) \cdot c_f \cdot h = 499,93 \cdot 2,0 \cdot 0,4 = 0,4 \text{ kN/m} \quad \text{- vazník}$$

1.6. ZATÍŽENÍ UŽITNÉ

Toto zatížení představuje zatížení osamělým břemenem (osoba, síla 1 kN – bodové zatížení a plošné zatížení 0,75 kN/m²) na vaznici a trapézový plech v nejméně nepříznivém průřezu. Pro stanovení maximálního momentu se umístí doprostřed rozpětí vnitřního pole, pro stanovení maximální posouvající síly a reakce se umístí do místa uložení vaznice na vazníky.

1.7. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Mezní stav únosnosti – MSÚ:
dle ČSN EN 1990 pro mezní stavy STR/GEO

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

Tabulka A1.2(B) – Návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) (soubor B)

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení (*)		Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení (*)	Vedlejší proměnná zatížení (*)	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější	ostatní		nepříznivá	příznivá		nejúčinnější	ostatní
(Výraz 6.10)	$\gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(Výraz 6.10a)	$\gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
						(Výraz 6.10b)	$\xi \gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Proměnná zatížení jsou ta, která jsou uvažována v tabulce A1.1.

POZNÁMKA 1 Výběr mezi 6.10, nebo 6.10a a 6.10b určí národní příloha. V případě 6.10a a 6.10b může navíc národní příloha změnit 6.10a, tak aby zahrnovala pouze zatížení stálá.

POZNÁMKA 2 Hodnoty γ a ξ mohou být stanoveny v národní příloze. Následující hodnoty γ a ξ jsou doporučené pro použití ve výrazech 6.10, nebo 6.10a a 6.10b.

$$\gamma_{G,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ pro nepříznivé (0 pro příznivé)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ pro nepříznivé (0 pro příznivé)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (takže } \xi \gamma_{G,sup} = 0,85 \times 1,35 \approx 1,15).$$

Použití součinitelů γ pro záměrně vnesená přetvoření viz také EN 1991 až EN 1999.

POZNÁMKA 3 Charakteristické hodnoty všech stálých zatížení stejného původu se násobí $\gamma_{G,sup}$, pokud je výsledný účinek zatížení nepříznivý, a $\gamma_{G,inf}$, pokud je výsledný účinek zatížení příznivý. Například všechna zatížení od vlastní tíhy konstrukce lze považovat za zatížení stejného původu; platí to také v případě použití rozdílných materiálů.

POZNÁMKA 4 Pro specifická ověření mohou být hodnoty γ_G a γ_Q rozděleny na γ_G a γ_Q a na součinitele modelových nejistot γ_{SD} . Ve většině případů může být použita hodnota γ_{SD} v rozmezí 1,05 – 1,15, a může být upřesněna v národní příloze.

Mezní stav použitelnosti – MSP:
dle ČSN EN 1990 pro charakteristickou kombinaci zatížení

$$\sum_{j=1}^n G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

Tabulka A1.4 – Návrhové hodnoty zatížení v kombinacích zatížení

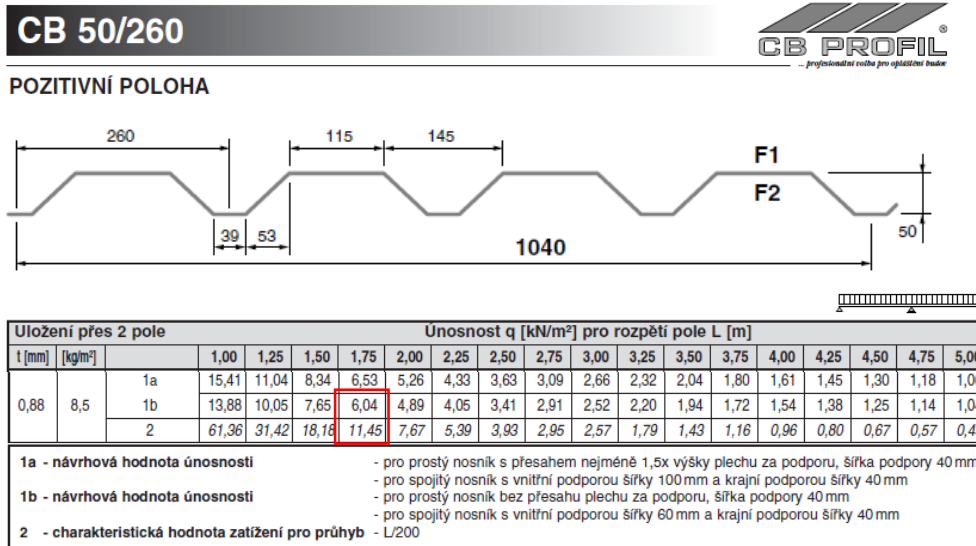
Kombinace	Stálá zatížení G_d		Proměnná zatížení Q_d	
	nepříznivá	příznivá	hlavní	vedlejší
Charakteristická	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Častá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazistálá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Tabulka A1.1 – Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H : střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ¹⁾			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.			
¹⁾ Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

2. NÁVRH A POSOUZENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE

2.1. TRAPÉZOVÝ PLECH - CB 50/260/0,88



Výpočet Zatížení:

Uvažované zatěžovací stavy:

ZS1 – vlastní tíha $g_k = 0,061 \text{ kN/m}^2$

q_k [kN/m²]
 ZS2 – sníh, plný 0,72
 ZS6 – vítr podélný, tlak 1,79
 ZS7 – vítr podélný, sání 2,12
 ZS8 – užité, osoba 0,75

Kombinace:

C1: ZS1+ZS2+ZS6+ZS8

C2: ZS1+ZS7

C1: $f_k = 0,061 + 0,72 + 1,79 + 0,75 = 3,32 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$ ROZHODUJÍCÍ
 $f_d = 0,061 \times 1,35 + (0,72 + 1,79) \times 1,5 + 0,75 = 4,60 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow$ ROZHODUJÍCÍ

C2: $f_k = 0,061 + 2,12 = 2,18 \text{ kN/m}^2$
 $f_d = 0,061 \times 1,35 + 2,12 \times 1,5 = 3,26 \text{ kN/m}^2$

Posouzení:

$f_d = 4,60 \text{ kN/m}^2 \leq f_{Rd} = 6,04 \text{ kN/m}^2$ (kombinace C1)
 $f_k = 3,32 \text{ kN/m}^2 \leq f_{Rk} = 11,45 \text{ kN/m}^2$ (kombinace C1)

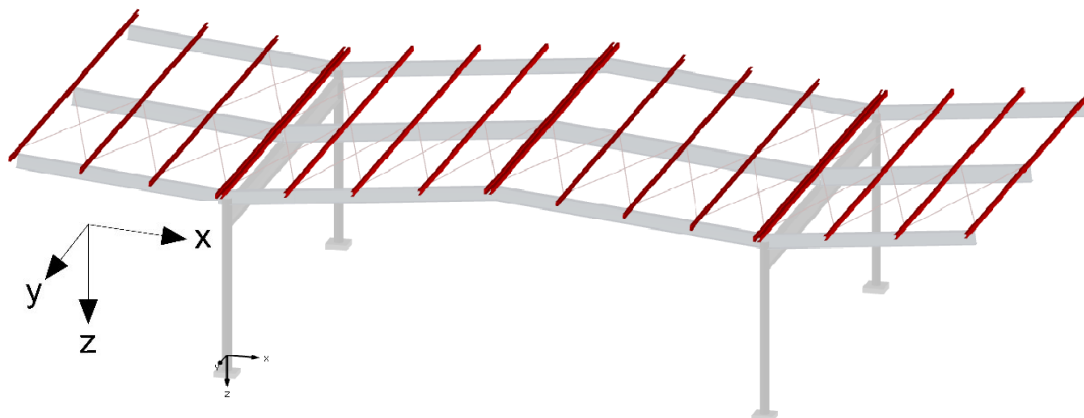
$f_d = 3,26 \text{ kN/m}^2 \leq f_{Rd} = 5,92 \text{ kN/m}^2$ (kombinace C2, sání–negativní tlak na plech)
 $f_k = 2,18 \text{ kN/m}^2 \leq f_{Rk} = 11,45 \text{ kN/m}^2$ (kombinace C2)

Trapézový plech CB 50/260/0,88 VYHOVÍ na dané zatížení. Trapézový plech bude uložen v pozitivní poloze přes dvě pole. Dle výrobce bude plech přikotven k vaznicím pomocí nastřelovacích hřebů se standartní silou úderu 350 J následovně:

- ve vzdálenosti 1000 mm od úžlabí nebo hřebenu 2 ks do

každé spodní vlny trapézu na styku s vazníkem.
- v běžném poli, po obvodě a v podélném spoji postačuje 1ks do každé vlny na styku s vaznicí.

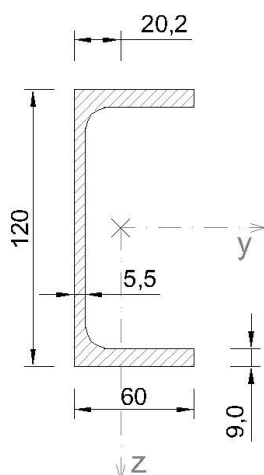
2.2. VAZNICE



Veškeré vaznice budou kloubově připevněny k podporujícím vazníkům. Mezilehlé vaznice budou od svislého zatížení ve směru osy z namáhány pouze v rovině kolmé ke střešnímu plášti. V rovině vodorovné ve směru osy x bude zatížení přenášet trapézový plech, který takto tvoří tuhý střešní plášť. Toto zatížení bude převáděno do hřebenových vaznic. Při extrému zatížení s převládajícím účinkem sání větru, bude vaznice posuzována s možností ztráty příčné a torzní stability (klopení). Z důvodu zmenšení kritické délky při klopení budou vaznice zajištěny táhly v polovině rozpětí.

2.2.1. MEZILEHLÁ VAZNICE – UPE120

Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	120,0	mm
Šířka profilu	b	60,0	mm
Tloušťka stojiny	t_w	5,5	mm
Tloušťka pásnice	t_f	9,0	mm
Plocha průřezu	A	1680,0	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	3,92E+06	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	6,07E+05	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	48,3	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	19,0	mm
Moment tuhosti v kroucení	I_t	3,72E+04	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I_w	1,23E+09	mm ⁶
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	7,15E+04	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	2,74E+04	mm ³

Rozhodující vnitřní síly na prutu:

Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]
		N	V _y	V _z	M _y
0,000	MAX N	4,997	-0,609	-5,071	1,957
0,000	MIN N	-17,410	0,457	5,814	0,000
0,000	MAX V _y	-6,468	1,243	10,306	-2,829
5,000	MIN V _y	-6,468	-1,243	-10,306	-2,829
0,000	MAX V _z	-7,030	1,216	10,332	-2,960
5,000	MIN V _z	-7,030	-1,216	-10,332	-2,960
2,778	MAX M _y	-6,321	0,158	-0,524	10,784
2,222	MIN M _y	-0,934	0,119	-0,492	-7,483
5,000	MAX M _z	-6,468	-1,243	-10,306	-2,829
5,000	MIN M _z	0,934	0,851	6,833	1,163

Klasifikace průřezu:

- ohýbaný průřez

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

stojina: $\frac{c}{t} = \frac{82}{5,5} = 14,91 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \quad \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{44,5}{9} = 4,94 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \quad \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

Třída průřezu 1

- **Posouzení na smyk (6.2.6):**

$$V_{ed} = \pm 10,332 \text{ kN}$$

Smyková plocha:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f = 1680 - 2 \cdot 60 \cdot 9 + (5,5 + 10) \cdot 9 = 739,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{739,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 100,33 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{10,332}{100,33} = 0,103 \leq 1,0 \text{ (10,3\%, dle RFEM 10\%)} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\leq 0,5 \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

- **Posouzení na ohyb a osovou sílu (6.2.9), bez ztráty stability**

Extrémní hodnoty zatížení ve směru kladné osy z.

$$M_{y,Ed} = 10,784 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -6,321 \text{ kN}$$

Podmínky vlivu osové síly na plastický moment únosnosti při ohybu okolo osy y-y:

$$1) N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$6,321 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot \frac{1680 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 98,7 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{SPLNÍ}$$

$$2) N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

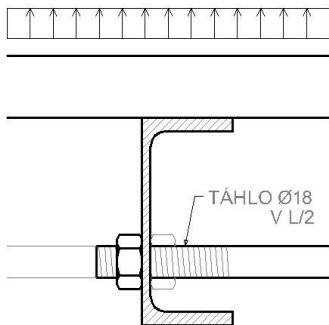
$$6,321 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 0,12 \cdot 0,0055 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 77,55 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{SPLNÍ}$$

Vliv osové síly na plastický moment únosnosti není nutné uvažovat.

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{715 \cdot 10^{-7} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 16,80 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{10,784}{16,80} = 0,64 \leq 1,0 \text{ (64\%, dle RFEM 66\%)} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

• **Posouzení na ohyb a osovou sílu (6.3.3), se ztrátou stability**



Extrémní hodnoty zatížení proti směru kladné osy z (převládající sání větru).
Pro výpočet jsou uvažovány dvě kombinace dle příslušného extrému vnitřních sil.

C1: $M_{y,Ed} = -7,483 \text{ kNm}$
 $N_{Ed} = -0,934 \text{ kN}$

C2: $M_{y,Ed} = -2,960 \text{ kNm}$
 $N_{Ed} = -7,030 \text{ kN}$

○ Rovinný vzpěr – osa y-y (křivka vzpěrné pevnosti a $\Rightarrow \alpha=0,21$):

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{l_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5,0}{0,0483} \cdot \frac{1}{93,9} = 1,102$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,21(1,102 - 0,2) + 1,102^2] = 1,202$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,202 + \sqrt{1,202^2 - 1,102^2}} = 0,70$$

○ Klopení – osa y-y (křivka klopení d $\Rightarrow \alpha_{LT}=0,76$):

$L_{LT} =$	2,5 m (táhlo v L/2)
$k_y = k_z = k_w =$	1,0
$C_1 =$	1,13 (dle NB.3.2)
$C_2 =$	0,46 (dle NB.3.2)
$z_g =$	0,06 m
$z_j = \zeta_j =$	0

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{G I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2,5} \sqrt{\frac{210 \cdot 1,23 \cdot 10^{-9}}{81 \cdot 3,72 \cdot 10^{-8}}} = 0,368$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{G I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,06}{1,0 \cdot 2,5} \sqrt{\frac{210 \cdot 60,7 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 3,72 \cdot 10^{-8}}} = 0,490$$

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

$$= \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 0,368^2 + (0,46 \cdot 0,49 - 0)^2} - (0,46 \cdot 0,49 - 0) \right] = 0,976$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 0,976 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 60,7 \cdot 10^{-8} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 3,72 \cdot 10^{-8}}}{2,5} = 24,04 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,15 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{24,04}} = 0,836$$

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,76 (0,836 - 0,2) + 0,836^2] = 1,091$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,091 + \sqrt{1,091^2 - 0,836^2}} = 0,56$$

○ Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,70 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 276,36 \text{ kN}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,56 \cdot 715 \cdot 10^{-7} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 9,41 \text{ kNm}$$

○ Posouzení:

C1: $M_{y,Ed} = -7,483 \text{ kNm}$

$N_{Ed} = -0,934 \text{ kN}$

C2: $M_{y,Ed} = -2,960 \text{ kNm}$

$N_{Ed} = -7,030 \text{ kN}$

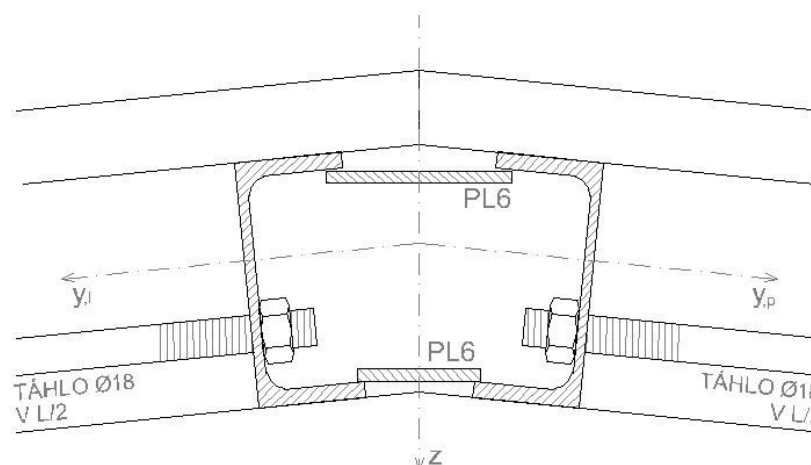
$$C1: \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{0,934}{276,36} + \frac{7,483}{9,410} = 0,80 \leq 1,0$$

(80%, dle RFEM 67%) ⇒ VYHOVÍ

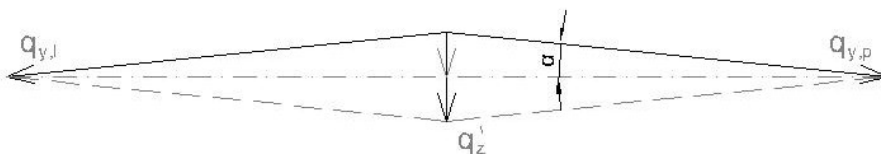
$$C2: \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{7,030}{276,36} + \frac{2,960}{9,410} = 0,34 \leq 1,0 \text{ (34\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.2.2. VRCHOLOVÁ VAZNICE – 2xUPE120

Vrcholová vaznice přenáší jak složku zatížení kolmou ke střešnímu plášti, tak složku v jeho rovině, přenášenu prostřednictvím táhel v polovině rozpětí vaznice. Osová síla je pro výpočet zanedbána. Průřez vaznice je tvořen dvojicí UPE profilů č. 120 a rámovými spojkami. Takto se vaznice staticky chová jako Vierendeelův nosník.



ROZKLAD SIL PŘÍTÍŽENÍ:



• **Složka zatížení kolmá ke střešnímu plášti**

Pro kombinaci zatížení stálé + sníh plný

$$q_{z,s} = [0,102 + (2 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 78,5 + 0,1) \cdot 1,35 + 0,72 \cdot 1,602 \cdot 1,5 \cdot \cos\alpha = 2,35 \text{ kN/m}]$$

Přítížení ve svislém směru od složek $q_{y,l}$ a $q_{y,p}$ při symetrickém zatížení střechy:

$$q_{y,l} = q_{y,p} = q \cdot \sin\alpha = 8,30 \cdot \sin 5,71 = 0,83 \text{ kN/m}$$

$$q = (0,06 \cdot 6,408 + 5 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 78,5) \cdot 1,35 + 0,72 \cdot 6,408 \cdot 1,5 \cdot \cos\alpha = 8,30 \text{ kN/m}$$

$$q_{z'} = 2 \cdot q_{y,l} \cdot \sin\alpha = 2 \cdot 0,83 \cdot \sin 5,71 = 0,16 \text{ kN/m}$$

Výsledné zatížení:

$$q_z = q_{z,s} + q_{z'} = 2,35 + 0,16 = \underline{2,51 \text{ kN/m}}$$

Návrhový ohybový moment:

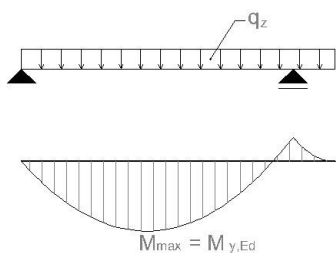
$$M_{y,Ed} = 7,48 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{c,Rd} = \frac{2 \cdot W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 65333,3 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 30,71 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{7,48}{30,71} = 0,24 \leq 1,0 \quad (24\%)$$

⇒ VYHOVÍ



• **Složka zatížení kolmá ke střešnímu plášti**

Pro kombinaci zatížení stálé + sníh jednostranný

$$q_{z,s} = [0,102 + (2 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 78,5 + 0,1) \cdot 1,35 + 0,72 \cdot 1,602 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot \cos\alpha = 1,49 \text{ kN/m}]$$

Přítížení ve svislém směru od složek $q_{y,l}$ a $q_{y,p}$ při nesymetrickém zatížení střechy:

$$q_{y,l} = 0,83 \text{ kN/m}$$

$$q_{y,p} = q \cdot \sin\alpha = 1,41 \cdot \sin 5,71 = 0,14 \text{ kN/m}$$

$$q = (0,06 \cdot 6,408 + 5 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 78,5) \cdot 1,35 = 1,41 \text{ kN/m}$$

Rozdíl zatížení:

$$q_r = q_{y,l} - q_{y,p} = 0,83 - 0,14 = 0,69 \text{ kN/m}$$

Návrhový ohybový moment:

$$M_{y,Ed} = 3,75 \text{ kNm}$$

• **Složka zatížení v rovině střešního pláště**

Složka $q_r = 0,69 \text{ kN/m}$ vlivem nesymetrie zatížení.

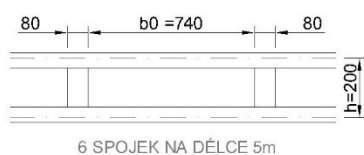
Návrhové vnitřní síly:

$$M_{z,Ed} = 2,16 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 1,73 \text{ kN}$$

$$V_{T,Ed} = V_{y,Ed} / 2 = 1,73 / 2 = 0,87 \text{ kN}$$

$$V_{w,Ed} = (V_{y,Ed} \cdot p) / h = (1,73 \cdot 0,82) / 0,1 = 14,19 \text{ kN}$$



Průřezové charakteristiky:

$$A_{UPE} = 1680 \text{ mm}^2$$

$$I_{z,i} = 2 \cdot A_{UPE} \cdot (h/2)^2 = 2 \cdot 1680 \cdot (200/2)^2 = 33,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_i = I_{z,i} / (h/2) = 33,6 \cdot 10^6 / (200/2) = 336 000 \text{ mm}^3 \text{ (dvojice UPE120)}$$

$$W_p = 6,54 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \text{ (spojky)}$$

$$b_0 = 740 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$c = \frac{W_i}{4W_p} b_0 = \frac{336000}{4 \cdot 6540} \cdot 580 = 7450 \text{ mm}$$

$$\sigma_v = \frac{q_r}{W_i} \left(\frac{L^2}{8} + \frac{c^2}{2} \right) = \frac{0,69}{336000} \left(\frac{5000^2}{8} + \frac{7450^2}{2} \right) = 63,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{y,Ed}}{2W_{pl,y}} = \frac{3,75}{2 \cdot 65333,3 \cdot 10^{-9}} = 28,70 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_v = 28,7 + 63,41 = \mathbf{92,11 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = \mathbf{235 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení klopení dílčí části průřezu**

$$L_{z1} = 740 \text{ mm}$$

$$i_{z1} = 19 \text{ mm}$$

$$40 \cdot i_{z1} = 40 \cdot 19 = 760 \text{ mm} > L_{z1} = 740 \text{ mm}$$

⇒ VYHOVÍ

- **Posouzení posouvající síly**

profily UPE120:

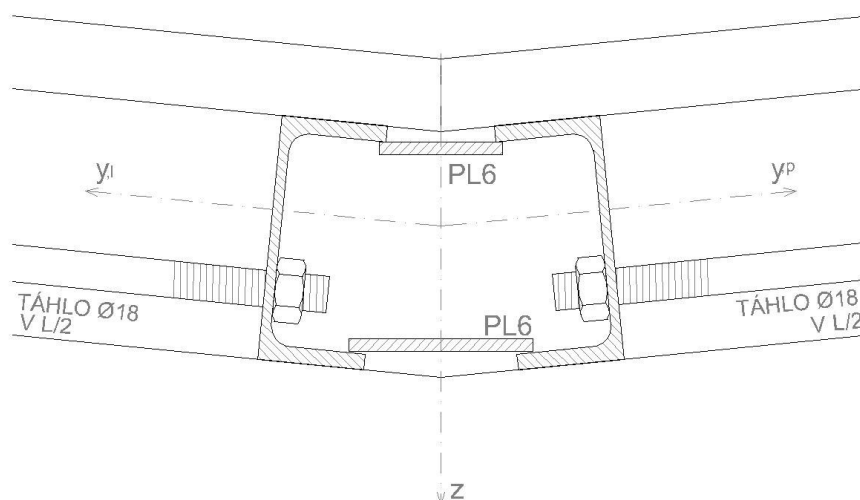
$$\frac{V_{T,Ed}}{A_{w,UPE}} = \frac{0,87}{2 \cdot 1680 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{0,259 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{207,85 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

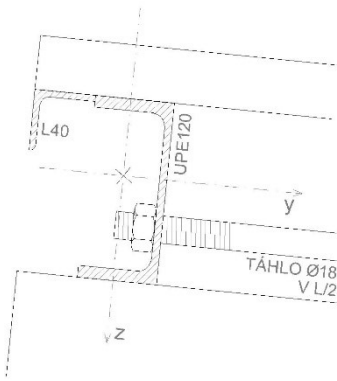
spojka:

$$\frac{V_{W,Ed}}{A_{w,p}} = \frac{14,19 \cdot 10^3}{480} = \mathbf{29,56 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{207,85 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.2.3. ÚŽLABNÍ VAZNICE – 2xUPE120

Úžlabní vaznice přenáší složku zatížení kolmou ke střešnímu pláští a odolává reakcím z táhel v polovině rozpětí vaznice při jejich montáži. Osová síla je pro výpočet zanedbána. Průřez vaznice je tvořen dvojicí UPE profilů č. 120 a rámovými spojkami. Statické posouzení je shodné s vaznicí vrcholovou a proto ho není nutné takto samostatně řešit.





2.2.4. VRCHOLOVÁ OKAPOVÁ VAZNICE – UPE120+L40

Vrcholová okapová vaznice přenáší jak složku zatížení kolmou ke střešnímu plášti, tak složku v jeho rovině, přenášenou prostřednictvím táhla v polovině rozpětí vaznice. Osová síla je pro výpočet zanedbána. Průřez vaznice je tvořen profilem UPE č. 120 s přivařeným L40 k jeho horní pásnici.

- **Průřezové charakteristiky**

$$W_{pl,y} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 7,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

- **Složky zatížení**

$$q_z = [0,05 + (1680 \cdot 10^{-6} + 308 \cdot 10^{-6}) \cdot 78,5] \cdot 1,35 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \cos \alpha = 1,17 \text{ kN/m}$$

$$q_y = [(0,06 \cdot 10,2 + 4 \cdot 1680 \cdot 10^{-6} \cdot 78,5) \cdot 1,35 + 0,72 \cdot 10,02 \cdot \cos \alpha] \cdot \sin \alpha = 0,87 \text{ kN/m}$$

- **Návrhové vnitřní síly**

$$M_{y,Ed} = 3,49 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,60 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 2,87 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 3,87 \text{ kN}$$

- **Zatřídění průřezu**

- ohýbaný průřez

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

stojina: $\frac{c}{t} = \frac{77,5}{5} = 15,5 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

$$\frac{c}{t} = \frac{82}{5,5} = 14,91 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$$

pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{44,5}{9} = 4,94 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

$$\frac{c}{t} = \frac{33}{4} = 8,25 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$$

Třída průřezu 1

- **Posouzení na smyk (6.2.6):**

Smyková plocha:

$$A_v = \mu \cdot \sum (h_w \cdot t_w) = 1,0 \cdot (0,0038 \cdot 0,004 + 0,111 \cdot 0,0055) = 7,625 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{7,625 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 103,45 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{3,87}{103,45} = 0,04 \leq 1,0 \text{ (4,0\%)}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\leq 0,5$$

⇒ VYHOVÍ

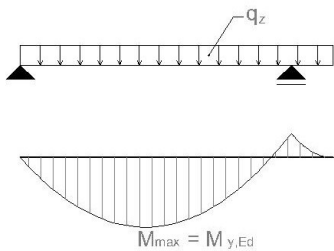
Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

- **Posouzení na šikmý ohyb (6.2.9):**

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,0 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 11,75 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,36 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 17,30 \text{ kNm}$$

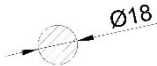
$$\alpha = \beta = 1,0 \text{ (konstanty dle 6.41 – konzervativně)}$$



$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{3,49}{17,30} \right]^1 + \left[\frac{2,60}{11,75} \right]^1 = 0,42 \leq 1,0 \quad (42\%) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.2.5. TÁHLO RD18

$N_{ed} = 1,2 \text{ kN}$ (při působení zatížení v kombinaci sání větru)



- **Štíhlost prutu:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1,675}{0,045} = 372 \leq \lambda_{lim} = 400 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení na tah (6.2.3):**

$$A_{net} = 0,8 \cdot A = 0,8 \cdot 254 = 203,2 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{203,2 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 47,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1,2}{47,75} = 0,03 \leq 1,0 \quad (3,0\%) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Rozhodující posudek pro návrh profilu táhla je štíhlost prutu.

2.2.6. MSP

Dovozené limitní průhyby vaznice pro charakteristickou kombinaci zatížení:

Svislý průhyb vnitřního pole nosníku:
 $\bar{\delta}_{lim} = L/200 = 5000/200 = 25 \text{ mm}$

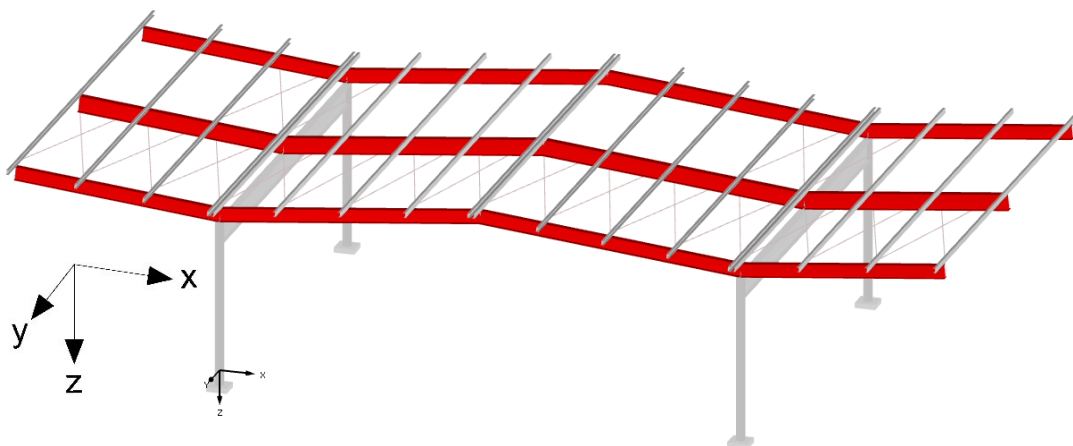
Svislý průhyb převislého konce nosníku:
 $\bar{\delta}_{lim} = 2L/200 = 2 \cdot 750/200 = 7,5 \text{ mm}$

Maximální svislé průhyby vypočítané dle programu RFEM v.5.03:

vnitřní pole: $\bar{\delta}_z = 23,3 \text{ mm} \leq \bar{\delta}_{lim} = 25 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

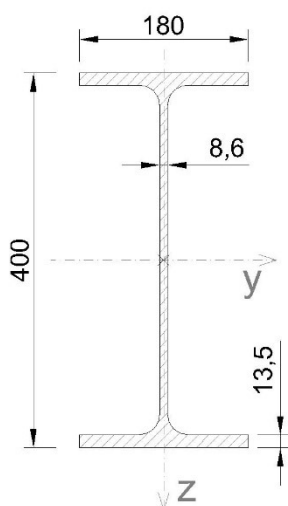
převislý konec: $\bar{\delta}_z = 7,1 \text{ mm} \leq \bar{\delta}_{lim} = 7,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

2.3. VAZNÍK



2.3.1. STŘEDNÍ VAZNÍK IPE400

Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	400,0	mm
Šířka profilu	b	180,0	mm
Tloušťka stojiny	t_w	8,6	mm
Tloušťka pásnice	t_f	13,5	mm
Plocha průřezu	A	8450,0	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	2,31E+08	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	1,32E+07	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	165,0	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	39,5	mm
Moment tuhosti v kroucení	I_t	51,4E+04	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I_ω	4,90E+11	mm ⁶
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	130,8E+04	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	22,9E+04	mm ³

Rozhodující vnitřní síly na prutu:

Místo x [m]		Síly [kN]				
		N	V_y	V_z	M_y	M_z
1,602	MAX N	2,300	0,012	5,569	51,001	-0,011
1,602	MIN N	-2,953	-0,032	13,201	55,272	-0,212
1,602	MAX V_y	0,187	2,305	13,685	60,885	-3,757
0,000	MIN V_y	1,110	-2,305	-24,747	76,983	-3,764
0,000	MAX V_z	-1,115	-1,397	49,543	-139,180	-1,992
1,602	MIN V_z	-1,973	0,004	-49,806	-118,490	0,113
0,000	MAX M_y	1,594	-2,082	-23,568	77,263	-3,745
0,000	MIN M_y	0,244	-2,293	38,367	-141,480	-3,424
1,068	MAX M_z	-2,214	0,130	0,707	1,046	1,738
0,000	MIN M_z	1,110	-2,305	-24,747	76,983	-3,764

Klasifikace průřezu:

- ohýbaný průřez

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

stojina: $\frac{c}{t} = \frac{331}{8,6} = 38,49 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{64,7}{13,5} = 4,79 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

Třída průřezu 1

• **Posouzení na smyk (6.2.6)**

$V_{ed} = 49,806 \text{ kN}$

Smyková plocha:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 8450 - 2 \cdot 180 \cdot 13,5 + (8,6 + 2 \cdot 21) \cdot 13,5 = 4273,1 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4273,1 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 579,76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{49,81}{579,76} = 0,086 \leq 1,0 \text{ (8,6\%, dle RFEM 8\%)}$$

⇒ VYHOVÍ

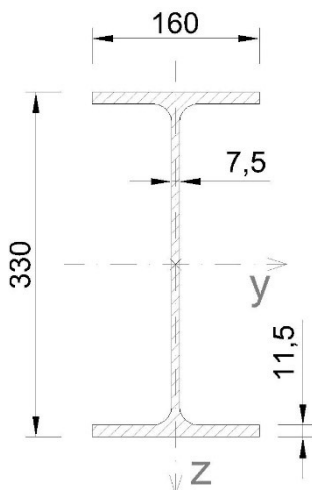
$$\leq 0,5$$

⇒ VYHOVÍ

Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

2.3.2. KRAJNÍ VAZNÍK IPE330

Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	330,0	mm
Šířka profilu	b	160,0	mm
Tloušťka stojiny	t _w	7,5	mm
Tloušťka pásnice	t _f	11,5	mm
Plocha průřezu	A	6260,0	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	1,18E+08	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	7,88E+06	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	137,0	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	35,5	mm
Moment tuhosti v kroucení	I _t	28,3E+04	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _w	1,99E+11	mm ⁶
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	80,4E+04	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	15,4E+04	mm ³

Rozhodující vnitřní síly na prutu:

Místo x [m]		Síly [kN]				
		N	V _y	V _z	M _y	M _z
1,602	MAX N	3,781	-5,351	-20,741	19,705	2,973
1,602	MIN N	-8,197	-6,873	-36,129	-83,599	7,117
0,000	MAX V _y	-7,996	8,803	36,367	-95,401	9,282
1,602	MIN V _y	-7,996	-8,803	-36,367	-95,401	9,282
0,000	MAX V _z	-6,629	7,870	38,661	-88,097	8,338
1,602	MIN V _z	-8,125	-8,214	-38,649	-87,536	8,589
0,000	MAX M _y	1,694	-4,087	-21,272	57,635	-4,294
1,675	MIN M _y	-5,368	-4,538	-31,111	-97,320	6,331
0,000	MAX M _z	-7,996	8,803	36,367	-95,401	9,282
1,675	MIN M _z	-7,211	8,254	-31,544	-95,393	-9,364

Klasifikace průřezu:

- ohýbaný průřez

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

stojina: $\frac{c}{t} = \frac{271}{7,5} = 36,13 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{58,3}{11,5} = 5,07 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

Třída průřezu 1

- **Posouzení na smyk (6.2.6)**

$V_{ed} = 38,661 \text{ kN}$

Smyková plocha:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 6260 - 2 \cdot 160 \cdot 11,5 + (7,5 + 2 \cdot 18) \cdot 11,5 = 3080,3 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3080,3 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 417,92 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{38,66}{417,92} = 0,093 \leq 1,0 \text{ (9,3\%, dle RFEM 9\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\leq 0,5 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

2.3.3. POSOUZENÍ NA OHYB A OSOVOU SÍLU (6.3.3), se ztrátou stability

Pro tabulkový výpočet a posouzení jsou použity následující výrazy. Účinky osové síly jsou pro její malou hodnotu zanedbány.

- Ohyb okolo osy z-z:

$$M_{z,Rk} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

- Klopení – osa y-y (křivka klopení c $\Rightarrow \alpha_{LT}=0,49$, metoda 6.3.2.3):

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \quad \zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad \Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] \quad \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

,kde $\beta = 0,75$ a $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

- Návrhová hodnota únosnosti:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$$

Z důvodu plně nevyužitého průřezu jsou ve výpočtu zanedbány součinitele interakce, které by výsledky posudku snižovaly.

Stanovení návrhových hodnot únosnosti:

	L_{LT}	$k_y=k_w$	k_z	C_1	$M_{z,Rk}$	κ_{wt}	μ_{cr}	M_{cr}	$\bar{\lambda}_{LT}$	Φ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd}$
POZICE	[m]	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[kNm]
IPE400 (pole)	1,675	1	1	1,14	53,82	2,949	3,549	2261,62	0,369	0,580	0,94	289,49
IPE400 (konzola)	1,602	1	1	1,14	53,82	3,391	4,031	2685,23	0,338	0,57	0,95	292,85
IPE330 (pole)	1,675	1	1	1,14	36,19	2,532	3,104	1133,83	0,408	0,598	0,93	174,94
IPE330 (konzola)	1,602	1	1	1,14	36,19	2,648	3,227	1232,37	0,392	0,59	0,93	176,09

Stanovení návrhových hodnot únosnosti (stav sání větru):

	L_{LT}	$k_y=k_w$	k_z	C_1	$M_{z,Rk}$	κ_{wt}	μ_{cr}	M_{cr}	$\bar{\lambda}_{LT}$	Φ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd}$
POZICE	[m]	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[kNm]
IPE400 - sání (pole)	12,814	1	1	2,05	53,82	0,385	2,197	182,99	1,296	1,349	0,48	146,69
IPE400 -sání (konzola)	5,025	2	1	2,05	53,82	0,491	2,284	485,14	0,796	0,835	0,766	235,88
IPE330 - sání (pole)	12,814	1	1	2,05	36,19	0,331	2,159	103,11	1,354	1,421	0,45	84,97
IPE330 - sání (konzola)	5,025	2	1	2,05	36,19	0,422	2,225	270,94	0,84	0,87	0,64	121,19

Posouzení únosnosti v ohybu:

	$M_{z,Ed}$	$M_{z,Ed} / M_{z,Rk}$	$M_{z,Ed} / M_{z,Rk}$	$M_{y,Ed}$	$M_{y,Ed} / M_{b,Rd}$	$M_{y,Ed} / M_{b,Rd}$	interakce	
POZICE	[kNm]	[-]	[%]	[kNm]	[-]	[%]	[%] (RFEM)	
IPE400 (pole)	3,80	0,071	7,1	141,48	0,489	48,9	55,9 (49)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE400 (konzola)	3,33	0,062	6,2	141,48	0,483	48,3	54,5 (40)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE330 (pole)	9,13	0,252	25,2	97,32	0,556	55,6	80,9 (62)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE330 (konzola)	9,35	0,258	25,8	97,32	0,553	55,3	81,1 (62)	\Rightarrow VYHOVÍ

Posouzení únosnosti v ohybu (stav sání větru):

	$M_{z,Ed}$	$M_{z,Ed} / M_{z,Rk}$	$M_{z,Ed} / M_{z,Rk}$	$M_{y,Ed}$	$M_{y,Ed} / M_{b,Rd}$	$M_{y,Ed} / M_{b,Rd}$	interakce	
POZICE	[kNm]	[-]	[%]	[kNm]	[-]	[%]	[%]	
IPE400 - sání (pole)	3,76	0,070	7,0	77,26	0,527	52,7	59,7 (51)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE400 -sání (konzola)	9,36	0,174	17,4	77,26	0,328	32,8	50,1 (24)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE330 - sání (pole)	4,09	0,113	11,3	57,64	0,678	67,8	79,1 (45)	\Rightarrow VYHOVÍ
IPE330 - sání (konzola)	4,88	0,135	13,5	57,64	0,476	47,6	61,1 (69)	\Rightarrow VYHOVÍ

Při porovnání výsledků ručního výpočtu s výsledky z programu RFEM dochází k odchylkám, které způsobuje zachování posudků bez vlivu redukčních součinitelů a uvažování pouze maximálních hodnot vnitřních sil v kritickém průřezu nosníku.

2.3.4. MSP

Dovolené limitní průhyby vazníku pro charakteristickou kombinaci zatížení:

IPE400:

Svislý průhyb vnitřního pole nosníku:
 $\delta_{lim} = L/250 = 12814/250 = 51,3 \text{ mm}$

Svislý průhyb převislého konce nosníku:
 $\delta_{lim} = 2L/250 = 2 \cdot 5025/250 = 40,2 \text{ mm}$

Maximální svislé průhyby vypočítané dle programu RFEM v.5.03:

vnitřní pole: $\delta_z = 11,0 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 51,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

převislý konec: $\delta_z = 31,8 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 40,2 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

IPE330:

Svislý průhyb vnitřního pole nosníku:
 $\delta_{lim} = L/250 = 12814/250 = 51,3 \text{ mm}$

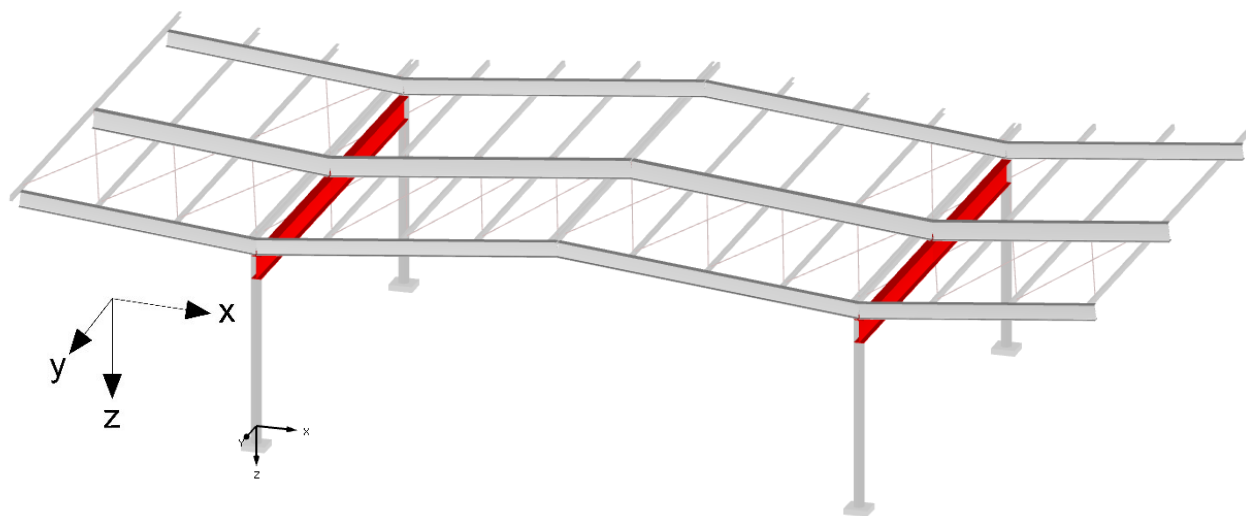
Svislý průhyb převislého konce nosníku:
 $\delta_{lim} = 2L/250 = 2 \cdot 5025/250 = 40,2 \text{ mm}$

Maximální svislé průhyby vypočítané dle programu RFEM v.5.03:

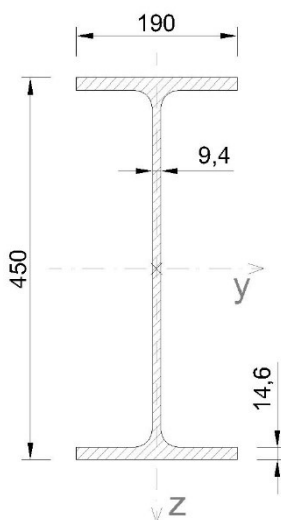
vnitřní pole: $\delta_z = 16,3 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 51,3 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

převislý konec: $\delta_z = 37,0 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 40,2 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$

2.4. PŘÍČEL



Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	450,0	mm
Šířka profilu	b	190,0	mm
Tloušťka stojiny	t_w	9,4	mm
Tloušťka pásnice	t_f	14,6	mm
Plocha průřezu	A	9880,0	mm ²
Moment setrvačnosti	I_y	3,37E+08	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	1,68E+07	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	185,0	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	41,2	mm
Moment tuhosti v kroucení	I_t	67,1E+04	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I_ω	7,91E+11	mm ⁶
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	170,2E+04	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	27,6E+04	mm ³

Rozhodující vnitřní síly na prutu:

Místo x [m]		Síly [kN]				
		N	V _y	V _z	M _y	M _z
0,000	MAX N	39,879	-0,076	48,221	0,000	-0,149
0,000	MIN N	-33,957	-0,286	-19,193	0,000	-0,694
0,000	MAX V _y	17,127	2,362	46,768	0,000	2,467
0,000	MIN V _y	16,098	-2,454	46,925	0,000	-2,611
0,000	MAX V _z	6,947	0,101	58,008	0,000	0,223
5,000	MIN V _z	11,362	0,246	-30,068	-138,960	-0,707
5,000	MAX M _y	6,947	0,101	52,772	276,950	-0,282
5,000	MIN M _y	11,362	0,246	-30,068	-138,960	-0,707
0,000	MAX M _z	17,127	2,362	46,768	0,000	2,467
0,000	MIN M _z	16,098	-2,454	46,925	0,000	-2,611

Klasifikace průřezu:

- ohýbaný průřez

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

stojina: $\frac{c}{t} = \frac{378,8}{9,4} = 40,30 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \times 1,0 = 72 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{69,3}{14,6} = 4,75 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \times 1,0 = 9 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$

Třída průřezu 1

- **Posouzení na smyk (6.2.6)**

$V_{ed} = 58,01 \text{ kN}$

Smyková plocha:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 9880 - 2 \cdot 190 \cdot 14,6 + (9,4 + 2 \cdot 21) \cdot 14,6 = 5082,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{5082,4 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 689,57 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{58,01}{689,57} = 0,084 \leq 1,0 \text{ (8,4\%, dle RFEM 8\%)}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\leq 0,5$$

⇒ VYHOVÍ

Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

- **Posouzení na ohyb a osovou sílu (6.3.3), se ztrátou stability**

Pro výpočet jsou uvažovány dvě kombinace dle příslušného extrému vnitřních sil. Při stavu kombinace C1 se uvažuje zatížení působící ve směru kladné osy z (dolů) a při stavu kombinace C2 se uvažuje s vlivem sání větru.

C1: $M_{y,Ed} = 276,95 \text{ kNm}$
 $M_{z,Ed} = -0,282 \text{ kNm}$
 $N_{Ed} = 6,95 \text{ kN}$

C2: $M_{y,Ed} = -138,96 \text{ kNm}$
 $M_{z,Ed} = -0,707 \text{ kNm}$
 $N_{Ed} = 11,36 \text{ kN}$

- Rovinný vzpěr – osa y-y (křivka vzpěrné pevnosti a $\Rightarrow \alpha=0,21$):

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10,0}{0,185} \cdot \frac{1}{93,9} = 0,576$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,21(0,576 - 0,2) + 0,576^2] = 0,71$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,576^2}} = 0,89$$

- Rovinný vzpěr – osa z-z (křivka vzpěrné pevnosti b $\Rightarrow \alpha=0,34$):

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5,0}{0,0412} \cdot \frac{1}{93,9} = 1,29$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,34(1,29 - 0,2) + 1,29^2] = 1,52$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,52 + \sqrt{1,52^2 - 1,29^2}} = 0,43$$

- Prostorový vzpěr (křivka vzpěrné pevnosti b $\Rightarrow \alpha=0,34$):

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 204^2 + 43,1^2 + 0 + 0 = 35922 \text{ mm}^2$$

$$N_{cr,TF} = \frac{1}{i_0^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L_{cr,TF}^2} \right) = \frac{1}{0,035922} \left(81 \cdot 10^6 \cdot 6,71 \cdot 10^{-7} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 7,91 \cdot 10^{-7}}{5,0^2} \right) = 3339 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{0,00988 \cdot 235 \cdot 10^3}{3339}} = 0,83$$

$$\phi_T = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,5[1 + 0,34(0,83 - 0,2) + 0,83^2] = 0,95$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{0,95 + \sqrt{0,95^2 - 0,83^2}} = 0,71$$

- Klopení – osa y-y (křivka klopení c $\Rightarrow \alpha_{LT}=0,49$):

	C1:	C2:
$L_{LT} =$	5,0 m	10,0 m
$k_y = k_z = k_w =$	1,0	1,0
$C_1 =$	1,85 (dle NB.3.1)	1,36 (dle NB.3.2)
$C_2 =$	0	0,55 (dle NB.3.2)
$C_3 =$	0	0
$z_g =$	0,225 m	-0,225 m

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \quad \zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

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

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Stanovení součinitele klopení:

	K_{wt}	ζ_g	μ_{cr}	M_{cr}	$\bar{\lambda}_{LT}$	ϕ_{LT}	χ_{LT}
STAV	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[-]
C1	1,098	-	2,747	755,80	0,727	0,778	0,95
C2	0,549	-0,569	1,609	221,35	1,343	1,410	0,54

○ Součinitele interakce (dle tab. B2):

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

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

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz}$$

$$k_{zy} = 0,6 k_{yy}$$

$$k_{yy} = 0,9$$

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

$$k_{yz} = 0,567$$

$$k_{zy} = 1,0$$

○ Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rk} = A f_y = 0,00988 \cdot 235 \cdot 10^3 = 2321,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} f_y = 0,001702 \cdot 235 \cdot 10^3 = 400,0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} f_y = 2,76 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 64,9 \text{ kNm}$$

○ Posouzení:

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

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

C1:

$$\frac{6,95}{0,89 \cdot 2321,8} + 0,9 \frac{276,95}{0,95 \cdot 400} + 0,567 \frac{0,282}{64,9} = 0,66 \leq 1,0 \text{ (66\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{1,0}{0,89 \cdot 2321,8} + 1,0 \frac{276,95}{0,95 \cdot 400} + 0,945 \frac{0,282}{64,9} = 0,74 \leq 1,0 \text{ (74\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

(dle RFEM 76%)

C2:

$$\frac{11,36}{0,43 \cdot 2321,8} + 0,9 \frac{138,96}{0,54 \cdot 400} + 0,567 \frac{0,707}{64,9} = 0,60 \leq 1,0 \text{ (60\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{1,0}{0,43 \cdot 2321,8} + 1,0 \frac{138,96}{0,54 \cdot 400} + 0,945 \frac{0,707}{64,9} = 0,67 \leq 1,0 \text{ (67\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

(dle RFEM 69%)

2.4.1. MSP

Dovolené limitní průhyby příčle pro charakteristickou kombinaci zatížení:

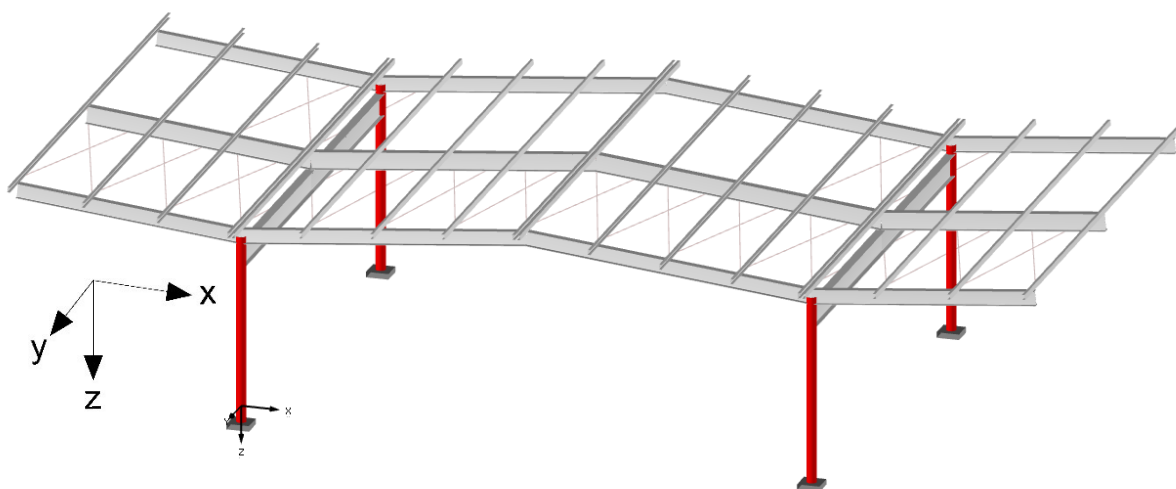
Limitní průhyb nosníku:

$$\delta_{lim} = L/250 = 10000/250 = 40,0 \text{ mm}$$

Maximální průhyby vypočítané dle programu RFEM v.5.03:

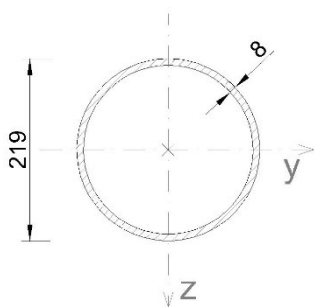
$$\delta = 22,8 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 40,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.5. SLOUP



Uložení krajních vazníků a příčle na sloup je řešeno jako kloubový přípoj. V patě je sloup tedy řešen staticky jako vetknutý a to prostorově. Zatížení se prostřednictvím sloupu přenáší do základové ŽB patky. Návrh této patky není součástí tohoto statického výpočtu.

Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	219,0	mm
Tloušťka stěny	s	8,0	mm
Plocha průřezu	A	5303,0	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	295,5E+05	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	74,7	mm
Moment tuhosti v kroucení	I _t	591,1E+05	mm ⁴
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	356,3E+03	mm ³

Rozhodující vnitřní síly na prutu:

Místo x [m]		Síly [kN]				
		N	V _y	V _z	M _y	M _z
4,200	MAX N	71,696	7,464	-0,156	0,000	0,000
0,000	MIN N	-139,020	4,472	-0,244	1,023	18,782
0,000	MAX V _y	37,844	7,480	-0,044	0,184	31,416
0,000	MIN V _y	42,417	-0,160	3,963	-16,644	-0,674
0,000	MAX V _z	-124,950	0,114	4,351	-18,273	0,478
0,000	MIN V _z	-101,620	-0,002	-0,424	1,780	-0,009
0,000	MAX M _y	-101,620	-0,002	-0,424	1,780	-0,009
0,000	MIN M _y	-124,950	0,114	4,351	-18,273	0,478
0,000	MAX M _z	37,844	7,480	-0,044	0,184	31,416
0,000	MIN M _z	42,417	-0,160	3,963	-16,644	-0,674

Klasifikace průřezu:

- ohýbaný a tlačенý průřez

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

$$\frac{d}{t} = \frac{378,8}{9,4} = 40,30 \leq 50 \cdot \epsilon^2 = 50 \times 1,0^2 = 50 \Rightarrow \text{TŘ. 1}$$

Třída průřezu 1

- **Posouzení na smyk (6.2.6)**

$$V_{ed} = 7,48 \text{ kN}$$

Smyková plocha:

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \cdot 2631,5}{\pi} = 1675,26 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1675,26 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 227,30 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{7,48}{227,30} = 0,033 \leq 1,0 \text{ (3,3\%, dle RFEM 2\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\leq 0,5 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Můžeme zanedbat vliv na ohybovou únosnost průřezu.

- **Posouzení na tah (6.2.3)**

$$N_{ed} = 71,70 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2631,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 618,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{71,70}{618,4} = 0,12 \leq 1,0 \text{ (12\%, dle RFEM 11\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení na ohyb a osovou sílu (6.3.3), se ztrátou stability**

$$M_{y,Ed} = 0,184 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 31,416 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -128,500 \text{ kN}$$

- Rovinný vzpěr – osa y-y (z-z) (křivka vzpěrné pevnosti a $\Rightarrow \alpha=0,21$):

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{8,4}{0,0747} \cdot \frac{1}{93,9} = 1,198$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,21(1,198 - 0,2) + 1,198^2] = 1,322$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,322 + \sqrt{1,322^2 - 1,198^2}} = 0,53$$

- Součinitele interakce (dle tab. B1):

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

$$k_{yz} = k_{zy} = 0,6 k_{yy}$$

$$k_{yy} = 0,693$$

$$k_{zz} = 0,693$$

$$k_{yz} = 0,416$$

$$k_{zy} = 0,416$$

- Návrhové hodnoty únosnosti:

$$N_{Rk} = A f_y = 5303 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 = 1246,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = W_{pl,y} f_y = 356,3 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 = 83,73 \text{ kNm}$$

- Posouzení:

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

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

$$\frac{128,5}{0,53 \cdot 1246,2} + 0,693 \frac{0,184}{83,73} + 0,416 \frac{31,416}{83,73} = 0,35 \leq 1,0 \text{ (35\%)}$$

\Rightarrow VYHOVÍ

$$\frac{128,5}{0,53 \cdot 1246,2} + 0,416 \frac{0,184}{83,73} + 0,693 \frac{31,416}{83,73} = 0,46 \leq 1,0 \text{ (46\%)}$$

(dle RFEM 45%) \Rightarrow VYHOVÍ

2.5.1. MSP

Dovolené limitní průhyby sloupu pro charakteristickou kombinaci zatížení:

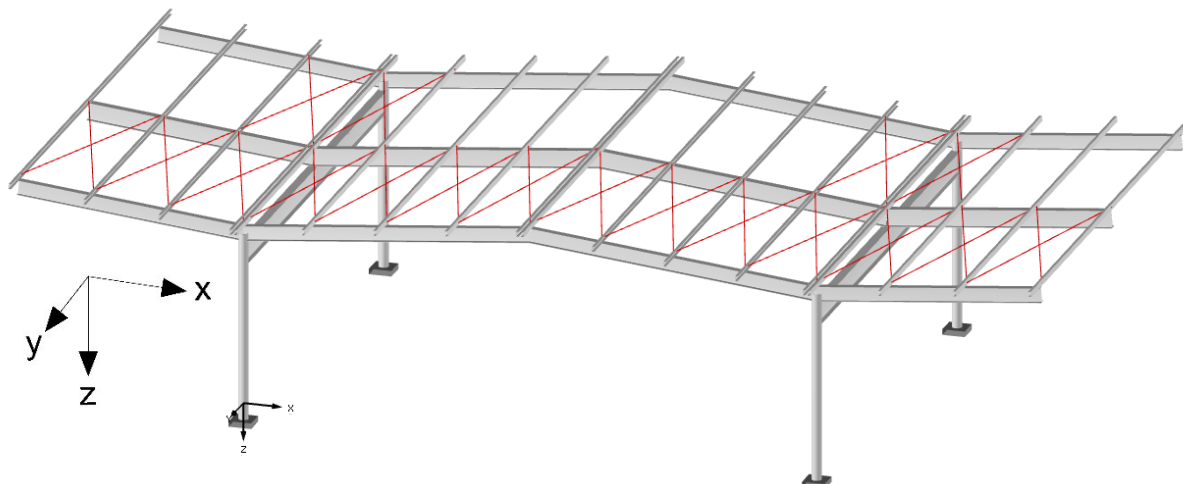
Limitní průhyb sloupu:

$$\delta_{lim} = 2L/300 = 2 \cdot 4,2/300 = 28,0 \text{ mm}$$

Maximální průhyby vypočítané dle programu RFEM v.5.03:

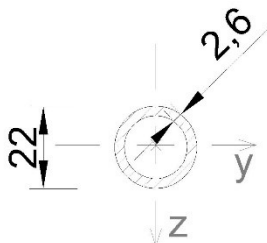
$$\delta = 22,2 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 28,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.6. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO



Ztužidla jsou připojena k styčnickovým plechům v rovině střešních vaznic a to v jejich těžištní ose. Funkce ztužidel je zajišťovat stabilitu konstrukce jak v podélném, tak v příčném směru od účinku tlaku větru na plochu nosníků. Ztužidla jsou uvažovány jako pruty, které přenáší pouze účinky normálových osových sil a to tahové. Vzpěrná stabilita prutů není zajištěna a je tak připuštěna ztráta stability při působení osového tlaku.

Průřezové charakteristiky:



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	22,0	mm
Tloušťka stěny	s	2,6	mm
Plocha průřezu	A	158,5	mm ²
Poloměr setrvačnosti	i_y	6,9	mm

$$N_{ed} = 11,45 \text{ kN}$$

- **Štíhlost prutu:**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2,64}{0,0069} = 383 \leq \lambda_{lim} = 400$$

⇒ VYHOVÍ

- **Posouzení na tah (6.2.3):**

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{158,5 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 37,25 \text{ kN}$$

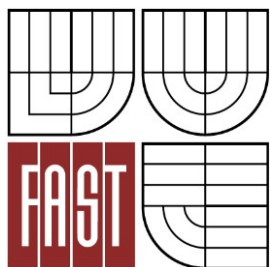
$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{11,45}{37,25} = 0,31 \leq 1,0 \text{ (31\%, dle RFEM 31\%)}$$

⇒ VYHOVÍ

Rozhodující posudek pro návrh profilu ztužidla je štíhlost prutu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ČÁST 2.3 : **NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ**
PART 2.3 JOINTS DESIGN AND ASSESSMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN OČADLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015

Obsah:	str.
1. VAZNICE	2
1.1. PŘIPOJENÍ VAZNICE K VAZNÍKU	2
2. VAZNÍK	3
2.1 PŘIPOJENÍ VAZNÍKU K PŘÍČLI (SLOUPU)	3
2.2 MONTÁŽNÍ SPOJ VAZNÍKU IPE330	6
2.3 MONTÁŽNÍ SPOJ VAZNÍKU IPE400	8
3. PŘÍČEL	10
3.1 PŘIPOJENÍ PŘÍČLE KE STĚNĚ SLOUPU	10
4. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO	12
3.1 PŘÍPOJ ZTUŽIDLA	12
5. PATKA SLOUPU	14
5.1 STANOVENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	15
5.2 POSOUZENÍ BETONU	17
5.3 POSOUZENÍ ŠROUBU	17
5.4 NÁVRH PATNÍHO PLECHU	17
5.5 POSOUZENÍ PRŮŘEZU PATKY	18

1. VAZNICE

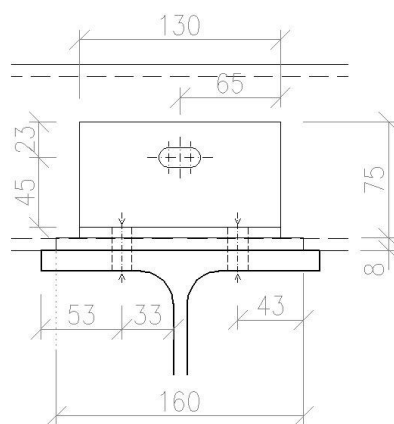
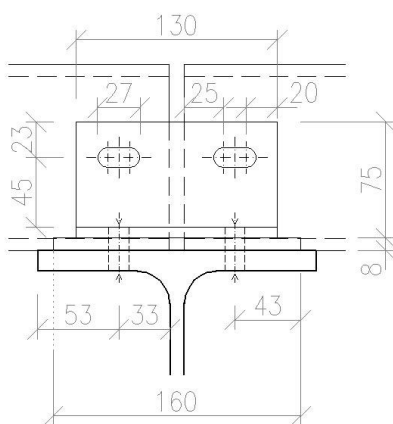
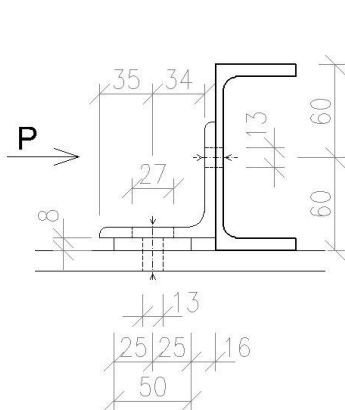
1.1 PŘIPOJENÍ VAZNICE K VAZNÍKU

Jedná se o kloubový spoj, kde je vaznice přišroubována v místě své stojiny k příložce z L profilu. Tato příložka není pevně přivařena k vazníku, ale bude pomocí šroubů připojena k ocelovému pásu, který je součástí vazníku. S použitím prodloužených děr pro šrouby bude takto možné rektifikovat a přesně osadit vaznici a to v obou směrech.

UPE 120 > IPE330 (400)

POHLED P
STŘEDNÍ VAZNÍK

POHLED P
KRAJNÍ VAZNÍK



Posuzované vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 10,33 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,22 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 7,03 \text{ kN}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{10,33^2 + 7,03^2} = 12,50 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 1,22 \text{ kN}$$

• Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

M12-5.6	$f_{y,b}$	= 300 MPa
	$f_{u,b}$	= 500 MPa
	d_0	= 13 mm
	A	= 113 mm ²
	A_s	= 84,3 mm ²

Únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 30,35 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,513 \cdot 0,012 \cdot 0,0055 \cdot 360 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} = \underline{24,38 \text{ kN}}$$

$$\leq F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 \cdot 0,012 \cdot 0,0055 \cdot 360 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} = 28,51 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{20}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,61; 2,5\} = 2,5$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,513; \frac{500}{360}; 1,0 \right\} = 0,513$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{20}{3 \cdot 13} = 0,513$$

Posouzení:

Kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{12,50}{20,23} + \frac{1,22}{1,4 \cdot 30,35} = \mathbf{0,65 \leq 1,0 \quad (65\%)} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otláčení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{12,50}{24,38} = \mathbf{0,51 \leq 1,0 \quad (51\%)} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru příločky k vazníku:

Koutový svar:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 50 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{V_{z,Ed} + N_{Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{10,33 \cdot 10^{-3} + 7,03 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,05} = 57,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 57,87 \cdot \cos 45^\circ = 40,92 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{y,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,05} = 4,07 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

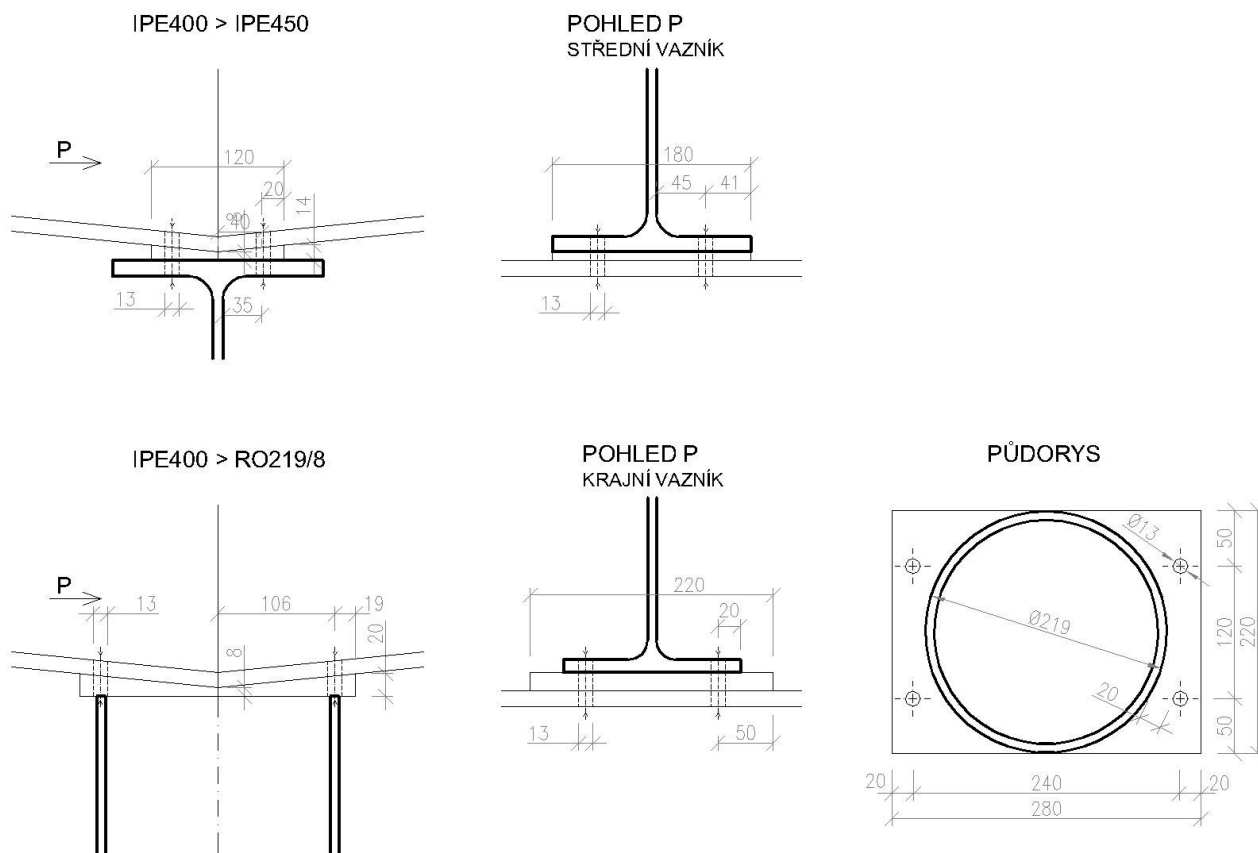
$$\sqrt{40,92^2 + 3(40,92^2 + 4,07^2)} = \mathbf{82,14 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = \mathbf{360 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\sigma_{\perp} = 40,92 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = \mathbf{288 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2. VAZNÍK

2.1 PŘIHOJENÍ VAZNÍKU K PŘÍČLI (SLOUPU)

Jedná se o kloubový spoj, kde je vazník přišroubovaný v místě své dolní pásnice kстыčnickovému plechu. Tento plech musí být po délce proměnného průřezu z důvodu vyrovnání sklonu zalomení vazníku. Posuzováno pro střední vazník připojený k příčli. Pro krajní vazník bude použitý stejný návrh šroubů.



Posuzované vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 93,69 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 4,53 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4,99 \text{ kN}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$F_{t,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{93,69}{4} = 23,42 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 4,99 \text{ kN}$$

• Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

M12-5.6	$f_{y,b}$	= 300 MPa
	$f_{u,b}$	= 500 MPa
	d_o	= 13 mm
	d_m	= 20,5 mm
	A	= 113 mm ²
	A_s	= 84,3 mm ²

Únosnost šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 30,35 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,513 \cdot 0,012 \cdot 0,0115 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 50,97 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{20}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,61; 2,5\} = 2,5$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,513; \frac{500}{360}; 1,0 \right\} = 0,513$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{20}{3 \cdot 13} = 0,513$$

Únosnost šroubu v protlačení:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 0,0205 \cdot 0,018 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 200,32 \text{ kN}$$

Posouzení:

Kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4,99}{20,23} + \frac{23,42}{1,4 \cdot 30,35} = 0,80 \leq 1,0 \quad (80\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otačení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{4,99}{50,97} = 0,10 \leq 1,0 \quad (10\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Protlačení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{23,42}{200,32} = 0,12 \leq 1,0 \quad (12\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru plechu k příčli:

Koutový svar:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

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

$$\sigma_M = \frac{V_{z,Ed} + V_{y,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{93,69 \cdot 10^{-3} + 4,53 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,12} = 102,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 102,31 \cdot \cos 45^\circ = 72,35 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{4,99 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,05} = 5,20 \text{ MPa}$$

Posouzení:

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

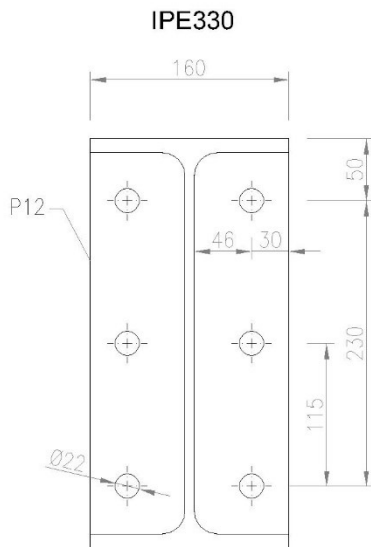
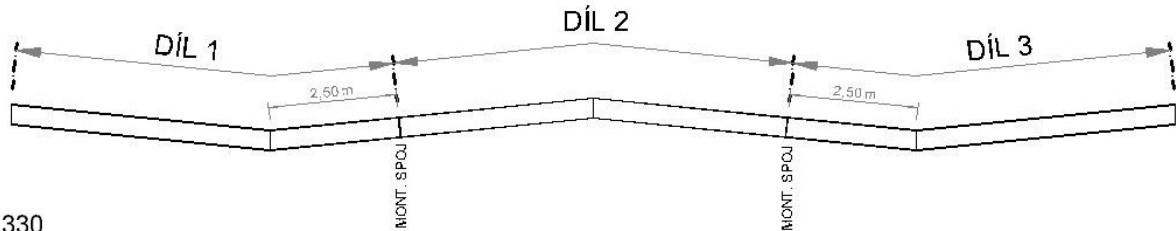
$$\sqrt{72,35^2 + 3(72,35^2 + 5,20^2)} = 144,98 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\sigma_{\perp} = 72,35 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Účinná délka svaru v přípoji plechu ke sloupu je 688 mm (ovaření po obvodu) a není tedy nutné posuzovat napětí samostatně, spoj vyhoví.

2.2 MONTÁŽNÍ SPOJ VAZNÍKU IPE330

Z důvodu přepravy vazníku na stavbu je nutné ho vyrobit ve třech kusech. Spoj bude proveden se šrouby vysoké pevnosti, kde budou k sobě sešroubovány čelní desky jednotlivých částí vazníku. Celý dílec pak bude vztyčen na určené místo v konstrukci jako celek.



Posuzované vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 26,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 31,29 \text{ kN}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{r1}}{2 \sum r_i^2} = \frac{M_{y,Ed} \cdot r_1}{2 \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)} = \frac{31,29 \cdot 0,23}{2 \cdot (0,23^2 + 0,115^2)} = 54,41 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{n} = \frac{26,84}{6} = 4,47 \text{ kN}$$

• Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

M20-8.8	$f_{y,b}$	= 640 MPa
	$f_{u,b}$	= 800 MPa
	d_0	= 22 mm
	d_m	= 32,3 mm
	A	= 314 mm ²
	A_s	= 245 mm ²

Únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,76 \cdot 0,02 \cdot 0,012 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 111,37 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{30}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{ 2,12; 2,5 \} = 2,12$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,76; \frac{800}{360}; 1,0 \right\} = 0,76$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0,76$$

Páčení (dle ČSN 73 1401):

$$t = 12 \text{ mm} \leq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{bd^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{46 \cdot 20^2}{30}} = 36,5 \Rightarrow \text{uvažuje se vliv páčení}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{36,5^3 - 12^3}{20^2} = 1,59$$

=> zvýšení hodnoty návrhové tahové síly součinitelem γ_p

$$F_{t,Sd} = \gamma_p \cdot F_{t,Ed} = 1,59 \cdot 54,41 = 86,51 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v protlačení:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 0,0323 \cdot 0,012 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 210,42 \text{ kN}$$

Posouzení:

Tah:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{86,51}{141,12} = \mathbf{0,61} \leq \mathbf{1,0} \quad (\mathbf{61\%}) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4,47}{94,08} + \frac{86,51}{1,4 \cdot 141,12} = \mathbf{0,49} \leq \mathbf{1,0} \quad (\mathbf{49\%}) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otlačení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{4,47}{111,37} = \mathbf{0,04} \leq \mathbf{1,0} \quad (\mathbf{4,0\%}) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Protlačení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{86,51}{210,42} = \mathbf{0,41} \leq \mathbf{1,0} \quad (\mathbf{41\%}) \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru čelní desky:

- Posouzení svaru stojiny:

Koutový svar:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 290 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{26,84 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,290} = 11,57 \text{ Mpa}$$

moment setrvačnosti svaru:

$$I_w = 2 \cdot (1/12 \cdot 160 \cdot 4^3 + 160 \cdot 4 \cdot 170^2) + 4 \cdot (1/12 \cdot 75 \cdot 4^3 + 75 \cdot 4 \cdot 150^2) + 2 \cdot (1/12 \cdot 4 \cdot 290^3) = 80,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{31,29 \cdot 10^6}{80,25 \cdot 10^6} \cdot 150 = 58,49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 58,49 \cdot \cos 45^\circ = 41,36 \text{ Mpa}$$

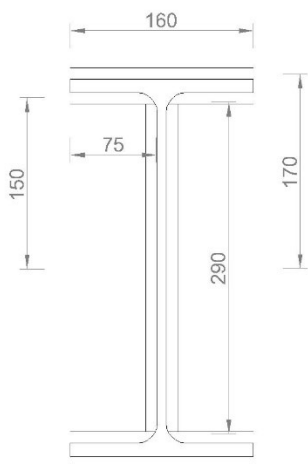
Posouzení:

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

$$\sqrt{41,36^2 + 3(41,36^2 + 11,57^2)} = \mathbf{85,11 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = \mathbf{360 \text{ Mpa}}$$

=> VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = \mathbf{41,36 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = \mathbf{288 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$



- o Posouzení svaru pásnice:

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{31,29 \cdot 10^6}{80,25 \cdot 10^6} \cdot 170 = 66,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 66,28 \cdot \cos 45^\circ = 46,87 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{46,87^2 + 3 \cdot 46,87^2} = 93,74 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\sigma_{\perp} = 46,87 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

2.3 MONTÁŽNÍ SPOJ VAZNÍKU IPE400

Posuzované vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 35,72 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 54,88 \text{ kN}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$F_{t,Ed} = \frac{M r_1}{2 \sum r_i^2} = \frac{M_{y,Ed} \cdot r_1}{2 \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)} = \frac{54,88 \cdot 0,3}{2 \cdot (0,3^2 + 0,2^2 + 0,1^2)} = 58,80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{n} = \frac{35,72}{8} = 4,47 \text{ kN}$$

- Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

M20-8.8	$f_{y,b}$	= 640 MPa
	$f_{u,b}$	= 800 MPa
	d_0	= 22 mm
	d_m	= 32,3 mm
	A	= 314 mm ²
	A_s	= 245 mm ²

Únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3}{1,25} = 141,12 \text{ kN}$$

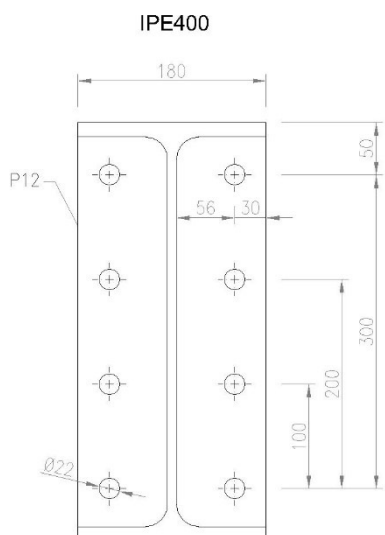
Únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,76 \cdot 0,02 \cdot 0,012 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 111,37 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{30}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{ 2,12; 2,5 \} = 2,12$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,76; \frac{800}{360}; 1,0 \right\} = 0,76$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0,76$$



Páčení (dle ČSN 73 1401):

$$t = 12 \text{ mm} \leq t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{bd^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{56 \cdot 20^2}{30}} = 39 \Rightarrow \text{uvažuje se vliv páčení}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{39^3 - 12^3}{20^2} = 1,72$$

=> zvýšení hodnoty návrhové tahové síly součinitelem γ_p

$$F_{t,Sd} = \gamma_p \cdot F_{t,Ed} = 1,72 \cdot 58,80 = 101,14 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v protlačení:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 0,0323 \cdot 0,012 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 210,42 \text{ kN}$$

Posouzení:

Tah:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{101,14}{141,12} = \mathbf{0,72 \leq 1,0 \quad (72\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4,47}{94,08} + \frac{101,14}{1,4 \cdot 141,12} = \mathbf{0,56 \leq 1,0 \quad (56\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otlačení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{4,47}{111,37} = \mathbf{0,04 \leq 1,0 \quad (4\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Protlačení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{101,14}{210,42} = \mathbf{0,48 \leq 1,0 \quad (48\%)} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru čelní desky:

- Posouzení svaru stojiny:

Koutový svar:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 360 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{35,72 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,360} = 12,40 \text{ Mpa}$$

moment setrvačnosti svaru:

$$I_w = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 4^3 + 180 \cdot 4 \cdot 205^2 \right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 85 \cdot 4^3 + 85 \cdot 4 \cdot 185^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 360^3 \right) = 138,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{54,88 \cdot 10^6}{138,17 \cdot 10^6} \cdot 205 = 81,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 81,42 \cdot \cos 45^\circ = 57,58 \text{ Mpa}$$

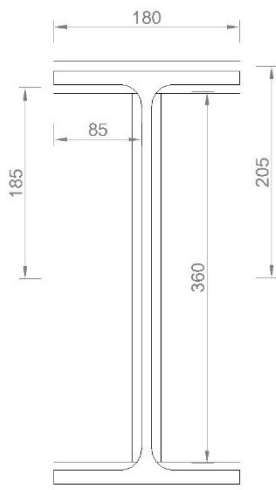
Posouzení:

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

$$\sqrt{57,58^2 + 3(57,58^2 + 12,40^2)} = \mathbf{117,15 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = \mathbf{360 \text{ Mpa}}$$

=> VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = \mathbf{57,58 \text{ Mpa}} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = \mathbf{288 \text{ Mpa}} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$



- o Posouzení svaru pásnice:

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{54,88 \cdot 10^6}{138,17 \cdot 10^6} \cdot 205 = 81,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 81,42 \cdot \cos 45 = 57,58 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{57,58^2 + 3 \cdot 57,58^2} = 115,16 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\sigma_{\perp} = 57,58 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

3. PŘÍČEL

3.1 PŘIPOJENÍ PŘÍČLE KE STĚNĚ SLOUPU

Jedná se o kloubový spoj, kde je příčel přišroubovaná ke krátké konzole vystupující v horní části sloupu. Tato konzola je ze stejného profilu jako příčel a je ke sloupu přivařena již ve výrobě.

Posuzované vnitřní síly:

$$V_{z,Ed} = 54,67 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 14,43 \text{ kN} \text{ (pro posouzení svaru konzoly)}$$

$$N_{Ed} = 24,55 \text{ kN}$$

Návrhové vnitřní síly:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{4} = \frac{24,55}{4} = 6,14 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{54,67}{4} = 13,67 \text{ kN}$$

- Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

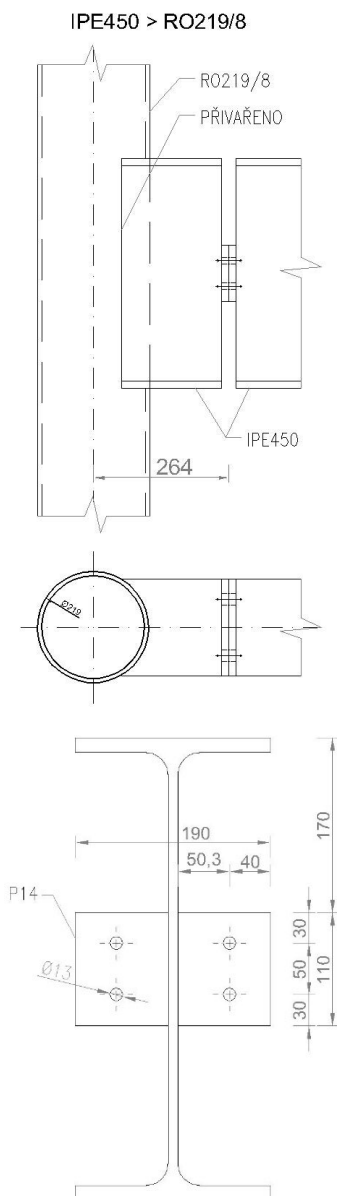
M12-5.6	$f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$
	$f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$
	$d_o = 13 \text{ mm}$
	$d_m = 20,5 \text{ mm}$
	$A = 113 \text{ mm}^2$
	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$

Únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3}{1,25} = 30,35 \text{ kN}$$



Únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 0,012 \cdot 0,014 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 120,96 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{40}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{6,9; 2,5\} = 2,5$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 1,28; \frac{500}{360}; 1,0 \right\} = 1,0$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \cdot 13} = 1,28$$

Únosnost šroubu v protlačení:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 0,0205 \cdot 0,014 \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 155,80 \text{ kN}$$

Posouzení:

Tah:

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{6,14}{30,35} = 0,20 \leq 1,0 \quad (20\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{13,67}{20,23} + \frac{6,14}{1,4 \cdot 30,35} = 0,82 \leq 1,0 \quad (82\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otláčení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{13,67}{120,96} = 0,11 \leq 1,0 \quad (11\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Protlačení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{6,14}{155,8} = 0,04 \leq 1,0 \quad (4\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru čelní desky:

Koutový svar:

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

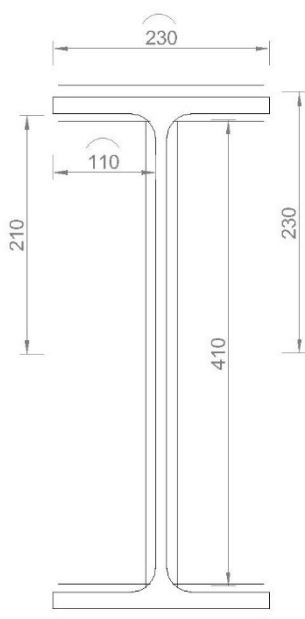
$$l_w = 200 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{54,67 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,005 \cdot 0,20} = 27,33 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

$$\sqrt{3\tau_{||}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot 27,33^2} = 47,34 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$



- Návrh a posouzení svaru konzoly ke sloupu:

- Posouzení svaru stojiny:

Koutový svar:

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 410 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot A_w} = \frac{54,67 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,410} = 16,67 \text{ Mpa}$$

moment setrvačnosti svaru:

$$I_w = 2 \cdot (1/12 \cdot 230 \cdot 4^3 + 230 \cdot 4 \cdot 230^2) + 4 \cdot (1/12 \cdot 110 \cdot 4^3 + 110 \cdot 4 \cdot 210^2) + 2 \cdot (1/12 \cdot 4 \cdot 410^3) = 220,90 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{14,43 \cdot 10^6}{220,9 \cdot 10^6} \cdot 205 = 13,39 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 13,39 \cdot \cos 45^\circ = 9,47 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{9,47^2 + 3(9,47^2 + 16,67^2)} = 34,53 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = 9,47 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Posouzení svaru pásnice:

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z = \frac{14,43 \cdot 10^6}{220,9 \cdot 10^6} \cdot 230 = 15,02 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 15,02 \cdot \cos 45^\circ = 10,62 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{10,62^2 + 3 \cdot 10,62^2} = 21,24 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = 10,62 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

4. STŘEŠNÍ ZTUŽIDLO

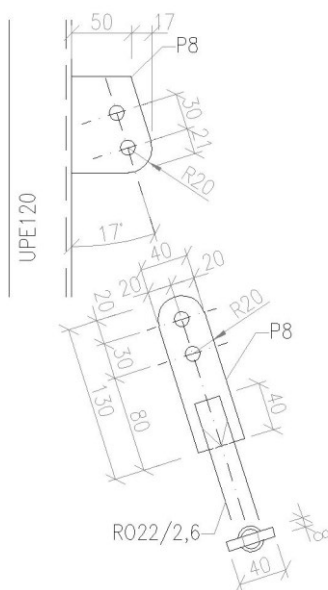
3.1 PŘÍPOJ ZTUŽIDLA

Ztužidlo bude připojené ke styčnickovému plechu pomocí jednoho šroubu. Styčnickový plech bude přivařen ke stojině vaznice UPE120 v její horní části tak, aby byl možný přístup k montáži vůči uloženému trapézovému plechu. Ztužidlo bude rozděleno v polovině své délky mezilehlým plechem, na který budou v jednom směru pruty přivařeny a ve druhém přišroubovány, viz informativní obrázek.

Posuzované vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 11,45 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = N_{Ed} / 2 = 5,73 \text{ kN}$$



Návrh a posouzení šroubového spoje:

Dimenze šroubu:

M12-5.6	$f_{y,b}$	= 300 MPa
	$f_{u,b}$	= 500 MPa
	d_0	= 13 mm
	A	= 113 mm ²
	A_s	= 84,3 mm ²

Únosnost šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3}{1,25} = 20,23 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,513 \cdot 0,012 \cdot 0,008 \cdot 360 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} = 35,46 \text{ kN}$$

$$\leq F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 \cdot 0,012 \cdot 0,008 \cdot 360 \cdot 10^3}{\gamma_{M2}} = 41,47 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{20}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{ 2,61; 2,5 \} = 2,5$$

$$a_b = \min \left\{ \alpha_d \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \left\{ 0,513; \frac{500}{360}; 1,0 \right\} = 0,513$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{20}{3 \cdot 13} = 0,513$$

Posouzení:

Střih:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{5,73}{20,23} = 0,28 \leq 1,0 \quad (28\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Otláčení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{5,73}{35,46} = 0,16 \leq 1,0 \quad (16\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Návrh a posouzení svaru ztužidla a připojovacího plechu:

Koutový svar:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 40 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot A_w} = \frac{11,45 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,003 \cdot 0,04} = 23,85 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{3 \cdot 23,85^2} = 41,31 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa}$$

⇒ VYHOVÍ

- Návrh a posouzení svaru styčnickového plechu:

Koutový svar:

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 80 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{N_{Ed} \cdot \sin 18}{2 \cdot A_w} = \frac{11,45 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 18}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,08} = 7,37 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_M \cdot \cos 45^\circ = 7,37 \cdot \cos 45^\circ = 5,21 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed} \cdot \cos 18}{2 \cdot A_w} = \frac{11,45 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 18}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,08} = 22,69 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{5,21^2 + 3(5,21^2 + 22,69^2)} = 24,97 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = 5,21 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

• Posouzení průřezu přípojovacího plechu:

$$A = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = 2 \cdot 13,5 \cdot 8 = 216 \text{ mm}^2$$

neoslabený průřez:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{320 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 75,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{11,45}{75,20} = 0,15 \leq 1,0 \quad (15\%)$$

⇒ VYHOVÍ

oslabený průřez:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 216 \cdot 10^{-6} \cdot 360 \cdot 10^3}{1,25} = 55,99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{11,45}{55,99} = 0,20 \leq 1,0 \quad (20\%)$$

⇒ VYHOVÍ

5. PATKA SLOUPU

Návrh patky sloupu a typ kotvení vychází z její funkce přenést ohybové momenty z dřívku sloupu do základové ŽB patky a to v obou směrech. Patka je tedy staticky řešena jako prostorově vetknutá. K zajištění tuhosti vetknutí bude příčný profil patky vyztužen příčnými výztuhami dle nákresu. Přenos sil do betonové konstrukce zajišťují šrouby s kotevní hlavou, které budou osazeny již při betonáži ŽB patky. Při návrhu i provádění je nutno respektovat montážní toleranci ± 20 mm, při použití šablony s osazenými šrouby, tzn. velikost otvoru pro prostup šroubu patním plechem = $d + 40$ mm. Jako materiál šroubu bude použita ocel jakosti S235 a průměr šroubu M36x3 v počtu 6 kusů rovnoměrně rozložených po obvodu patního plechu. Počet šroubů zajišťuje tuhost patky ve vetknutí i celkovou bezpečnost kotvení.

Vnitřní síly – 2 návrhové kombinace:

C1: $M_{Ed} = 31,32 \text{ kNm}$	C1: $M_{Ed} = 18,27 \text{ kNm}$
$N_{Ed} = -139,02 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 68,76 \text{ kN}$
$V_{Ed} = 7,46 \text{ kN}$	$V_{Ed} = 0,21 \text{ kN}$

• Návrhové hodnoty:

- Betonová patka 800x800 mm
beton C12/15

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{12}{1,5} = 8 \text{ Mpa}$$

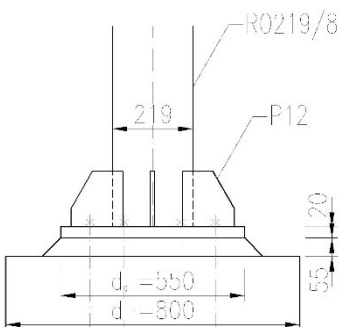
- Podlité cementovou nesmrštlivou vysokopevnostní závlčkovou maltou

$$\text{tloušťka vrstvy } t_g = 55 \text{ mm} \quad (t_g \geq 0,1 \cdot d = 0,1 \cdot 550 = 55 \text{ mm})$$

$$(t_g \leq 0,2 \cdot d = 0,2 \cdot 550 = 100 \text{ mm})$$

$$f_{md} = \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = \frac{82}{1,5} = 54,7 \text{ Mpa}$$

$$f_{md} = 54,7 \text{ Mpa} \geq 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ MPa}$$



- Návrhová pevnost betonu pod patkou:

Započitatelné rozměry patky:

$$d_1 = \min (A_{\text{patky}}; 5 \cdot d_0; d_0 + h_{\text{patky}}) = \min (640000; 2500; 1300) = 1300 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{A_1}{A_0}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot \frac{d_1^2}{4}}{\pi \cdot \frac{d_0^2}{4}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot \frac{1300^2}{4}}{\pi \cdot \frac{550^2}{4}}} = 2,6$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 2,6 \cdot 8 = \mathbf{13,87 \text{ Mpa}}$$

$$\beta_j = 2/3 \Rightarrow (f_{md} = 54,7 \text{ Mpa} \geq 0,2 \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 8 = 1,6 \text{ MPa})$$

- Efektivní průřez patky a jeho posouzení:

Funkční přesah desky:

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} = 30 \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 13,87 \cdot 1,0}} = 71,3 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 0,167503 \text{ mm}^2 \geq \frac{N_{Ed}}{f_{jd}} = \frac{139,02}{13870} = 0,01002 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.1 STANOVENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \Rightarrow c/d \Rightarrow \xi \text{ (dle grafu)} \Rightarrow x = \xi \cdot d$$

dle rovnováhy vnitřních sil ve styčnicku:

$$T_b = \frac{N_{Ed}c_0}{r}, \text{ pro kombinaci C1.1 a C1.2}$$

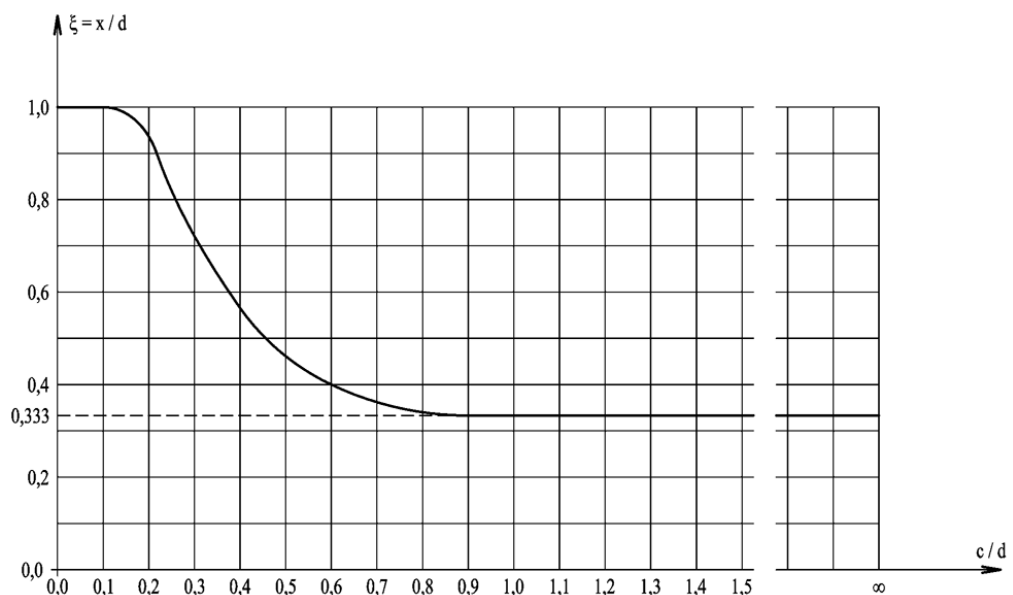
a pomocí sestavení soustav rovnic s neznámými Z1, Z2 a Tb

pro kombinaci C2.1 a C2.2

maximální napětí v betonu: $\sigma_{b,max} = 2T_b/xd_0$

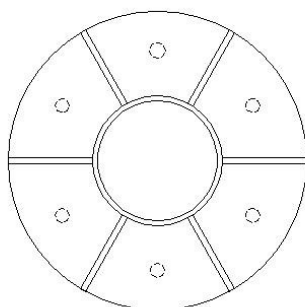
kotevní síla na jeden šroub: $F_{t,Ed} = Z \cdot 1,2$, kde

součinitel 1,2 znázorňuje vliv montážní tolerance $\pm 20 \text{ mm}$ a tím vzniklé excentricity na šroub.

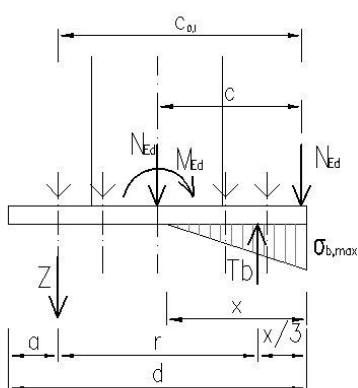
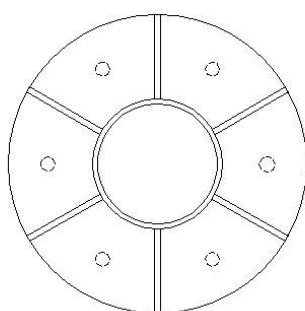


Graf pro odečtení parametru ξ .

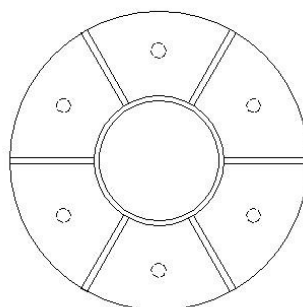
TLAKOVÁ NORM. SÍLA
KOMBINACE C1.2



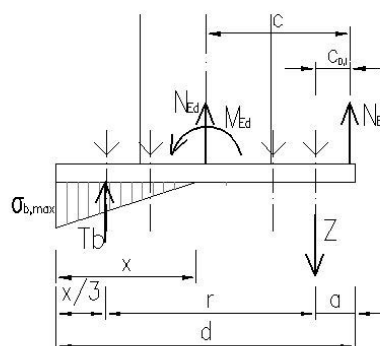
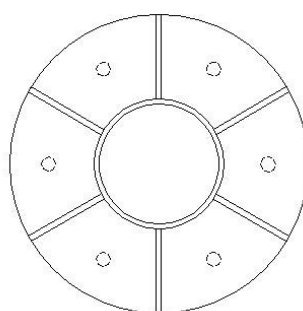
KOMBINACE C1.1



TAHOVÁ NORM. SÍLA
KOMBINACE C2.2



KOMBINACE C2.1



Tabulka účinků zatížení:

	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2
M_{Ed} [kNm]	31,32		18,27	
N_{Ed} [kN]	-139,02		68,76	
V_{Ed} [kN]	7,46		0,21	
c [mm]	0,226		0,266	
c/d	0,452		0,532	
ξ	0,500		0,440	
x [mm]	0,250		0,220	
T_b [kN]	145,92	146,54	93,97	76,54
Z [kN]	6,90	7,52	109,65	42,96
F_{t,Ed} [kN]	8,28	4,51	131,58	51,55
σ_{b,max} [Mpa]	2,33	2,34	1,71	1,39

5.2 POSOUZENÍ BETONU

- Napětí v betonu:

$$\sigma_{b,max} = 2,34 \text{ MPa} \leq f_{jd} = 13,87 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

5.3 POSOUZENÍ ŠROUBU

- Přetržení šroubu:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot 865 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 162,62 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{131,58}{162,62} = 0,81 \leq 1,0 \quad (81\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Soudržnost mezi šroubem a betonem:

- návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{1,1}{1,5} = 0,73 \text{ MPa}$$

- mezní napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot \frac{132 - 40}{100} \cdot 0,73 = 1,51 \text{ MPa}$$

- účinná hloubka hlavy šroubu:

$$A = 0,8 \cdot A_s \cdot \frac{0,8 f_y}{f_{cd} \cdot \gamma_{M0}} + \frac{\pi D^2}{4} = 0,8 \cdot 865 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,8 \cdot 235}{8 \cdot 1,0} + \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 0,01752 \text{ m}^2$$

$$\Delta h = \left(\frac{4A}{\pi D^2} - 1 \right) \cdot \frac{f_{cd}}{f_{bd}} \cdot D = \left(\frac{4 \cdot 0,01752}{\pi \cdot 0,04^2} - 1 \right) \cdot \frac{8}{1,51} \cdot 0,04 = 2,74 \text{ m}$$

- únosnost při porušení:

$$F_{s,Rd} = \pi D (h + \Delta h) f_{bd} = \pi \cdot 0,04 \cdot (0,44 + 2,74) \cdot 1,51 \cdot 10^3 = 192,07 \text{ kN}$$

- posouzení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{s,Rd}} = \frac{131,58}{192,07} = 0,69 \leq 1,0 \quad (69\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Vytržení šroubu ze základu:

$$F_{v,Rd} = 2,1 h^2 f_{bd} = 2,1 \cdot 0,44^2 \cdot 1,51 \cdot 10^3 = 613,91 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{131,58}{613,91} = 0,21 \leq 1,0 \quad (21\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Přenos posouvající síly:

- třením mezi patním plechem a betonem:

$$V_{Rd,\mu} = \mu \cdot T_{b,min} = 0,2 \cdot 76,54 = 15,31 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,\mu}} = \frac{7,46}{15,31} = 0,49 \leq 1,0 \quad (49\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- vodorovná síla je přenášena pouze třením

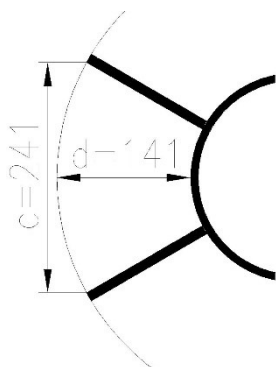
5.4 NÁVRH PATNÍHO PLECHU

- Stanovení tloušťky patního plechu:

dle posouzení desky podepřené po třech stranách obvodu:

$$m_{sd} = \beta \cdot \sigma_{b,max} \cdot c^2 = 0,074 \cdot 2,34 \cdot 10^3 \cdot 0,241^2 = 9,71 \text{ kNm}$$

$$d/c = 141/241 = 0,6 \Rightarrow \text{dle tab. } \beta = 0,074$$



- ohyb

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,471 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 34,57 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} = \frac{24,21}{34,57} = 0,70 \leq 1,0 \quad (70\%) \quad \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

- Připojení výtuh k patnímu plechu (krční svar):

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 135 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot A_w} + \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 12 \cdot a_w} = \frac{7,46 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,004 \cdot 0,135} + \frac{131,58 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00033}{1,868 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 0,004} = 53,09 \text{ Mpa}$$

$$S_y = d \cdot t_p \cdot \left(z - \frac{t_p}{2} \right) = 0,5 \cdot 0,02 \cdot \left(0,043 - \frac{0,02}{2} \right) = 0,00033 \text{ m}^3$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{12 A_w} + \frac{M_{Ed}}{12 I_w} \cdot x = \frac{68,76 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 0,004 \cdot 0,135} + \frac{18,27 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,021 = 22,32 \text{ Mpa}$$

$$I_w = 12 \frac{1}{12} a_w l_w^3 = 12 \frac{1}{12} 0,004 \cdot 0,100^3 = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \sigma_w \cdot \cos 45^{\circ} = 22,32 \cdot \cos 45^{\circ} = 15,78 \text{ Mpa}$$

Posouzení:

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

$$\sqrt{15,78^2 + 3(15,78^2 + 53,09^2)} = 97,22 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ Mpa}$$

⇒ VYHOVÍ

$$\sigma_{\perp} = 15,78 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Bakalářská práce - Zastřešení čerpací stanice PHM

Martin Očadlík
B4K1

SEZNAM VYBRANÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK:

1) malá písmena latinské abecedy:

b	šířka
c	rozměr průřezu pro zatřídění průřezu
c_f	součinitel síly
$c_{f,0}$	součinitel síly pro konstrukce nebo nosné prvky bez vlivu koncového efektu
f	mez pevnosti
f_u	mez kluzu
h	výška
h_f	vzdálenost těžišť pásnic
i	poloměr setrvačnosti
k_r	součinitel terénu
k_w	součinitel vzpěrné délky v kroucení
k_y	součinitel vzpěrné délky v ose y
k_{yy}	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
k_{yz}	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
k_z	součinitel vzpěrné délky v ose z
k_{zy}	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
k_{zz}	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
q_b	referenční dynamický tlak
q_p	maximální hodnota dynamického tlaku
s	základní hodnota zatížení sněhem pro danou oblast
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem
t	tloušťka
t_f	tloušťka pásnice
t_w	tloušťka stojiny
u	posun v příslušné ose
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
v_m	střední rychlost větru
Z	výška
Z_0	parametr drsnosti terénu
Z_e	referenční výška pro zatížení vnějšího povrchu větrem
Z_j	vzdálenost středu smyku od těžiště
Z_{min}	minimální výška

2) velká písmena latinské abecedy

A	plocha
A_v	plocha přenášející smykovou sílu
C_1	součinitel rozdělení momentů
C_2	součinitel rozdělení momentů
C_3	součinitel rozdělení momentů
C_{dir}	součinitel směru
C_e	součinitel expozice
C_{fr}	součinitel tření
C_{mLT}	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
C_{my}	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
C_{mz}	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
C_o	součinitel orografie
$C_{p,net}$	součinitel tlaku
C_r	součinitel drsnosti
C_{season}	součinitel ročního období
C_t	teplotní součinitel
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
H	výška
I_t	torzní moment setrvačnosti
I_v	intenzita turbulence
I_y	moment setrvačnosti k ose y-y

Bakalářská práce - Zastřešení čerpací stanice PHM

Martin Očadlík

B4K1

I_z	moment setrvačnosti k ose z-z
I_ω	polární moment setrvačnosti
L	délka
L_{cr}	kritická délka
M_{cr}	kritický moment
$M_{N,Rd}$	ohybová únosnost redukováná normálovým namáháním
$M_{Rd,el}$	pružnostní únosnost v ohybovém momentu
$M_{Rd,pl}$	plastická únosnost v ohybovém momentu
M_y	ohybový moment k ose y-y
M_z	ohybový moment k ose z-z
N	normálová síla
N_{cr}	kritická normálová síla
$N_{Rd,el}$	pružnostní únosnost na normálovou sílu (tah, tlak)
$N_{Rd,pl}$	plastická únosnost na normálovou sílu (tah, tlak)
V_{Rd}	únosnost ve smyku
V_z	posouvající síla
W_{el}	pružnostní modul průřezu
W_{pl}	plastický modul průřezu

3) písmena řecké abecedy

λ	štíhlost
λ_1	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
α	sklon střešní roviny
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_{M0}	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoli třídy
γ_{M1}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
γ_{M2}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení
ε	součinitel závisející na f_y
ζ	redukční součinitel
ζ_g	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
ζ_j	bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu
K_{wt}	bezrozměrný parametr kroucení
μ_1	tvárový součinitel
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
ρ	objemová hmotnost
ρ	redukční součinitel
Φ	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti χ
φ	součinitel uzavřenosti přístřešku
φ	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění
χ	součinitel vzpěru pro příslušnou křivku vzpěrné pevnosti
Ψ_0	kombinační součinitel pro proměnné zatížení
Ψ_λ	součinitel koncového efektu
Ψ_f	parametr nesymetrie průřezu