



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONSTRUKCE KULTURNÍ HALY

STEEL STRUCTURE OF CULTURAL HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nela Trávníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2021



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	Nela Trávníková
Název	Ocelová konstrukce kulturní haly
Vedoucí práce	Ing. Ivan Balázs, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN EN 1090: Provádění ocelových konstrukcí

MAREK, Pavel a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury; Alfa, vydavatelství technické a ekonomické literatury, 1985

DA SILVA, Luís Simoes, SIMOES, Rui, GERVÁSIO, Helena. Design of Steel Structures.

Brussels: ECCS - European Convention for Constructional Steelwork, 2010, ISBN 978-92-9147-098-3

BUJŇÁK, Ján. Nosné koštrukcie hál z ocele. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2014, ISBN 978-80-554-0913-9

BUJŇÁK, Ján, VIČAN, Josef. Navrhovanie ocelových koštrukcií. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2012, ISBN 978-80-554-0529-2

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zpracujte návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce haly pro kulturní účely o orientačních půdorysných rozměrech 30 × 60 m umístěné v oblasti obce Mutěnice. Dispoziční řešení navrhnete v souladu s koncepčními a architektonickými požadavky vyplývajícími z účelu objektu. Návrh i posouzení provedte v souladu s aktuálně platnými normativními dokumenty pro navrhování ocelových konstrukcí.

Požadované výstupy: Technická zpráva shrnující základní charakteristiky navržené konstrukce, statický výpočet hlavních nosných prvků konstrukce, výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím práce obsahující zejména dispoziční výkresy a výkresy vybraných konstrukčních dílců včetně charakteristických detailů, orientační výkaz spotřeby materiálu.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP zpracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Ivan Balázs, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce haly pro kulturní účely o půdorysných rozměrech 35 x 60 metrů a s výškou 14 metrů. Konstrukce je tvořena 13 příčnými vazbami, které jsou od sebe osově vzdáleny 5 m. Příčná vazba se skládá z příhradového vazníku ve tvaru vlny, který je kloubově uložen na sloupech. Hlavní sloupy jsou v příčném směru vetknuté a v podélném směru kloubově uložené. Čelní sloupy jsou v obou směrech kloubově uložené. Jednotlivé příčné vazby jsou spojeny kloubově uloženými vaznicemi a paždíky. Prostorovou tuhost zajišťují 4 příčná a 4 podélná ztužidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kulturní hala, ocelová konstrukce, příhradový vazník, válcované profily, kruhové trubky, ztužidla, kotvení sloupů

ABSTRACT

The object of the Bachelor's thesis is the design and the assessment of the supporting steel structure of cultural hall. The dimension of ground plan is 35 x 60 m and the height of the structure is 14 m. Structure consists of thirteen main trusses in 5 metre distance. Main truss is composed of pin-supported truss girder in shape of wave, which lies on columns. Main columns are fixed in main course and pin-supported in longitudinal course. Frontal columns are pin-supported in both courses. Main trusses are connected by purlins and girts. Spatial rigidity of the structure is ensured by four sway bracings and four longitudinal bracings.

KEYWORDS

Cultural hall, steel structure, truss girder, rolled profiles, round tube, bracings, column anchorage

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Nela Trávníková *Ocelová konstrukce kulturní haly*. Brno, 2021. 93 s., 32 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových
a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Ivan Balázs, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Ocelová konstrukce kulturní haly* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7. 2. 2021

Nela Trávníková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Ocelová konstrukce kulturní haly* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 2. 2021

Nela Trávníková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ivanu Balázsovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté informace a za veškerý čas, který mi během zpracování věnoval.

Dále bych chtěla poděkovat svojí rodině, která mě ve všem celý život podporovala a věřila ve mě, ať už jsem dělala cokoliv. Sdílela se mnou veškeré radosti, které mě během posledních 4 let potkaly, a uklidňovala mě ve chvílích, kdy jsem si říkala, že už další staťák nezvládnou.

Také bych chtěla poděkovat Fakultě stavební, díky které jsem potkala spoustu zajímavých lidí a našla si úžasné kamarády. Kamarády, se kterými můžu mimo jiné sdílet rozhořčení nad špatně provedenými hmatovými úpravami.

A – OBSAH TECHNICKÉ ZPRÁVY

1	Úvod	5
2	Normy	5
3	Dispozice	5
4	statický systém	5
5	Materiály	6
6	Zatížení	6
6.1	Zatížení stálé	6
6.2	Zatížení proměnné	6
6.3	Zatížení užité	6
7	výpočet	7
8	Hlavní konstrukční prvky	7
8.1	Vaznice	7
8.2	Vazník	7
8.3	Příčná ztužidla	7
8.4	Podélná ztužidla	7
8.5	Sloupy hlavní	7
8.6	Sloupy čelní	8
8.7	Paždíky	8
9	Povrchové úpravy konstrukce	8
10	Výroba a montáž	9
11	Stanovení třídy provedení	9
12	Výkaz materiálu	10
13	Odhadovaná cena	10

B – OBSAH STATICKÉHO VÝPOČTU

14	Geometrie	12
14.1	Statická idealizace	12
14.2	Axonometrie	12
14.3	Schématický půdorys	13
14.4	Schématický řez.....	14
15	Zatížení	15
15.1	Stálé zatížení – ZS1	15
15.2	Proměnné zatížení.....	15
16	Kombinace zatížení	24
16.1	Mezní stav únosnosti	24
16.2	Mezní stav použitelnosti	26
17	Vnitřní síly	27
18	Posouzení prvků konstrukce na MSÚ	30
18.1	Vaznice	30
18.2	Horní pás vazníku	35
18.3	Dolní pás vazníku.....	39
18.4	Diagonály vazníku.....	41
18.5	Svislice vazníku.....	43
18.6	Příčné ztužidlo	44
18.7	Podélné ztužidlo	45
18.8	Hlavní sloupy	50
18.9	Sloupy čelní	57
18.10	Paždíky	64
19	Posouzení prvků konstrukce na MSP	70
19.1	Vaznice	70
19.2	Vazník.....	70
19.3	Paždíky	70
19.4	Sloupy hlavní	70
19.5	Sloupy čelní	71
20	Přeposouzení	72
20.1	Přeposouzení vaznic:.....	72
20.2	Přeposouzení horního pásu:	73
20.3	Přeposouzení diagonál příčného ztužidla:	73
21	Posouzení Vybraných spojů	74
21.1	Přípoj příčného ztužidla na hlavní nosník.....	74
21.2	Posouzení přípoje paždíku ke sloupu	75
21.3	Posouzení spojů dutých průřezů	77
21.4	Návrh a posouzení svaru diagonály k dolnímu pásu	79
21.5	Návrh a posouzení svaru Svislice k dolního pásu	79
22	Kotvení	80
22.1	Kotvení hlavní sloupů.....	80
22.2	Kotvení čelních sloupů	82

ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce haly pro kulturní účely o půdorysných rozměrech 35 x 60 metrů a s výškou 14 metrů. Konstrukce je tvořena 13 příčnými vazbami, které jsou od sebe osově vzdáleny 5 m. Příčná vazba se skládá z příhradového vazníku ve tvaru vlny, který je kloubově uložen na sloupech. Hlavní sloupy jsou v příčném směru vetknuté a v podélném směru kloubově uložené. Čelní sloupy jsou v obou směrech kloubově uložené. Jednotlivé příčné vazby jsou spojeny kloubově uloženými vaznicemi a paždíky. Prostorovou tuhost zajišťují 4 příčná a 4 podélná ztužidla.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONTRUKCE KULTURNÍ HALY

STEEL STRUCTURE OF CULTURAL HALL

A – TECHNICKÁ ZPRÁVA

A – TECHNICAL REPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nela Trávníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2021

1 ÚVOD

Předmětem je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce haly pro kulturní účely o půdorysných rozměrech 35 x 60 metrů a s výškou 14 metrů. Objekt je situován v Mutěnicích nedaleko města Hodonína.

2 NORMY

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- [7] ČSN EN ISO 5845-1 Technické výkresy – Zjednodušené zobrazení spojení na výkresech sestavení – Část 1: Základní ustanovení
- [8] ČSN EN ISO 2553 Svařování a příbuzné procesy – Zobrazování na výkresech – Svarové spoje
- [9] ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí - Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce

3 DISPOZICE

Jedná se o jednodlní halu obdélníkové půdorysu s délkou 60 m, šířkou 35 m a výškou 14 m. Střecha je tvořena příhradovým vazníkem ve tvaru vlny uložený na sloupech o výšce přibližně 8,5 m a 11,5 m. Minimální světlá výška činí 8,2 m.

4 STATICKÝ SYSTÉM

Jednodlní hala je složena ze 13 příčných vazeb, které jsou spojeny kloubově uloženými vaznicemi a paždíky. Prostorovou tuhost konstrukce zajišťují 4 příčná a 4 podélná ztužidla. Příčná vazba je navržena jako příhradový vazník, který je kloubově uložen na hlavních sloupech. Hlavní sloupy jsou v příčném směru vetknuté a v podélném směru kloubově uložené. Čelní sloupy jsou v obou směrech kloubově uložené. Tuhost zajišťují 4 příčná ztužidla tvořená kříženými diagonálami, které přenáší pouze tahové účinky. Přenos sil v podélném směru je zajištěn čtyřmi

podélnými ztužidly, která jsou od sebe vzdáleny deset metrů. Podélné ztužidlo je navrženo jako příhradové, jehož diagonály přenáší pouze tahové účinky.

5 MATERIÁLY

Nosná konstrukce je navržena z oceli pevnostní třídy S355. Příčná ztužidla a diagonály podélného ztužidla jsou navrženy z oceli pevnostní třídy S460. Patní desky a styčnickové plechy jsou navrženy z oceli pevnostní třídy S355.

Většina spojů je provedena svařováním, koutovými svary. Šrouby použité na přípoj vaznic, dolního pásu podélného ztužidla, paždíků jsou navrženy z oceli třídy 4.6. Šrouby pro přípoj vazníku ke sloupům jsou třídy 6.8 Kotevní šrouby jsou navrženy z pevnostní třídy 5.8.

6 ZATÍŽENÍ

6.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Vlastní tíha byla automaticky generována programem RFEM.

Ostatní stálé zatížení:	kg/m ²	kN/m ²
Sendvičový panel Kingspan tl. 110 mm	11,55	0,12
Technická zařízení budovy	70	0,7

6.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Zatížení sněhem:

Lokalita:	Mutěnice
Sněhová oblast:	I.
Typ krajiny:	normální
$s_k = 0,56 \text{ kN/m}^2$	

Zatížení větrem:

Lokalita:	Mutěnice
Větrová oblast:	II.
Kategorie terénu:	III.
$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$	

Do proměnného zatížení je taktéž zahrnutá možnost přitížení dolního pásu vazníku od zavěšení exponátů.

6.3 ZATÍŽENÍ UŽITNÉ

Užitná kategorie H – Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

$Q_k = 1 \text{ kN}$

7 VÝPOČET

Pro získání velikosti vnitřních sil od zatížení budovy byl použit statický program Dlubal RFEM 5.23. Výpočet vnitřních sil byl proveden na základě rovnice 6.10 pro mezní stav únosnosti a rovnice 6.14b pro mezní stav použitelnosti.

8 HLAVNÍ KONSTRUKČNÍ PRVKY

8.1 VAZNICE

Vaznice je navržena jako plnostěnná z profilu IPE 160 délky 5 m. Vaznice jsou připojeny k hornímu pásu pomocí dvou šroubů M16, pevnostní třídy 4.6, které prochází vaznicí a úhelníkem L 90x60x6. Úhelník je přivařen k styčnickovému plechu tl. 10 mm, který je přivařen koutovým svarem k hornímu pásu vazníku.

8.2 VAZNÍK

Vazník je navržen jako příhradový ve tvaru vlny. Skládá se z horního pásu profilu TR KR 193,7x5,0, válcovaného za tepla, dolního pásu profilu TR KR 168,3x5,0, válcovaného za tepla, diagonál profilu TR KR 114,3x4,0, válcovaného za tepla a svislic profilu TR KR 88,9x3,2. Dolní pás délky 30 m je vzdálen svisle od horního pásu 2,5 m, jehož délka činí 35 m. Svislice jsou od sebe vzdáleny 5 m. Diagonály a svislice jsou k dolnímu a hornímu pásu připojeny koutovým svarem o účinné výšce 3 mm. Dolní pás je kloubově uložen pomocí několika styčnickových plechů tl. 20 mm a šroubů M16 pevnostní třídy 6.8 na sloupy.

Vazník je z důvodu dopravy a manipulace rozdělen na 5 dílců.

Kulturní hala je složena celkem z 13 vazníků.

8.3 PŘÍČNÁ ZTUŽIDLA

Příčné ztužidlo je navrženo ze dvou křížících se diagonál, které přenáší pouze tahové účinky. Tyto táhla jsou navrženy z oceli pevnostní třídy S460 průměru M20 od firmy Macalloy. Délka ztužidel je přibližně 5,36 m a ke konstrukci jsou připojena pomocí čepu a plechu tl. 18 mm. Příčná ztužidla zajišťují celkovou prostorovou tuhost, přenášejí zatížení vznikající v podélném směru.

8.4 PODÉLNÁ ZTUŽIDLA

Podélné ztužidlo je navrženo jako příhradové. V konstrukci se celkem vyskytují čtyři, a to ve vzdálenosti 10 m. Skládá se z dolního pásu profilu TR KR 88,9x3,2 a křížících se diagonál, přenášejících pouze tahové účinky, které jsou opět navrženy pevnostní třídy S460 M20 od firmy Macalloy. Délka dolního pásu odpovídá vzdálenosti příčných vazeb, tj. 5 m. Dolní pás podélného ztužidla je připojen k dolnímu pásu vazníku pomocí dvou šroubů M16 třídy 4.6.

8.5 SLOUPY HLAVNÍ

Sloupy hlavní jsou navrženy z plnostěnného profilu HEB 280 délky 8,5 m a 11,5 m. Kotvení je navrženo v příčném směru jako vetknuté a v podélném směru jako

kloubové. Navržené dodatečně osazované chemické kotvy HAS-U M20 od firmy Hilti jsou pevnostní třídy 5.8. Kotvení je provedeno pomocí hybridní lepicí hmoty HIT-HY 200. Hlavní sloupy jsou kotveny přes patní plech pomocí 4 kotev do základových patek z betonu třídy C30/37. Vyrovnání povrchu betonu je provedeno podlitím tl. 30 mm. Navržené kotvy současně přenáší i smykové síly.

8.6 SLOUPY ČELNÍ

Sloupy čelní jsou navrženy z plnostěnného profilu HEB 240 proměnné délky, která závisí na poloze dolního pásu vazníku. Kotvení sloupů je navrženo v obou směrech jako kloubové. Navržené dodatečně osazované chemické kotvy HAS-U M16 od firmy Hilti jsou pevnostní třídy 5.8. Kotvení je provedeno pomocí hybridní lepicí hmoty HIT-HY 200. Čelní sloupy jsou kotveny přes patní plech pomocí 2 kotev do základových patek z betonu C30/37. Vyrovnání povrchu betonu je provedeno podlitím tl. 30 mm. Navržené kotvy současně přenáší i smykové síly.

8.7 PAŽDÍKY

Paždíky jsou navrženy z plnostěnného profilu U 120 délky 5 m. Ke sloupu jsou připojeny dvěma šrouby M12 pevnostní třídy 4.6 a patního plechu tl. 10 mm, který je přivařen ke stojině sloupu koutovým svarem o účinné výšce 3 mm.

9 POVRCHOVÉ ÚPRAVY KONSTRUKCE

Všechny ocelové prvky konstrukce budou pro zvýšení protikorozní odolnosti a životnosti opatřeny žárovým zinkováním. Dle ČSN EN ISO 12944

10 VÝROBA A MONTÁŽ

Vazník je rozdělen na 5 dílců, 3 hlavní dílce a 2 diagonály. Největší délka dílce 12 m. Dílce budou následně svařeny V svařem. Součástí dílců je navařený patní plech s úhelníkem, který slouží k následnému šroubovému připojení vaznic.

Postup montáže:

- 1) Výkopové práce
- 2) Betonáž základových patek z betonu C30/37
- 3) Dodatečné osazení kotevních šroubů
- 4) Osazení sloupů jedné příčné vazby ve ztužidlovém poli na montážní podložky
- 5) Podlití sloupů
- 6) Doprava jednotlivých dílců vazníku
- 7) Osazení vazníku
- 8) Obdobné osazení druhé příčné vazby ve ztužidlovém poli
- 9) Osazení ztužidel a paždíků a vaznic
- 10) Obdobné osazení dalších příčných vazeb
- 11) Opláštění budovy

Nutno zajistit v každém okamžiku výstavby stabilitu konstrukce.

11 STANOVENÍ TŘÍDY PROVEDENÍ

Dle ČSN EN 1090-2

Třída následků: CC3

Kategorie použitelnosti: SC1

Výrobní kategorie: PC2

→ třída provedení EXC3

12 VÝKAZ MATERIÁLU

Tab. 1 – Výkaz materiálu

OZN.	PRVEK	PROFIL	MATERIÁL	CELKOVÁ DĚLKA [m]	CELKOVÁ HMOTNOST [t]
1	VAZNICE	IPE 160	S355	837,500	13,208
2	VAZNÍK - HORNÍ PÁS	TR KR 193,7x5,0	S355	457,390	10,628
3	VAZNÍK - DOLNÍ PÁS	TR KR 168,3x5,0	S355	392,180	7,912
4	VAZNÍK - DIAGONÁLY	TR KR 114,3x4,0	S355	641,730	7,002
5	VAZNÍK - SVISLICE	TR KR 88,9x3,2	S355	225,560	1,252
6	PODÉL. ZTUŽIDLO DOLNÍ PÁS	TR KR 88,9x3,2	S355	240,000	1,624
7	PODÉL. ZTUŽIDLO DIAGONÁLY	KR 20	S460	537,792	0,850
8	PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO DIAGONÁLY	KR 20	S460	428,468	0,675
9	SLOUPY HLAVNÍ	HEB 280	S355	258,700	26,685
10	SLOUPY ČELNÍ	HEB 240	S355	98,700	8,213
11	PAŽDÍKY	U 120	S355	1060,010	14,146
HMOTNOST KONSTRUKCE [t]					92,195
PŘÍPOJE cca. 5% [t]					4,610
SUMA CELKEM [t]					96,805

13 ODHADOVANÁ CENA

Celková předběžná cena konstrukce činí 7 744 400 Kč při odhadu 80 Kč/kg.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONTRUKCE KULTURNÍ HALY

STEEL STRUCTURE OF CULTURAL HALL

B – STATICKÝ VÝPOČET

B – STRUCTURAL DESIGN REPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nela Trávníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2021

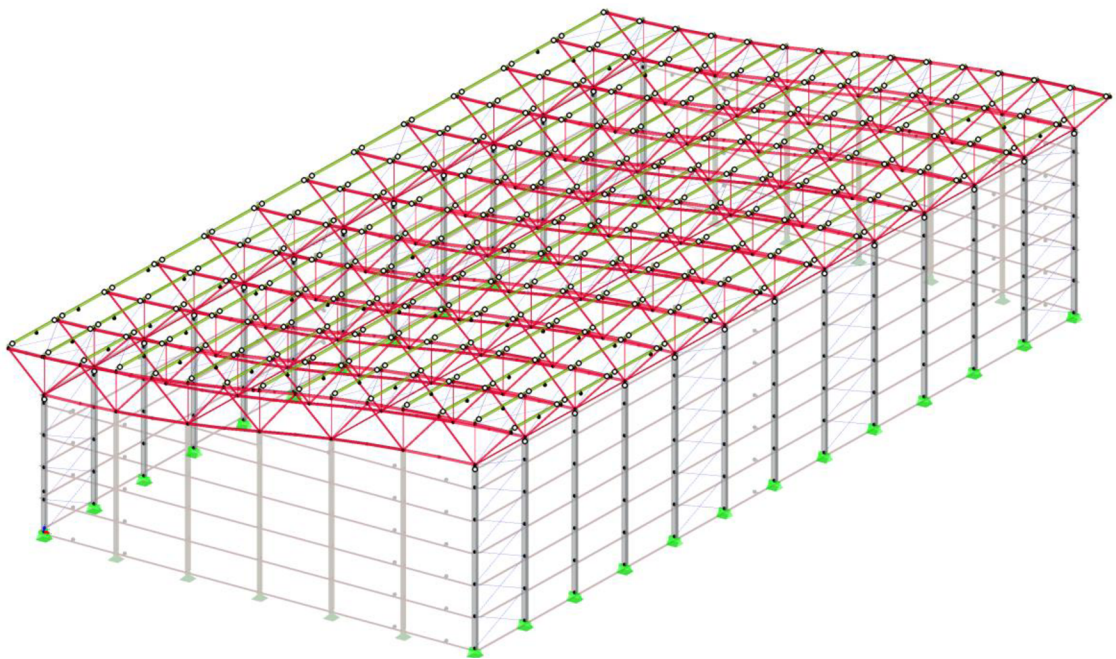
14 GEOMETRIE

Ocelová konstrukce kulturní haly v Mutěnicích s půdorysnými rozměry 60x35 m a celkovou výškou 14 m je tvořena 13 příčnými vazbami, které jsou od sebe vzdáleny 5 m.

14.1 STATICKÁ IDEALIZACE

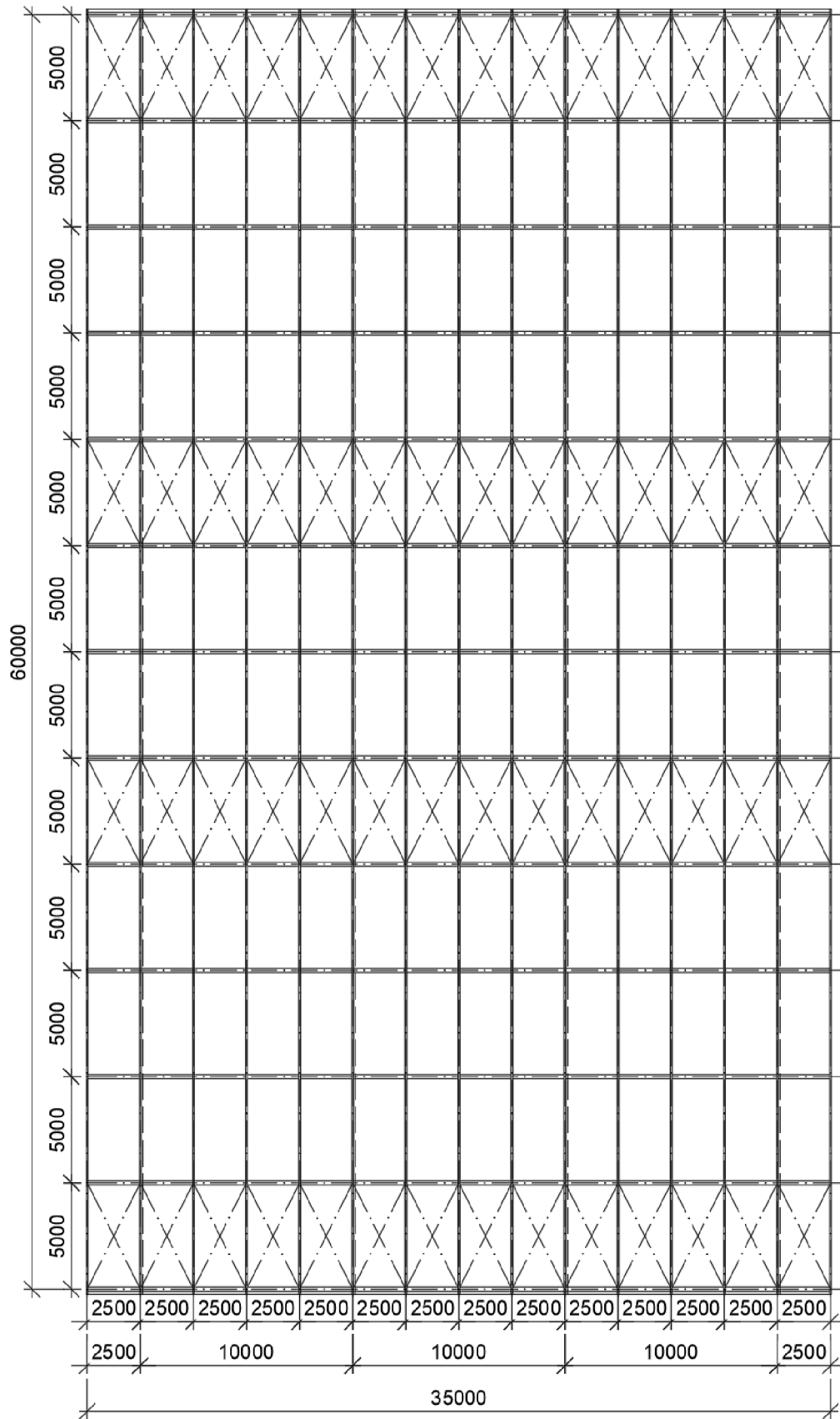
Příčná vazba se skládá z příhradového vazníku ve tvaru vlny, který je kloubově uložen na sloupech. Hlavní sloupy jsou v příčném směru vetknuté a v podélném směru kloubově uložené. Čelní sloupy jsou v obou směrech kloubově uloženy. Jednotlivé příčné vazby jsou spojeny kloubově uloženými vaznicemi a paždíky. Celkovou tuhost zajišťují 4 příčná ztužidla tvořené diagonálami, které působí pouze v tahu. Dále prostorovou tuhost zajišťují 4 podélná ztužidla, která jsou navržena jako příhradová, jehož diagonály opět přenáší pouze tahové účinky.

14.2 AXONOMETRIE



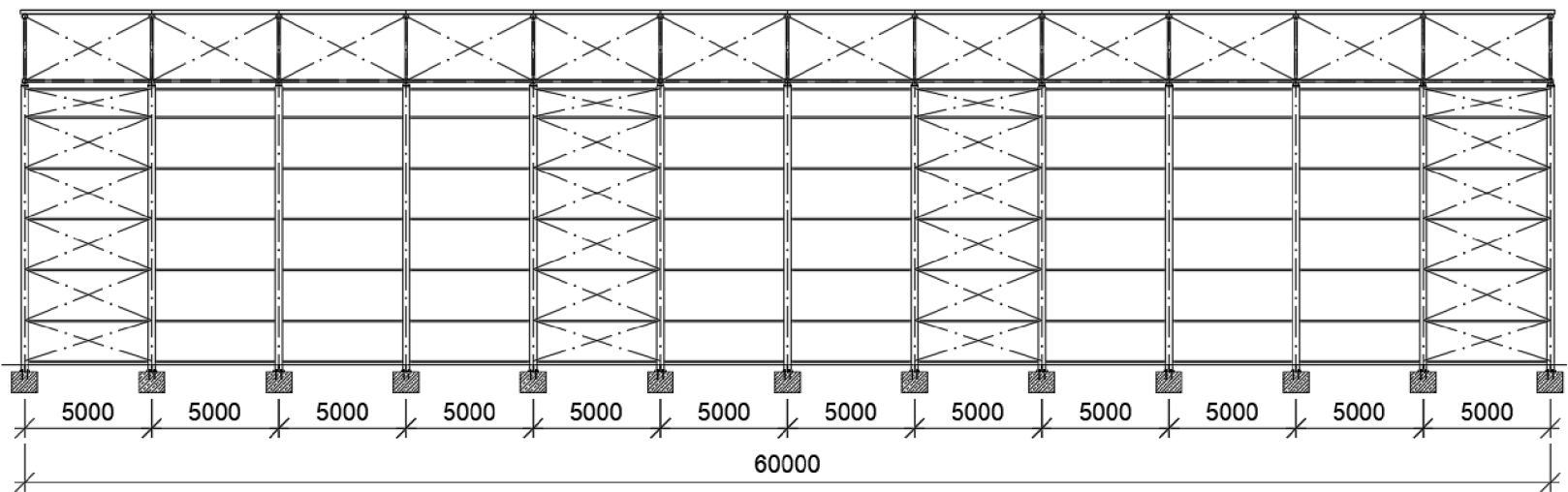
Obr. 1 - Axonometrie

14.3 SCHÉMATICKÝ PŮDORYS



Obr. 2 - Schématický půdorys

14.4 SCHEMATICKÝ ŘEZ



Obr. 3 - Schematický řez

15 ZATÍŽENÍ

15.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ – ZS1

15.1.1 VLASTNÍ TÍHA

Vlastní tíha konstrukce generována výpočetním programem RFEM.

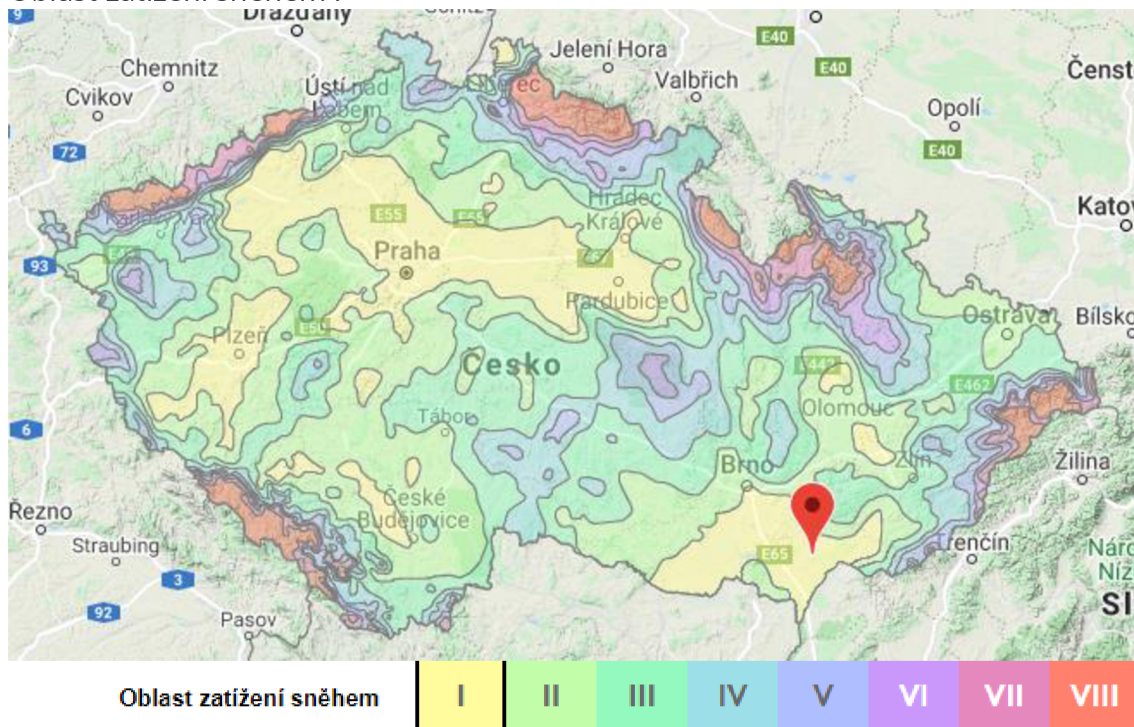
15.1.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

	kg/m ²	kN/m ²
Sendvičový panel Kingspan tl. 110 mm	11,55	0,12
Technická zařízení budovy	70	0,7
celkem		<u>$g_{k1} = 0,82 \text{ kN/m}^2$</u>

15.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

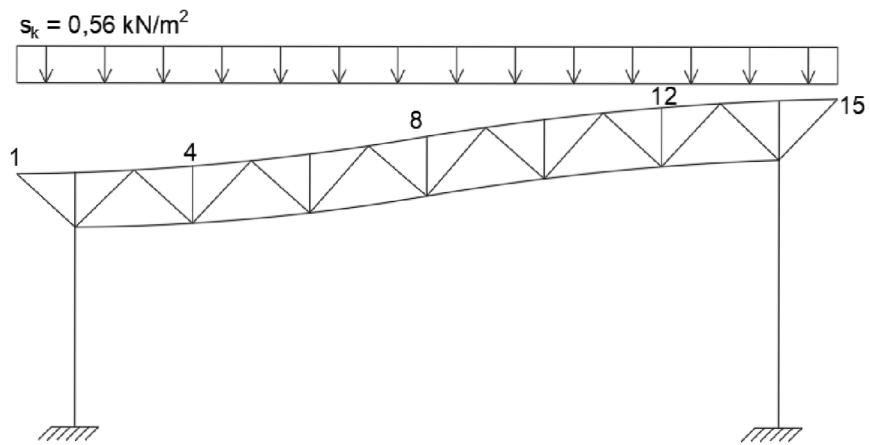
15.2.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM – ZS2

Oblast zatížení sněhem I



Obr. 4 - Oblast zatížení sněhem [13]

$$s = u_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,70 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 5 - Zatížení sněhem - sníh plný

Tab. 2 - Přepočet zatížení sněhem na vaznice:

ČÍSLO	ZŠ	ZATÍŽENÍ kN/m ²	kN/m
1	1,250	0,56	0,700
2	2,500		1,400
3	2,500		1,400
4	2,500		1,400
5	2,500		1,400
6	2,500		1,400
7	2,500		1,400
8	2,500		1,400
9	2,500		1,400
10	2,500		1,400
11	2,500		1,400
12	2,500		1,400
13	2,500		1,400
14	2,500		1,400
15	1,250		0,700

15.2.2 ZATÍŽENÍ VĚTREM

Oblast zatížení větrem II, kategorie terénu III



Obr. 6 - Oblast zatížení větrem [13]

Základní rychlost větru

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

Střední rychlost větru

$$V_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot V_b = 0,79 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = 19,75 \text{ m/s}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,793$$

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

Maximální dynamický tlak

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$q_p(z) = [1 + 0,7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) \\ = [1 + 0,7 \cdot 0,271] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 19,75^2 = \underline{\underline{0,290 \text{ kN/m}^2}}$$

Tlak větru působící na svislé stěny

$$h = 14 \text{ m} \leq b = 30 \text{ m}; e = \min\{b; 2h\} = \min\{30; 28\} = 28 \text{ m}$$

sklon střechy 6°

$$h/d = 0,4$$

$$W_{e,A} = q_p(z_e) \cdot C_{pe,10,A} = 0,29 \cdot (-1,20) = -0,348 \text{ kN/m}^2$$

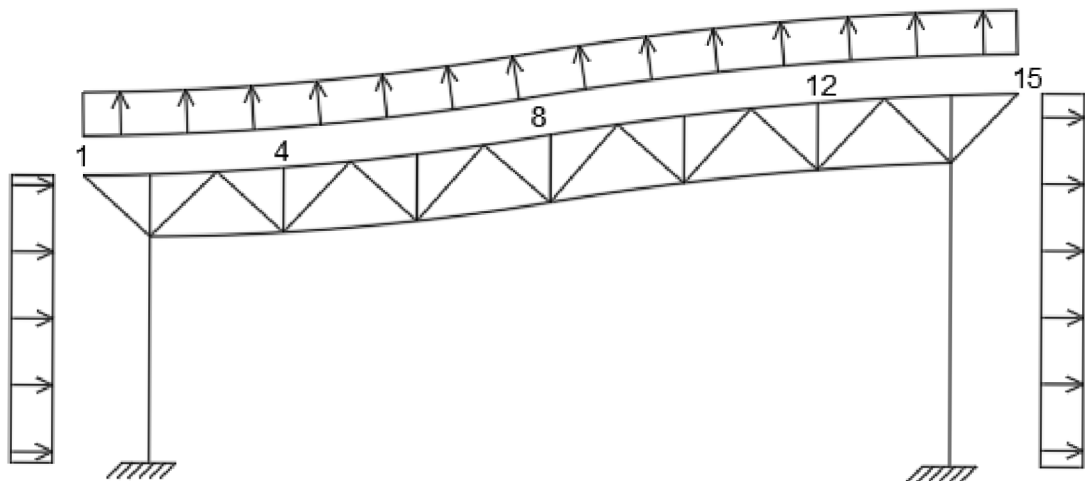
$$W_{e,B} = q_p(z_e) \cdot C_{pe,10,B} = 0,29 \cdot (-0,92) = -0,267 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,C} = q_p(z_e) \cdot C_{pe,10,C} = 0,29 \cdot (-0,5) = -0,145 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,D} = q_p(z_e) \cdot C_{pe,10,D} = 0,29 \cdot (+0,72) = +0,209 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,E} = q_p(z_e) \cdot C_{pe,10,E} = 0,29 \cdot (-0,34) = -0,099 \text{ kN/m}^2$$

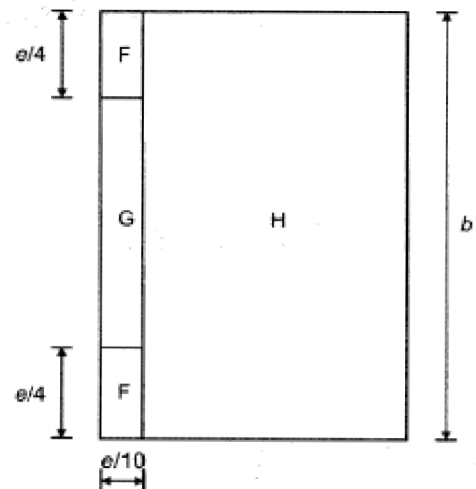
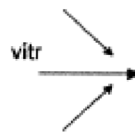
15.2.2.1 VÍTR PŘÍČNÝ LEVÝ – ZS3 – SÁNÍ



Obr. 7 - Zatěžovací stav 3

Tab. 3 – Součinitelé vnějšího tlaku

	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
F	-1,62	-0,47
G	-1,16	-0,34
H	-0,57	-0,17

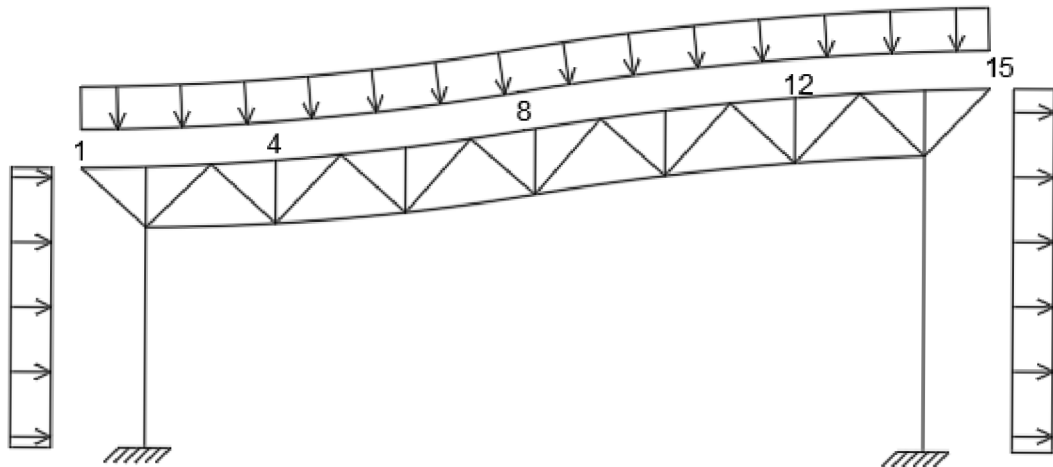


Obr. 8 - dle [4]

Tab. 4 - Přepočtení zatížení větrem na vaznice:

ČÍSLO	ZŠ [m]	ZATÍŽENÍ kN/m ²	kN/m
1F	1,251	-0,47	0,588
1G	1,251	-0,34	0,425
2F	2,502	-0,47	1,176
2G	2,502	-0,34	0,851
3	2,505	-0,17	0,426
4	2,508		0,426
5	2,514		0,427
6	2,520		0,428
7	2,526		0,429
8	2,532		0,430
9	2,526		0,429
10	2,519		0,428
11	2,514		0,427
12	2,509		0,426
13	2,505		0,426
14	2,502		0,425
15	1,251		0,213

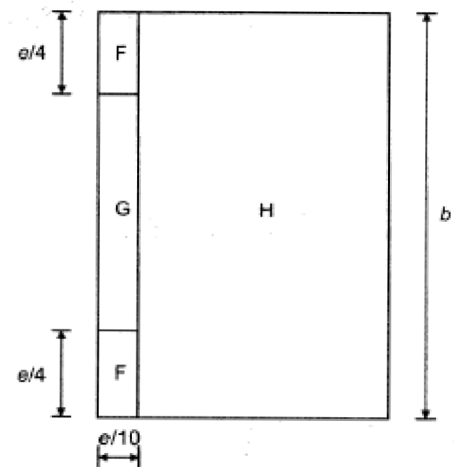
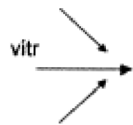
15.2.2.2 VÍTR PŘÍČNÝ LEVÝ – ZS4 – TLAK



Obr. 9 - Zatěžovací stav 4

Tab. 5 – Součinitelé vnějšího tlaku

	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
F	+0,02	+0,01
G	+0,02	+0,01
H	+0,02	+0,01

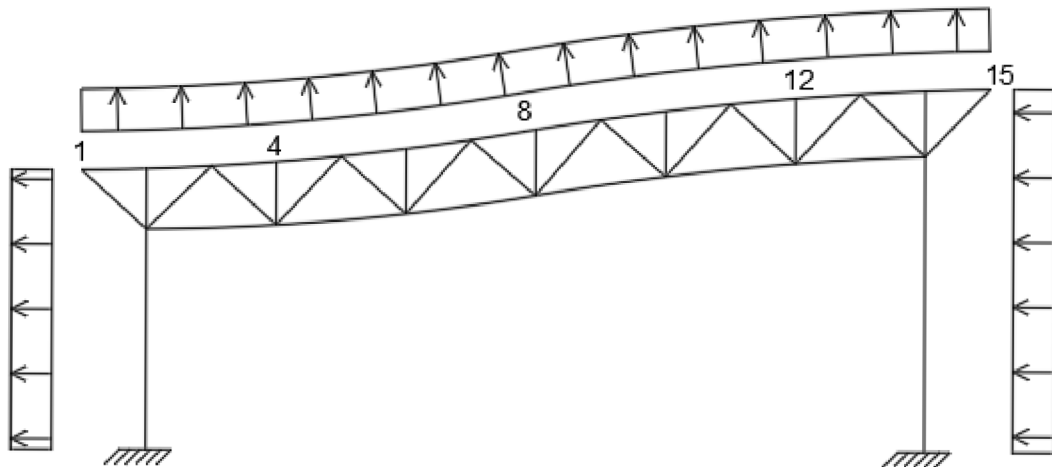


Obr. 10 - dle [1]

Tab. 6 - Přepočtení zatížení větrem na vaznice:

ČÍSLO	ZŠ [m]	ZATÍŽENÍ kN/m ²	kN/m
1	1,251	0,01	0,013
2	2,502		0,025
3	2,505		0,025
4	2,508		0,025
5	2,514		0,025
6	2,520		0,025
7	2,526		0,025
8	2,532		0,025
9	2,526		0,025
10	2,519		0,025
11	2,514		0,025
12	2,509		0,025
13	2,505		0,025
14	2,502		0,025
15	1,251		0,013

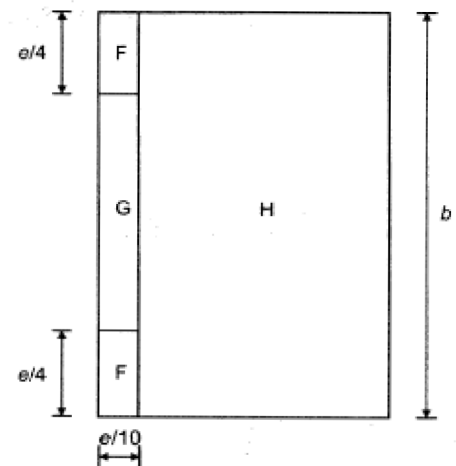
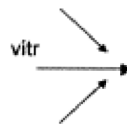
15.2.2.3 VÍTR PŘÍČNÝ PRAVÝ – ZS5



Obr. 11 - Zatěžovací stav 5

Tab. 7 – Součinitelé vnějšího tlaku

	$C_{pe,10}$	w_e [kN/m ²]
F	-2,32	-0,67
G	-1,30	-0,38
H	-0,91	-0,23

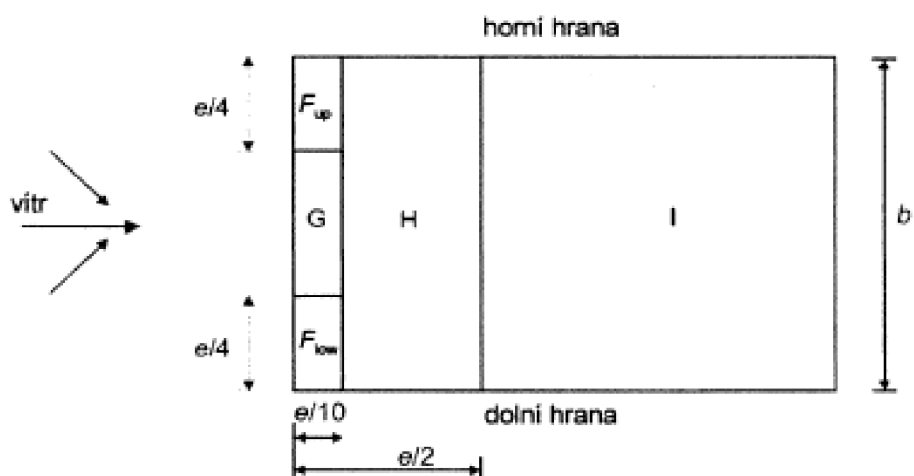


Obr. 12 - dle [4]

Tab. 8 - Přepočtení zatížení větrem na vaznice:

ČÍSLO	ZŠ [m]	ZATÍŽENÍ kN/m ²	kN/m
1	1,251		-0,213
2	2,502		-0,425
3	2,502		-0,425
4	2,502		-0,425
5	2,505		-0,426
6	2,508		-0,426
7	2,514	-0,17	-0,427
8	2,520		-0,428
9	2,526		-0,429
10	2,532		-0,430
11	2,526		-0,429
12	2,519		-0,428
13	2,514		-0,427
14F	2,509	-0,47	-1,179
14G	2,505	-0,34	-0,852
15F	1,251	-0,47	-0,588
15G	1,251	-0,34	-0,425

15.2.2.4 VÍTR PODÉLNÝ – ZS6



Obr. 13 – Zatěžovací stav 6 - dle [4]

$$W_{e,Fup} = q_p(Z_e) \cdot C_{pe,10,Fup} = 0,29 \cdot (-2,13) = -0,618 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,Flow} = q_p(Z_e) \cdot C_{pe,10,Flow} = 0,29 \cdot (-2,05) = -0,595 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,G} = q_p(Z_e) \cdot C_{pe,10,G} = 0,29 \cdot (-1,81) = -0,525 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{e,H} = q_p(Z_e) \cdot C_{pe,10,H} = 0,29 \cdot (-0,62) = -0,180 \text{ kN/m}^2$$

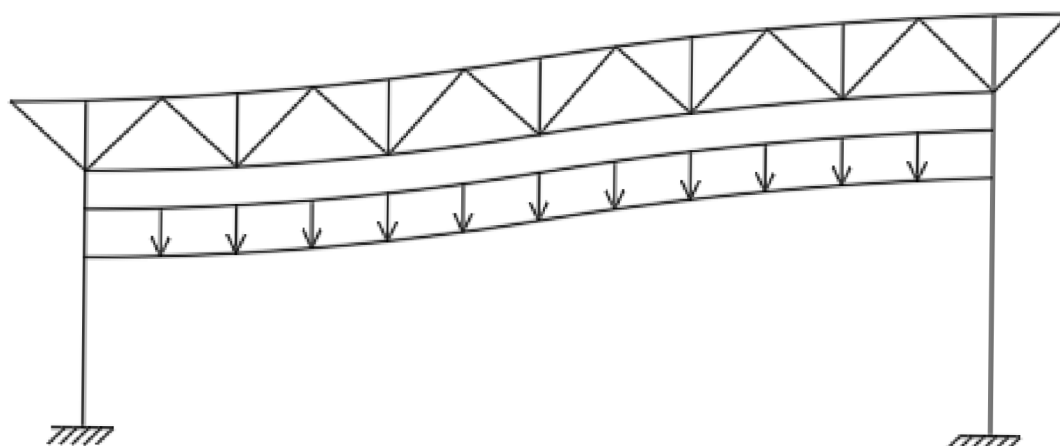
$$W_{e,I} = q_p(Z_e) \cdot C_{pe,10,I} = 0,29 \cdot (-0,52) = -0,151 \text{ kN/m}^2$$

Tab. 9 - Přepočtení zatížení větrem na vaznice:

	ČÍSLO	ZŠ [m]	ZATÍŽENÍ kN/m ²	kN/m
I	1	1,251	-0,151	-0,189
	2	2,502		-0,378
	3	2,505		-0,378
	4	2,508		-0,379
	5	2,514		-0,380
	6	2,520		-0,381
	7	2,526		-0,381
	8	2,532		-0,382
	9	2,526		-0,381
	10	2,519		-0,380
	11	2,514		-0,380
	12	2,509		-0,379
	13	2,505		-0,378
	14	2,502		-0,378
	15	1,251		-0,189

H	1	1,251	-0,18	-0,225
	2	2,502		-0,450
	3	2,505		-0,451
	4	2,508		-0,451
	5	2,514		-0,453
	6	2,520		-0,454
	7	2,526		-0,455
	8	2,532		-0,456
	9	2,526		-0,455
	10	2,519		-0,453
	11	2,514		-0,452
	12	2,509		-0,452
	13	2,505		-0,451
	14	2,502		-0,450
	15	1,251		-0,225
G	5	2,514	-0,525	-1,320
	6	2,520		-1,323
	7	2,526		-1,326
	8	2,532		-1,329
	9	2,526		-1,326
	10	2,519		-1,322
	11	2,514		-1,320
F _{up}	12	2,509	-0,618	-1,359
	13	2,505		-1,548
	14	2,502		-1,546
	15	1,251		-0,773
F _{low}	1	1,251	-0,595	-0,744
	2	2,502		-1,489
	3	2,505		-1,490
	4	2,508		-1,348

15.2.3 UŽITNÉ ZATÍŽENÍ – ZS7



Obr. 14 - Zatěžovací stav 7

	kg/m ²	kN/m ²
Zatížení exponáty	30	0,3

15.2.4 UŽITNÉ ZATÍŽENÍ STROPNÍCH KONSTRUKCÍ – ZS8

Užitná kategorie H – Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

$Q_k = 1 \text{ kN}$

16 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

16.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Kombinace zatížení je provedena dle kombinačního pravidla 6.10, jednotlivé kombinace jsou vygenerované výpočetního programu RFEM.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tab. 10 – Přehled kombinací pro MSÚ

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení
KZ1	1.35*ZS1
KZ2	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2
KZ3	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS3
KZ4	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4
KZ5	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS5
KZ6	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS6
KZ7	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ8	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ9	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ10	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ11	1.35*ZS1 + 1.5*ZS2 + 1.05*ZS7
KZ12	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3
KZ13	1.35*ZS1 + 1.5*ZS4
KZ14	1.35*ZS1 + 1.5*ZS5
KZ15	1.35*ZS1 + 1.5*ZS6
KZ16	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3
KZ17	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS4
KZ18	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS5
KZ19	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS6
KZ20	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ21	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ22	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ23	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ24	1.35*ZS1 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ25	1.35*ZS1 + 1.5*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ26	1.35*ZS1 + 1.5*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ27	1.35*ZS1 + 1.5*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ28	1.35*ZS1 + 1.5*ZS7
KZ29	1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS7

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení
KZ58	ZS1
KZ59	ZS1 + 1.5*ZS2
KZ60	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS3
KZ61	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4
KZ62	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS5
KZ63	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS6
KZ64	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ65	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ66	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ67	ZS1 + 1.5*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ68	ZS1 + 1.5*ZS2 + 1.05*ZS7
KZ69	ZS1 + 1.5*ZS3
KZ70	ZS1 + 1.5*ZS4
KZ71	ZS1 + 1.5*ZS5
KZ72	ZS1 + 1.5*ZS6
KZ73	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3
KZ74	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS4
KZ75	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS5
KZ76	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS6
KZ77	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ78	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ79	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ80	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ81	ZS1 + 1.5*ZS3 + 1.05*ZS7
KZ82	ZS1 + 1.5*ZS4 + 1.05*ZS7
KZ83	ZS1 + 1.5*ZS5 + 1.05*ZS7
KZ84	ZS1 + 1.5*ZS6 + 1.05*ZS7
KZ85	ZS1 + 1.5*ZS7
KZ86	ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS7

KZ30	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS7$
KZ31	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS7$
KZ32	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS7$
KZ33	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS7$
KZ34	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS7$
KZ35	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS7$
KZ36	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS7$
KZ37	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS7$
KZ38	$1.35*ZS1 + 1.5*ZS8$
KZ39	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS8$
KZ40	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS8$
KZ41	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS8$
KZ42	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS8$
KZ43	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS8$
KZ44	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ45	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ46	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ47	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ48	$1.35*ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ49	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS8$
KZ50	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS8$
KZ51	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS8$
KZ52	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS8$
KZ53	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ54	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ55	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ56	$1.35*ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ57	$1.35*ZS1 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$

KZ87	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS7$
KZ88	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS7$
KZ89	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS7$
KZ90	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS7$
KZ91	$ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS7$
KZ92	$ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS7$
KZ93	$ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS7$
KZ94	$ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS7$
KZ95	$ZS1 + 1.5*ZS8$
KZ96	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.5*ZS8$
KZ97	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS8$
KZ98	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS8$
KZ99	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS8$
KZ100	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS8$
KZ101	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ102	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ103	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ104	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ105	$ZS1 + 0.75*ZS2 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ106	$ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.5*ZS8$
KZ107	$ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.5*ZS8$
KZ108	$ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.5*ZS8$
KZ109	$ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS8$
KZ110	$ZS1 + 0.9*ZS3 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ111	$ZS1 + 0.9*ZS4 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ112	$ZS1 + 0.9*ZS5 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ113	$ZS1 + 0.9*ZS6 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$
KZ114	$ZS1 + 1.05*ZS7 + 1.5*ZS8$

16.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Kombinace zatížení je provedena dle kombinačního pravidla 6.14b, jednotlivé kombinace jsou vygenerované výpočetním programem RFEM.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tab. 11 – Přehled kombinací pro MSP

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení	Kombin. zatížení	Kombinace zatížení
KZ115	ZS1	KZ145	ZS1 + ZS6
KZ116	ZS1 + ZS2	KZ146	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS6
KZ117	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS3	KZ147	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS6 + 0.7*ZS7
KZ118	ZS1 + ZS3	KZ148	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS6 + 0.7*ZS7
KZ119	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3	KZ149	ZS1 + ZS6 + 0.7*ZS7
KZ120	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS3 + 0.7*ZS7	KZ150	ZS1 + 0.5*ZS2 + 0.6*ZS6 + ZS7
KZ121	ZS1 + ZS2 + 0.7*ZS7	KZ151	ZS1 + 0.6*ZS6 + ZS7
KZ122	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS3 + 0.7*ZS7	KZ152	ZS1 + ZS8
KZ123	ZS1 + ZS3 + 0.7*ZS7	KZ153	ZS1 + 0.6*ZS3 + ZS8
KZ124	ZS1 + ZS7	KZ154	ZS1 + 0.6*ZS3 + 0.7*ZS7 + ZS8
KZ125	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS7	KZ155	ZS1 + 0.7*ZS7 + ZS8
KZ126	ZS1 + 0.5*ZS2 + 0.6*ZS3 + ZS7	KZ156	ZS1 + 0.6*ZS4 + ZS8
KZ127	ZS1 + 0.6*ZS3 + ZS7	KZ157	ZS1 + 0.6*ZS4 + 0.7*ZS7 + ZS8
KZ128	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS4	KZ158	ZS1 + 0.6*ZS5 + ZS8
KZ129	ZS1 + ZS4	KZ159	ZS1 + 0.6*ZS5 + 0.7*ZS7 + ZS8
KZ130	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS4	KZ160	ZS1 + 0.6*ZS6 + ZS8
KZ131	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS4 + 0.7*ZS7	KZ161	ZS1 + 0.6*ZS6 + 0.7*ZS7 + ZS8
KZ132	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS4 + 0.7*ZS7	KZ162	ZS2
KZ133	ZS1 + ZS4 + 0.7*ZS7	KZ163	ZS2 + 0.6*ZS5
KZ134	ZS1 + 0.5*ZS2 + 0.6*ZS4 + ZS7	KZ164	ZS2 + 0.6*ZS5 + 0.7*ZS7
KZ135	ZS1 + 0.6*ZS4 + ZS7	KZ165	ZS2 + 0.7*ZS7
KZ136	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS5	KZ166	ZS5
KZ137	ZS1 + ZS5	KZ167	0.5*ZS2 + ZS5
KZ138	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS5	KZ168	0.5*ZS2 + ZS5 + 0.7*ZS7
KZ139	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS5 + 0.7*ZS7	KZ169	ZS5 + 0.7*ZS7
KZ140	ZS1 + 0.5*ZS2 + ZS5 + 0.7*ZS7	KZ170	ZS7
KZ141	ZS1 + ZS5 + 0.7*ZS7	KZ171	0.5*ZS2 + ZS7
KZ142	ZS1 + 0.5*ZS2 + 0.6*ZS5 + ZS7	KZ172	0.5*ZS2 + 0.6*ZS5 + ZS7
KZ143	ZS1 + 0.6*ZS5 + ZS7	KZ173	0.6*ZS5 + ZS7
KZ144	ZS1 + ZS2 + 0.6*ZS6	KZ174	ZS6

17 VNITŘNÍ SÍLY

Tab. 12 – Vaznice IPE 160:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
390	327	0,000	MAX N	26,681	-0,060	4,107	0,000	0,000	KZ 72
1473	971	0,000	MIN N	-19,508	-1,033	8,621	0,000	0,000	KZ 23
597	982	5,000	MAX V _y	0,869	1,910	-11,682	0,000	0,000	KZ 9
597	978	0,000	MIN V _y	0,869	-1,910	11,682	0,000	0,000	KZ 9
381	74	0,000	MAX V _z	-0,492	-0,138	12,763	0,000	0,000	KZ 4
813	563	5,000	MIN V _z	-0,552	0,138	-12,763	0,000	0,000	KZ 4
813		2,500	MAX M _y	-0,552	0,000	0,000	15,954	0,172	KZ 4
126	44	0,000	MIN M _y	-2,693	-0,426	5,761	0,000	0,000	KZ 27
655		2,500	MAX M _z	1,085	0,000	0,000	14,603	2,388	KZ 9
126	44	0,000	MIN M _z	-2,693	-0,426	5,761	0,000	0,000	KZ 27

Tab. 13 – Horní pás vazníku TR KR 193,7x5,0:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1229		2,502	MAX N	14,476	0,934	-0,098	1,181	1,828	KZ 5
964	414	0,000	MIN N	-562,730	-4,807	-0,055	0,113	0,439	KZ 8
1202		1,486	MAX V _y	-562,043	4,086	-0,015	0,045	0,891	KZ 8
186	369	0,000	MIN V _y	-314,224	-4,991	-0,060	0,002	-0,267	KZ 8
149	327	0,000	MAX V _z	13,440	0,013	2,572	-3,423	0,199	KZ 8
1204	297	0,000	MIN V _z	-369,555	0,762	-2,523	3,112	-1,217	KZ 23
714	717	0,000	MAX M _y	-203,332	0,566	-0,973	4,953	-0,523	KZ 22
1244	18	5,039	MIN M _y	-162,884	-0,411	-0,373	-6,749	-0,809	KZ 23
964		1,046	MAX M _z	-562,679	-4,483	-0,055	0,056	5,292	KZ 8
6	74	0,000	MIN M _z	3,411	-0,173	1,119	-1,239	-4,978	KZ 23

Tab. 14 – Dolní pás vazníku TR KR 168,3x5,0:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1154	464	5,042	MAX N	552,126	0,820	-0,016	-0,064	1,501	KZ 8
1270	21	5,009	MIN N	11,118	-0,773	6,787	24,890	0,718	KZ 71
1086	596	0,000	MAX V _y	480,103	13,497	-0,038	0,364	12,003	KZ 31
1168	236	0,000	MIN V _y	483,003	-13,542	-0,015	0,147	-12,047	KZ 31
966	718	0,000	MAX V _z	150,588	4,032	9,525	-25,044	3,584	KZ 22
967	716	0,000	MIN V _z	201,673	5,726	-7,950	22,616	5,071	KZ 22
1270	21	5,009	MAX M _y	23,688	-1,168	6,816	25,027	1,109	KZ 14
1325	718	5,009	MIN M _y	48,612	-3,913	-6,774	-25,136	3,584	KZ 22
1168		2,533	MAX M _z	541,250	-8,138	-0,016	0,109	14,915	KZ 8
1086		2,533	MIN M _z	538,137	8,090	-0,041	0,269	-14,841	KZ 8

Tab. 15 – Diagonály vazníku TR KR 114,3x4,0:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
461	479	3,674	MAX N	219,904	0,000	-0,184	0,000	0,000	KZ 8
219	218	0,000	MIN N	-255,286	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 8
7	1	0,000	MAX V _y	-6,341	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 1
7	1	0,000	MIN V _y	-6,341	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 1
43	38	0,000	MAX V _z	31,077	0,000	0,185	0,000	0,000	KZ 8
43	49	3,857	MIN V _z	31,509	0,000	-0,185	0,000	0,000	KZ 8
43		1,928	MAX M _y	31,293	0,000	0,000	0,178	0,000	KZ 8
7	1	0,000	MIN M _y	-6,341	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 1
7	1	0,000	MAX M _z	-6,341	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 1
7	1	0,000	MIN M _z	-6,341	0,000	0,184	0,000	0,000	KZ 1

Tab. 16 – Svislice vazníku TR KR 60,3x4,0:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1394	941	2,516	MAX N	-0,374	0,000	0,000	0,000	0,000	KZ 84
1440	473	0,000	MIN N	-41,651	0,000	0,000	0,000	0,000	KZ 10

Tab. 17 – Táhla KR 20:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
776	724	5,385	MAX N	63,663	0,000	0,000	0,000	0,000	KZ 72

Tab. 18 – Dolní pás podélného ztužidla TR KR 88,9x3,2:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1268	656	0,000	MAX N	32,203	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 22
1353	4	0,000	MIN N	-47,749	0,000	0,169	0,000	0,000	KZ 72
1245	16	0,000	MAX V _y	0,544	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 1
1245	16	0,000	MIN V _y	0,544	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 1
1268	656	0,000	MAX V _z	32,203	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 22
1268	716	5,000	MIN V _z	32,203	0,000	-0,228	0,000	0,000	KZ 22
1268		2,500	MAX M _y	32,203	0,000	0,000	0,286	0,000	KZ 22
1245	16	0,000	MIN M _y	0,544	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 1
1245	16	0,000	MAX M _z	0,544	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 1
1245	16	0,000	MIN M _z	0,544	0,000	0,228	0,000	0,000	KZ 1

Tab. 19 – Hlavní sloupy HEB 280:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
23	25	0,000	MAX N	-9,209	12,545	-3,944	14,825	28,042	KZ 72
445	460	0,000	MIN N	-266,016	12,705	4,255	-17,291	0,000	KZ 10
91	76	0,000	MAX V _y	-20,314	43,660	-19,552	1,955	4,366	KZ 72
1	1	0,000	MIN V _y	-67,318	-28,403	5,424	0,000	0,000	KZ 23
677	700	0,000	MAX V _z	-152,723	21,439	30,177	-54,768	0,248	KZ 23
696	720	0,000	MIN V _z	-92,828	-10,442	-30,268	-2,067	-20,699	KZ 84
116	99	2,000	MAX M _y	-105,699	-0,024	16,606	95,515	0,000	KZ 70
290	279	2,000	MIN M _y	-183,813	0,032	-17,256	-128,477	0,000	KZ 22
28	31	2,000	MAX M _z	-11,913	-8,993	-6,619	23,561	40,275	KZ 72
677	724	2,000	MIN M _z	-95,065	21,660	30,009	8,782	-43,133	KZ 72

Tab. 20 – Čelní sloupy HEB 240:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1916	7	0,722	MAX N	0,003	0,489	-11,448	1,851	0,000	KZ 70
1003	151	2,000	MIN N	-25,084	0,872	11,014	-0,464	0,000	KZ 14
1077	370	0,000	MAX V _y	-1,428	7,638	-11,118	-6,268	-0,019	KZ 71
1077	370	0,000	MIN V _y	-1,927	-8,543	8,079	5,581	-0,230	KZ 23
1915	371	0,000	MAX V _z	-1,247	0,165	16,298	-19,089	0,183	KZ 22
1906	509	0,000	MIN V _z	-1,247	0,081	-16,299	19,086	0,090	KZ 22
1039	489	2,000	MAX M _y	-10,782	-0,531	3,235	40,130	-1,630	KZ 14
1012	322	2,000	MIN M _y	-10,782	-0,841	-3,235	-40,131	-1,591	KZ 14
1004	254	2,000	MAX M _z	-11,061	-0,161	2,869	-14,315	2,197	KZ 71
1076	331	0,000	MIN M _z	-7,146	-0,934	-3,683	-21,326	-3,886	KZ 22

Tab. 21 – Paždíky U 120:

Prut č.	Uzel č.	Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]		Příslušející KZ
				N	V _y	V _z	M _y	M _z	
1667	326	0,000	MAX N	19,153	-1,260	3,506	0,000	0,000	KZ 22
731	677	0,000	MIN N	-27,566	-0,544	-2,670	0,000	0,000	KZ 71
1666	330	5,000	MAX V _y	18,995	1,260	-2,003	0,000	0,000	KZ 22
1666	329	0,000	MIN V _y	18,995	-1,260	2,003	0,000	0,000	KZ 22
1678	371	0,000	MAX V _z	8,904	-0,934	4,568	0,000	0,000	KZ 71
1681	31	2,000	MIN V _z	8,904	0,934	-4,568	0,000	0,000	KZ 71
1678		2,500	MAX M _y	8,904	0,000	0,000	5,710	1,167	KZ 71
1741		0,500	MIN M _y	6,792	0,000	0,000	-5,710	1,576	KZ 20
1666		2,500	MAX M _z	18,995	0,000	0,000	2,503	1,576	KZ 22
267	197	0,000	MIN M _z	-10,225	-0,734	2,002	0,000	0,000	KZ 15

18 POSOUZENÍ PRVKŮ KONSTRUKCE NA MSÚ

18.1 VAZNICE

Průřez IPE 160, válcovaný

Vaznici je zabráněno v klopení, vztěr okolo osy z nenastává

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	2 009	mm^2
$I_y =$	8 693 000	mm^4
$I_z =$	683 100	mm^4
$W_y =$	108 700	mm^3
$W_z =$	16 660	mm^3
$A_{v,y} =$	1 832,6	mm^2
$A_{v,z} =$	965,6	mm^2

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina:

$$c_w = 127,2 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,0 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{127,2}{5,0} = 25,44 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 44,008$$

→ stojina třídy 1

Pásnice:

$$c_f = 29,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 7,4 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{29,5}{7,4} = 3,99 \leq 9 \cdot \varepsilon = 7,323$$

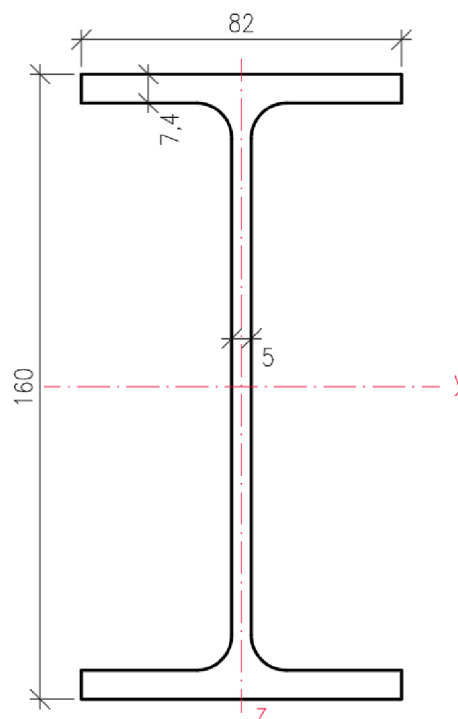
→ pásnice třídy 1

Celý průřez → průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 1473, kombinace KZ72

$$N_{t,Ed} = 26,681 \text{ kN}$$



Obr. 15 - Průřez vaznice IPE 160

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2009 \cdot 355}{1,0} = 713\,195 \text{ N} = 713,195 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{26,681}{713,195} = 0,04 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (4% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 1473, kombinace KZ23

$$N_{c,Ed} = -19,508 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2009 \cdot 355}{1,0} = 713\,195 \text{ N} = 713,195 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{19,508}{713,195} = 0,03 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (3% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Y

Prut č. 813, kombinace KZ4

$$M_{y,Ed} = 15,954 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{123\,900 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 43,985 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{15,954}{43,985} = 0,36 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (36% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Z

Prut č. 655, kombinace KZ9

$$M_{z,Ed} = 2,388 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{26\,100 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 9,266 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{2,388}{9,266} = 0,26 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (26% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Y

Prut č. 597, kombinace KZ9

$$V_{y,Ed} = 1,910 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,y} = 1283,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1283,6 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 263\,086 \text{ N} = 263,086 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{1,910}{263,086} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Z

Prut č. 813, kombinace KZ4

$$V_{z,Ed} = 12,763 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,z} = 965,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,z,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{965,6 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 197\,909 \text{ N} = 197,909 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{12,763}{197,909} = 0,06 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (6% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Y

Prut č. 1473, kombinace KZ23

$$N_{c,Ed} = -19,508 \text{ kN}; L_{cr,y} = 5000 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,Ed} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 8,693 \cdot 10^7}{5000^2} = 720\,690 \text{ N} = 720,690 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2009 \cdot 355}{720,690 \cdot 10^3}} = 0,995$$

$$\theta_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,995 - 0,2) + 0,995^2] = 1,078$$

Křivka vzpěrné pevnosti $a \rightarrow \alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,078 + \sqrt{1,078^2 - 0,995^2}} = 0,669$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,669 \cdot 2009 \cdot 355}{1,0} = 477\,303 \text{ kN} = 477,303 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{19,508}{477,303} = 0,04 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (4% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Z

Vzpěr okolo osy z nenastává, uchycením sandwichových panelů k pásnici vaznici je bráněno proti vybočení okolo osy z.

POSOUZENÍ NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Prut č. 1473, kombinace KZ10

$$N_{Ed} = 12,769 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 14,753 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,627 \text{ kNm}$$

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

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

Charakteristické únosnosti v tlaku a v ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2009 \cdot 355 = 713,195 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 123\,900 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 43,985 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 26\,100 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 9,266 \text{ kNm}$$

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \right] \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

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

Součinitel C_{my} :

$$M_{y,h} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{y,s} = 14,753 \text{ kNm}$$

$$\psi_y = 0,000$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,000}{14,753} = 0,000$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,000 = 0,95$$

Součinitel C_{mz} :

$$M_{z,h} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{z,s} = 1,627 \text{ kNm}$$

$$\psi_z = 0,000$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,000}{1,627} = 0,000$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,000 = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[\left(1 + (0,995 - 0,2) \cdot \frac{12,769}{\frac{0,669 \cdot 731,195}{1,0}} \right) \right] = 0,970$$
$$\leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{12,769}{\frac{0,669 \cdot 731,195}{1,0}} \right) = 0,970 \rightarrow k_{yy} = 0,970$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,970 = 0,582$$

$$k_{zz} = 0,95 \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot 0 - 0,6) \cdot \frac{12,769}{\frac{1,0 \cdot 731,195}{1,0}} \right) \right] = 0,940$$
$$\leq 0,95 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{12,769}{\frac{1,0 \cdot 731,195}{1,0}} \right) = 0,973$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,940 = 0,564$$

Rovnice 6.61

$$\frac{12,769}{\frac{0,669 \cdot 731,195}{1,0}} + 0,970 \cdot \frac{14,753 + 0}{1,0 \cdot 43,985} + 0,564 \cdot \frac{1,627 + 0}{\frac{9,266}{1,0}} = 0,45 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

$$\frac{12,769}{1,0 \cdot 731,195} + 0,582 \cdot \frac{14,753 + 0}{1,0 \cdot 43,985} + 0,940 \cdot \frac{1,627 + 0}{\frac{9,266}{1,0}} = 0,39 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (45% využití)

18.2 HORNÍ PÁS VAZNÍKU

TR KR 193,7x5,0; válcovaný za tepla

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,532 \text{ m}$$

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	2960	mm^2
$I_y =$	13 200 000	mm^4
$I_z =$	13 200 000	mm^4
$W_y =$	178 000	mm^3
$W_z =$	178 000	mm^3
$A_{v,y} =$	1884,4	mm^2
$A_{v,z} =$	1884,4	mm^2

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$d = 193,7 \text{ mm}$$

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{193,7}{5,0} = 38,74 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 46,38$$

→ průřez třídy 2

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 1229, kombinace KZ5

$$N_{t,Ed} = 14,476 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2960 \cdot 355}{1,0} = 1\,050\,800 \text{ N} = 1\,050,800 \text{ kN}$$

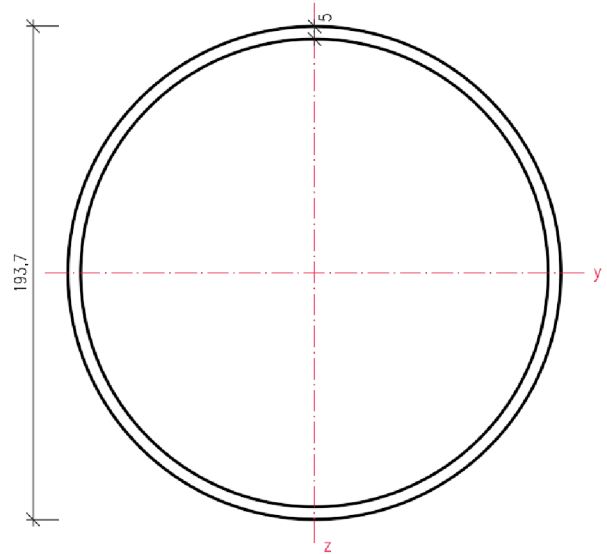
$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{14,476}{1050,800} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 964, kombinace KZ8

$$N_{c,Ed} = -562,730 \text{ kN}$$



Obr. 16 - Průřez horního pásu vazníku

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2960 \cdot 355}{1,0} = 1\,050\,800 \text{ N} = 1\,050,800 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{562,730}{1\,050,800} = 0,54 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (54% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB

$$M_{y,Ed} = 6,749 \text{ kNm (Prut č. 1244, kombinace K23)}$$

$$M_{z,Ed} = 5,292 \text{ kNm (Prut č. 964, kombinace KZ8)}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{178000 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 63,190 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{6,749}{63,190} = 0,11 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (11% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK

$$V_{y,Ed} = 4,991 \text{ kN (Prut č. 186, kombinace K8)}$$

$$V_{z,Ed} = 2,572 \text{ kN (Prut č. 149, kombinace KZ8)}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_v = 1884,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1884,4 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 386\,225 \text{ N} = 386,225 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{4,991}{386,225} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR

Prut č. 964, kombinace KZ8

$$N_{c,Ed} = -562,730 \text{ kN}; L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2532 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 1,32 \cdot 10^7}{2532^2} = 4\,267\,422 \text{ N} = 4\,267,442 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2960 \cdot 355}{4\,267,442 \cdot 10^3}} = 0,496$$

$$\theta = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,496 - 0,2) + 0,496^2] = 0,654$$

Křivka vzpěrné pevnosti $a \rightarrow \alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,654 + \sqrt{0,654^2 - 0,496^2}} = 0,925$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,925 \cdot 2960 \cdot 355}{1,0} = 972\,453 \text{ kN} = 972,453 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{562,730}{972,453} = 0,58 \leq 1,0$$

\rightarrow Vyhovuje (58% využití)

POSOUZENÍ NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Prut č. 1209, kombinace KZ10

$$N_{Ed} = -552,963 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 1,701 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 5,123 \text{ kNm}$$

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

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

Charakteristické únosnosti v tlaku a v ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2960 \cdot 355 = 1050,800 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 178\,000 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 63,190 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 178\,000 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 63,190 \text{ kNm}$$

Interakční součinitelé k_{ij} dle metody 2:

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

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

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

Součinitel C_{my} :

$$\psi_y = 0,617$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 0,617 = 0,847 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,847$$

Součinitel C_{mz} :

$$M_{z,h} = 4,042 \text{ kNm}$$

$$M_{z,s} = 5,123 \text{ kNm}$$

$$\psi_y = 0,072$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{4,042}{5,123} = 0,789$$

$$C_{mz} = 0,90 + 0,1 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,1 \cdot 0,789 = 0,979$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,496$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,496$$

$$\chi_y = 0,925$$

$$\chi_z = 0,925$$

$\chi_{LT} = 1,0$ – prut necitlivý na distorzní deformace

$$k_{yy} = 0,847 \cdot \left[\left(1 + (0,496 - 0,2) \cdot \frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} \right) \right] = 0,990$$
$$\leq 0,847 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} \right) = 1,232 \rightarrow k_{yy} = 0,990$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,990 = 0,594$$

$$k_{zz} = 0,979 \cdot \left[\left(1 + (0,496 - 0,2) \cdot \frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} \right) \right] = 1,144$$
$$\leq 0,979 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} \right) = 1,424 \rightarrow k_{zz} = 1,144$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,144 = 0,686$$

Rovnice 6.61

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$
$$\frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} + 0,990 \cdot \frac{1,701 + 0}{\frac{1 \cdot 63,190}{1,0}} + 0,686 \cdot \frac{5,123 + 0}{\frac{63,190}{1,0}} = 0,65 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

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

$$\frac{552,963}{\frac{0,925 \cdot 1050,8}{1,0}} + 0,594 \cdot \frac{1,701 + 0}{\frac{1 \cdot 63,190}{1,0}} + 1,144 \cdot \frac{5,123 + 0}{\frac{63,190}{1,0}} = 0,68 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (68% využití)

18.3 DOLNÍ PÁS VAZNÍKU

TR KR 168,3x5,0; válcovaný za tepla

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel: S355
 Mez kluzu: $f_y = 355 \text{ MPa}$
 Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$
 Modul pružnosti ve smyku: $G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A = 2570 \text{ mm}^2$
 $I_y = 8\,560\,000 \text{ mm}^4$
 $I_z = 8\,560\,000 \text{ mm}^4$
 $W_y = 133\,000 \text{ mm}^3$
 $W_z = 133\,000 \text{ mm}^3$
 $A_{v,y} = 1636,1 \text{ mm}^2$
 $A_{v,z} = 1636,1 \text{ mm}^2$

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$d = 193,7 \text{ mm}$$

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{168,5}{5,0} = 33,7 \leq 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 46,38$$

→ průřez třídy 2

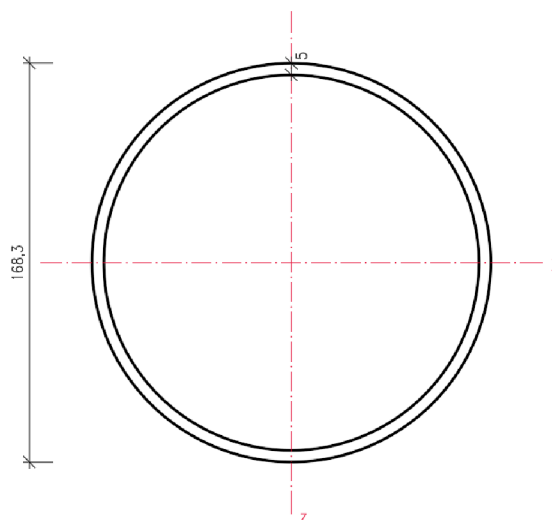
POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 1154, kombinace KZ8

$$N_{t,Ed} = 552,126 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2570 \cdot 355}{1,0} = 912\,350 \text{ N} = 912,350 \text{ kN}$$



Obr. 17 - Průřez dolního pásu vazníku

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{552,126}{912,350} = 0,61 \leq 1,0$$

Vyhovuje (61% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB

$$M_{y,Ed} = 25,136 \text{ kNm (Prut č. 1325, kombinace K22)}$$

$$M_{z,Ed} = 14,915 \text{ kNm (Prut č. 1168, kombinace KZ8)}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{133000 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 47,215 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{25,136}{47,215} = 0,53 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (53% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK

$$V_{y,Ed} = 13,542 \text{ kN (Prut č. 1168, kombinace KZ31)}$$

$$V_{z,Ed} = 9,525 \text{ kN (Prut č. 966, kombinace KZ22)}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_v = 1636,1 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1636,1 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 335\,334 \text{ N} = 335,334 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{13,542}{335,334} = 0,04 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (4% využití)

POSOUZENÍ NA KOMBINACI OHYBU A OSOVÉ SÍLY

Prut č. 1156, kombinace KZ8

$$N_{Ed} = 541,024 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,054 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 14,901 \text{ kNm}$$

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

$$M_{n,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left(\frac{1 - \eta}{1 - 0,5 \cdot a_w} \right)$$

$$M_{n,Rd} = 47,215 \cdot \left(\frac{1 - 0,59}{1 - 0,5 \cdot 0,5} \right) = 25,810 \text{ kNm} \leq M_{pl,Rd} = 47,215 \text{ kNm}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{541,024}{912,350} = 0,59$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{n,Rd}} = \frac{14,901}{25,810} = 0,57 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (57% využití)

POSOUZENÍ NA OHYB, SMYK A OSOVOU SÍLU

$$V_{Ed} = 13,542 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 167,667 \text{ kN}$$

→ je možné zanedbat účinek smykové síly při působení ohybu a osové síly

18.4 DIAGONÁLY VAZNÍKU

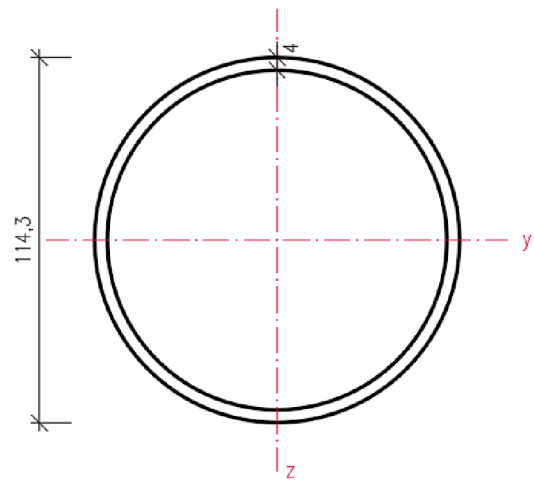
TR KR 114,3x4,0; válcovaný za tepla

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	1390	mm^2
$I_y =$	2 110 000	mm^4
$I_z =$	2 110 000	mm^4
$W_y =$	133 000	mm^3
$W_z =$	133 000	mm^3
$A_{v,y} =$	884,9	mm^2
$A_{v,z} =$	884,9	mm^2



Obr. 18 - Průřez diagonály vazníku

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$d = 114,3 \text{ mm}$$

$$t = 4,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{4,0} = 28,58 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81$$

→ průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 461, kombinace KZ8

$$N_{t,Ed} = 219,904 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1390 \cdot 355}{1,0} = 493\,450 \text{ N} = 493,450 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{219,904}{493,450} = 0,45 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (45% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 219, kombinace KZ8

$$N_{c,Ed} = -255,286 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1390 \cdot 355}{1,0} = 493\,450 \text{ N} = 493,450 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{255,286}{493,450} = 0,52 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (52% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR

Prut č. 219, kombinace KZ8

$$N_{c,Ed} = -255,286 \text{ kN}; L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3492 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2,11 \cdot 10^7}{3492^2} = 358\,635 \text{ N} = 358,635 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1390 \cdot 355}{358,635 \cdot 10^3}} = 1,173$$

$$\theta = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,173 - 0,2) + 1,173^2] = 1,290$$

Křivka vzpěrné pevnosti a → $\alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,290 + \sqrt{1,290^2 - 1,173^2}} = 0,547$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,547 \cdot 1390 \cdot 355}{1,0} = 270\,052 \text{ kN} = 270,052 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{255,286}{270,052} = 0,95 \leq 1,0$$

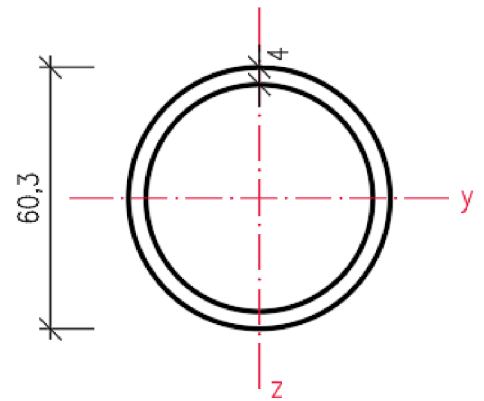
→ Vyhovuje (95% využití)

18.5 SVISLICE VAZNÍKU

TR KR 60,3x4,0; válcovaný za tepla

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$



Obr. 19 - Průřez svislice vazníku

18.5.1 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	707	mm^2
$I_y =$	282 000	mm^4
$I_z =$	282 000	mm^4
$W_y =$	12 700	mm^3
$W_z =$	12 700	mm^3
$A_{v,y} =$	450,1	mm^2
$A_{v,z} =$	450,1	mm^2

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$d = 60,3 \text{ mm}$$

$$t = 4,0 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4,0} = 15,08 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81$$

→ průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 1440, kombinace KZ10

$$N_{c,Ed} = -41,651 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{707 \cdot 355}{1,0} = 250\,985 \text{ N} = 250,985 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{41,651}{250,985} = 0,17 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (17% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR

Prut č. 1440, kombinace KZ10

$$N_{c,Ed} = -41,651 \text{ kN}; L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2506 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2,82 \cdot 10^5}{2532^2} = 93\,069 \text{ N} = 93,069 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{707 \cdot 355}{93,069 \cdot 10^3}} = 1,642$$

$$\theta = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,642 - 0,2) + 1,642^2] = 2,000$$

Křivka vzpěrné pevnosti a $\rightarrow \alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,000 + \sqrt{2,000^2 - 1,642^2}} = 0,318$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,318 \cdot 707 \cdot 355}{1,0} = 79\,904 \text{ kN} = 79,904 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{41,651}{79,904} = 0,52 \leq 1,0$$

\rightarrow Vyhovuje (52% využití)

18.6 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO

Táhlo Macalloy M20

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S460
Mez kluzu:	$f_y = 460 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

A =	314	mm ²
I _y =	7 854	mm ⁴
I _z =	7 854	mm ⁴
W _y =	785,4	mm ³
W _z =	785,4	mm ³
A _{v,y} =	263,8	mm ²
A _{v,z} =	263,8	mm ²

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

$$N_{t,Ed} = 63,663 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,M20,Rd} = 108,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{63,663}{108,00} = 0,59 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (59% využití)

18.7 PODÉLNÉ ZTUŽIDLO

18.7.1 DIAGONÁLY

Táhlo Macalloy M20

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S460
Mez kluzu:	$f_y = 460 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	314	mm^2
$I_y =$	7 854	mm^4
$I_z =$	7 854	mm^4
$W_y =$	785,4	mm^3
$W_z =$	785,4	mm^3
$A_{v,y} =$	263,8	mm^2
$A_{v,z} =$	263,8	mm^2

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

$$N_{t,Ed} = 63,663 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,M20,Rd} = 108,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{63,663}{108,00} = 0,59 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (59% využití)

18.7.2 DOLNÍ PÁS

TR KR 88,9x3,2; válcovaný za tepla

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	862	mm^2
$I_y =$	792 000	mm^4
$I_z =$	792 000	mm^4
$W_y =$	23 500	mm^3
$W_z =$	23 500	mm^3
$A_{v,y} =$	548,8	mm^2
$A_{v,z} =$	548,8	mm^2

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$d = 88,9 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{88,9}{3,2} = 27,78 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,81$$

→ průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 1268, kombinace KZ22

$$N_{t,Ed} = 32,203 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{862 \cdot 355}{1,0} = 306\,010 \text{ N} = 306,010 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{32,203}{306,010} = 0,11 \leq 1,0$$

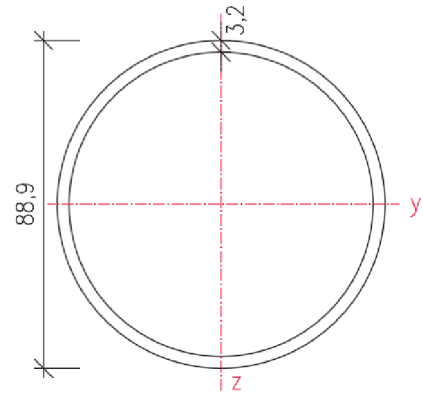
→ Vyhovuje (11% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 1353, kombinace KZ72

$$N_{c,Ed} = -47,749 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$



Obr. 20 - Průřez dolního pásu ztužidla

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{862 \cdot 355}{1,0} = 306\,010 \text{ N} = 306,010 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{47,749}{306,010} = 0,16 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (16% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR

Prut č. 1353, kombinace KZ72

$$N_{c,Ed} = -47,749 \text{ kN}; L_{cr,y} = L_{cr,z} = 5000 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 7,92 \cdot 10^5}{5000^2} = 65\,661 \text{ N} = 65,661 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{862 \cdot 355}{65,661 \cdot 10^3}} = 2,159$$

$$\theta = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,159 - 0,2) + 2,159^2] = 3,036$$

Křivka vzpěrné pevnosti a → $\alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{3,036 + \sqrt{3,036^2 - 2,159^2}} = 0,193$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,193 \cdot 862 \cdot 355}{1,0} = 59\,184 \text{ N} = 59,184 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{47,749}{59,184} = 0,81 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (81% využití)

POSOUZENÍ NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Prut č. 1353, kombinace KZ15

$$N_{c,Ed} = -47,357 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 0,285 \text{ kNm}$$

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

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

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

Charakteristické únosnosti v tlaku a v ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 862 \cdot 355 = 306,010 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 23\,500 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 8,343 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 23\,500 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6 = 8,343 \text{ kNm}$$

Interakční součinitelé k_{ij} dle metody 2:

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

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

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

Součinitel C_{my} :

$$\psi_y = 0,000$$

$$M_{y,h} = 0,000 \text{ kNm}$$

$$M_{y,s} = 0,285 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0,000}{0,285} = 0,285$$

$$C_{my} = 0,90 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,05 \cdot 0,000 = 0,95$$

Součinitel C_{mz} :

$$\psi_y = 0,000$$

$$C_{mz} = 0,60 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,60 + 0,04 \cdot 0,000 = 0,60$$

$$\bar{\lambda}_y = 2,159$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,159$$

$$\chi_y = 0,193$$

$$\chi_z = 0,193$$

$\chi_{LT} = 1,0$ – prut necitlivý na distorzní deformace

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left[\left(1 + (2,159 - 0,2) \cdot \frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} \right) \right] = 2,439$$
$$\leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} \right) = 1,558 \rightarrow k_{yy} = 1,558$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,984 = 0,590$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot \left[\left(1 + (2,159 - 0,2) \cdot \frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} \right) \right] = 1,540$$

$$\leq 0,6 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} \right) = 0,984 \rightarrow k_{zz} = 0,984$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 1,558 = 0,935$$

Rovnice 6.61

$$\frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} + 1,558 \cdot \frac{0,285 + 0}{\frac{1 \cdot 8,343}{1,0}} + 0,590 \cdot 0 = 0,88 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

$$\frac{47,357}{\frac{0,193 \cdot 306,010}{1,0}} + 0,935 \cdot \frac{0,285 + 0}{\frac{1 \cdot 8,343}{1,0}} + 0,984 \cdot 0 = 0,83 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (88% využití)

18.8 HLAVNÍ SLOUPY

Průřez HEB 280

$L_{cr,y} = 19\,130$ mm (Stabilitní analýza)

$L_{cr,z} = 2\,000$ mm

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355$ MPa
Modul pružnosti:	$E = 210$ GPa
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81$ GPa

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	18 100	mm ²
$I_y =$	431 900 000	mm ⁴
$I_z =$	2 680 000	mm ⁴
$W_y =$	2 680 000	mm ³
$W_z =$	1 032 490	mm ³
$A_{v,y} =$	11 258,4	mm ²
$A_{v,z} =$	3973,6	mm ²

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina:

$c_w = 196$ mm

$t_w = 10,5$ mm

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{196}{10,5} = 23,87 \leq 33 \cdot \varepsilon = 26,849$$

→ stojina třídy 1

Pásnice:

$c_f = 110,7$ mm

$t_f = 18$ mm

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{110,7}{18} = 6,153 \leq 9 \cdot \varepsilon = 7,323$$

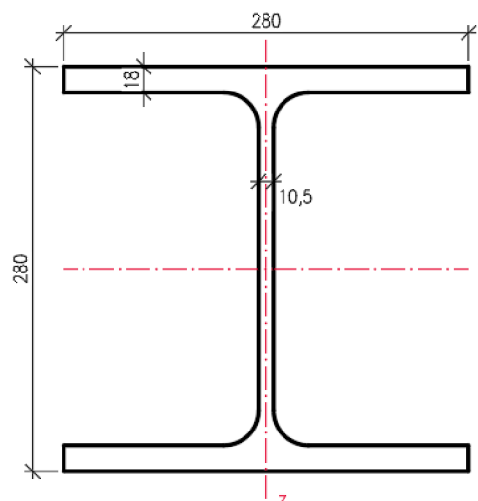
→ pásnice třídy 1

Celý průřez → průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 445, kombinace KZ10

$N_{c,Ed} = -266,016$ kN



Obr. 21 - Průřez hlavního sloupu

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{13140 \cdot 355}{1,0} = 4\,664\,700 \text{ N} = 4\,664,700 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{266,016}{4664,700} = 0,06 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (6% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Y

Prut č. 290, kombinace KZ22

$$M_{y,Ed} = 128,477 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,534 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 544,570 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{128,477}{544,570} = 0,24 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (24% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Z

Prut č. 677, kombinace KZ72

$$M_{z,Ed} = 43,133 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{7,176 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 254,748 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{43,133}{254,748} = 0,17 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (17% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Y

Prut č. 91, kombinace KZ72

$$V_{y,Ed} = 43,660 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,y} = 10442,3 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = \frac{10442,3 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 2\,140\,247 \text{ N} = 2\,140,247 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{43,660}{2140,247} = 0,02 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (2% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Z

Prut č. 696, kombinace KZ84

$$V_{z,Ed} = 30,268 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,z} = 4113 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,z,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4113 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 842\,998 \text{ N} = 842,998 \text{ kN}$$

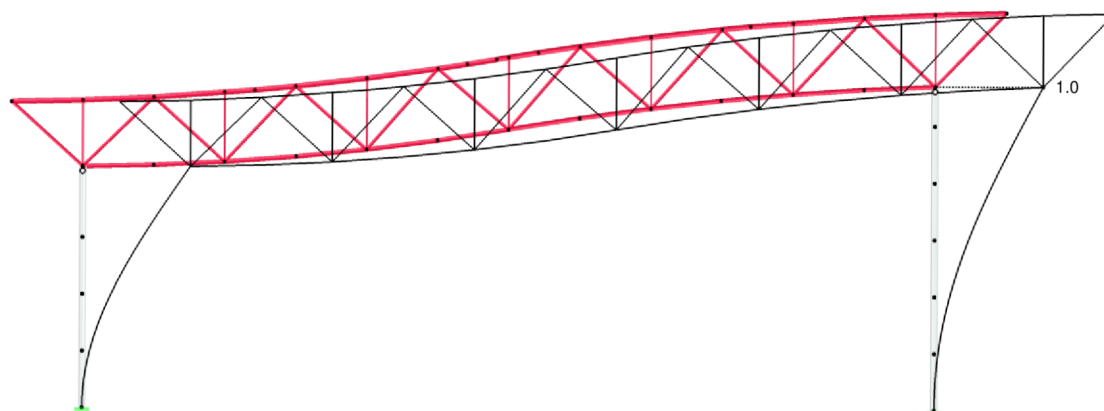
$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{30,268}{842,99} = 0,04 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (4% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Y

Prut č. 445, kombinace KZ10

$N_{c,Ed} = -266,016 \text{ kN}$, $L_{cr,y} = 19130 \text{ mm}$ (dle stabilitní analýzy)



Obr. 22 - Stabilitní analýza

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 1,927 \cdot 10^8}{19130^2} = 1\,091\,367 \text{ N} = 1\,091,367 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{13140 \cdot 355}{1091,367 \cdot 10^3}} = 2,067$$

$$\theta_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,067 - 0,2) + 2,067^2] = 2,995$$

Křivka vzpěrné pevnosti b → $\alpha = 0,34$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,995 + \sqrt{2,995^2 - 2,067^2}} = 0,197$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,197 \cdot 13140 \cdot 355}{1,0} = 920\,916 \text{ N} = 920,916 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{266,016}{920,916} = 0,29 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (29% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Z

Prut č. 445, kombinace KZ10

$$N_{c,Ed} = -266,016 \text{ kN}, L_{cr,z} = 2000 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 6,595 \cdot 10^7}{2000^2} = 34\,172\,272 \text{ N} = 34\,172,272 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{13140 \cdot 355}{34\,172,272 \cdot 10^3}} = 0,369$$

$$\theta_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,369 - 0,2) + 0,369^2] = 0,610$$

Křivka vzpěrné pevnosti c → α = 0,49

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,610 + \sqrt{0,610^2 - 0,369^2}} = 0,913$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,913 \cdot 13140 \cdot 355}{1,0} = 4\,260\,520 \text{ N} = 4\,260,520 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{266,016}{4260,520} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR ZKROUCENÍM

Prut č. 445, kombinace KZ10

$$N_{c,Ed} = -266,016 \text{ kN}$$

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

$$L_{cr,T} = k_w \cdot L = 0,7 \cdot 11500 = 8050 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{121,1^2 + 70,9^2} \cdot \left(81000 \cdot 1,437 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1,13 \cdot 10^7}{8050^2} \right) \\ &= 5910,890 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{13140 \cdot 355}{5910,890 \cdot 10^3}} = 0,888$$

$$\theta_T = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,888 - 0,2) + 0,888^2] = 1,063$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_T = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,063 + \sqrt{1,063^2 - 0,888^2}} = 0,607$$

$$N_{b,T,Rd} = \frac{\chi_T \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,607 \cdot 13140 \cdot 355}{1,0} = 2\,831,496 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{266,016}{2831,496} = 0,09 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (9% využití)

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ

Prut č. 290, kombinace KZ22

$$M_{y,Ed} = 128,477 \text{ kNm}$$

$L_{cr,LT} = 2000 \text{ mm}$ (pomocí vzpěrek bude zajištěna pásnice proti klopení)

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,LT,Rd}} \leq 1,0$$

$$K_y = 1,0; k_w = 0,7$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 140}{1 \cdot 2000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,595 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,437 \cdot 10^6}} = 2,399$$

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{0,7 \cdot 2000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,13 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,437 \cdot 10^6}} = 0,01$$

$$c_{1,0} = 1,77$$

$$c_{1,1} = 1,85$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) k_{\omega t} = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,01 = 1,771$$

$$c_2 = 0$$

$$\mu_{cr} = \left[\frac{c_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j)^2} - c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j \right]$$

$$\mu_{cr} = \left[\frac{1,771}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,01^2 + 0 - 0 - 0} \right] = 1,771$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,771 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 6,595 \cdot 10^7 \cdot 81\,000 \cdot 1,437 \cdot 10^6}}{2000} = 3\,532,228 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,534 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{3532,228 \cdot 10^3}} = 0,393 \leq 0,4$$

→ ke klopení nedochází

POSOUZENÍ NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Prut č. 406, kombinace KZ22

$$N_{c,Ed} = -184,020 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 128,445 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,182 \text{ kNm}$$

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

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

Charakteristické únosnosti v tlaku a v ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 13140 \cdot 355 = 4664,700 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,534 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 544,570 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 7,176 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 254,748 \text{ kNm}$$

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \right] \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

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

Součinitel C_{my} :

$$\psi_y = 0,731$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 0,731 = 0,893$$

Součinitel C_{mz} :

$$\psi_z = 0,000$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_z = 0,6 + 0,4 \cdot 0,000 = 0,600$$

$$k_{yy} = 0,893 \cdot \left[\left(1 + (2,079 - 0,2) \cdot \frac{\frac{184,020}{0,197 \cdot 4664,700}}{1,0} \right) \right] = 1,226$$

$$\leq 0,893 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{184,020}{0,197 \cdot 4664,700}}{1,0} \right) = 1,036 \rightarrow k_{yy} = 1,036$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,604 = 0,363$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot 0,369 - 0,6) \cdot \frac{184,020}{\frac{0,913 \cdot 4664,700}{1,0}} \right) \right] = 0,604$$

$$\leq 0,6 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{184,020}{\frac{0,913 \cdot 4664,700}{1,0}} \right) = 0,636 \rightarrow k_{zz} = 0,604$$

$$k_{zy} = 0,6 + k_{zz} = 0,6 + 0,604 = 0,969$$

Rovnice 6.61

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{x_y \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{x_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{184,020}{\frac{0,197 \cdot 4664,700}{1,0}} + 1,036 \cdot \frac{128,445 + 0}{\frac{1,0 \cdot 544,570}{1,0}} + 0,363 \cdot \frac{0,182}{\frac{254,748}{1,0}} = 0,47 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{x_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{x_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{184,020}{\frac{0,913 \cdot 4664,700}{1,0}} + 0,969 \cdot \frac{128,445 + 0}{\frac{1,0 \cdot 544,570}{1,0}} + 0,604 \cdot \frac{0,182}{\frac{254,748}{1,0}} = 0,30 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (47% využití)

18.9 SLOUPY ČELNÍ

HEB 240

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	10 600	mm^2
$I_y =$	112600000	mm^4
$I_z =$	39230000	mm^4
$W_y =$	1053000	mm^3
$W_z =$	498400	mm^3
$A_{v,y} =$	8470	mm^2
$A_{v,z} =$	3324	mm^2
$I_t =$	1027000	mm^4
$I_w =$	$4,869 \cdot 10^{11}$	mm^4

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina:

$$c_w = 164 \text{ mm}$$

$$t_w = 10 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{164}{10} = 16,4 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 45,734$$

→ stojina třídy 1

Pásnice:

$$c_f = 94 \text{ mm}$$

$$t_f = 17 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{94}{17} = 5,529 \leq 9 \cdot \varepsilon = 7,323$$

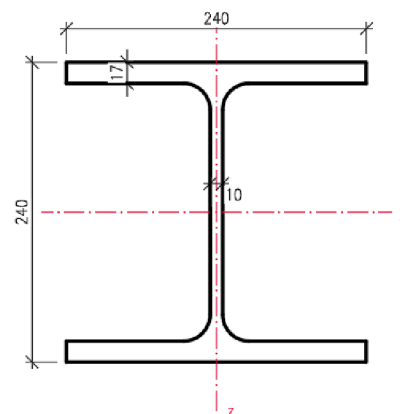
→ pásnice třídy 1

Celý průřez → průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 1003, kombinace KZ14

$$N_{c,Ed} = -25,084 \text{ kN}$$



Obr. 23 - Průřez čelního sloupu

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{10600 \cdot 355}{1,0} = 3\,763\,000 \text{ N} = 3\,763\,000 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{25,084}{3763000} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Y

Prut č. 1012, kombinace KZ14

$$M_{y,Ed} = 40,131 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,053 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 373,815 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{40,131}{373,815} = 0,11 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (11% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Z

Prut č. 1076, kombinace KZ22

$$M_{z,Ed} = 3,886 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{498400 \cdot 10^{-9} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 176,932 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{3,886}{176,932} = 0,02 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (2% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Y

Prut č. 1077, kombinace KZ23

$$V_{y,Ed} = 8,543 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,y} = 8740 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = \frac{8740 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1\,736\,006 \text{ N} = 1\,736,006 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{8,543}{1736,006} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Z

Prut č. 1906, kombinace KZ22

$$V_{z,Ed} = 16,299 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,z} = 3324 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,z,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3324 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 681\,285 \text{ N} = 681,285 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{16,299}{681,285} = 0,02 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (2% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Y

Prut č. 1003, kombinace KZ14

$$N_{c,Ed} = -25,084 \text{ kN}, L_{cr,y} = 11110 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 1,126 \cdot 10^8}{11110^2} = 1\,890\,729 \text{ N} = 1\,890,729 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{10600 \cdot 355}{1890,729 \cdot 10^3}} = 1,411$$

$$\theta_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,411 - 0,2) + 1,411^2] = 1,701$$

Křivka vzpěrné pevnosti b → $\alpha = 0,34$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_y = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,701 + \sqrt{1,701^2 - 1,411^2}} = 0,377$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,377 \cdot 10600 \cdot 355}{1,0} = 1\,419\,356 \text{ N} = 1\,419,356 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{25,084}{1419,356} = 0,02 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (2% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR OKOLO OSY Z

Prut č. 1003, kombinace KZ14

$$N_{c,Ed} = -25,084 \text{ kN}, L_{cr,z} = 2000 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1,0$$

Kritická síla:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3,923 \cdot 10^7}{2000^2} = 20\,327\,190 \text{ N} = 20\,327,190 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{10600 \cdot 355}{20327,190 \cdot 10^3}} = 0,430$$

$$\theta_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,430 - 0,2) + 0,430^2] = 0,649$$

Křivka vzpěrné pevnosti c → α = 0,49

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_z = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,649 + \sqrt{0,649^2 - 0,430^2}} = 0,881$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,881 \cdot 10600 \cdot 355}{1,0} = 3\,315\,947 \text{ N} = 3\,315,947 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{25,084}{3315,947} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA VZPĚR ZKROUCENÍM

Prut č. 1003, kombinace KZ14

$$N_{c,Ed} = -25,084 \text{ kN}$$

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

$$L_{cr,T} = k_w \cdot L = 1 \cdot 11110 = 11\,110 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{103,1^2 + 60,8^2} \cdot \left(81000 \cdot 1,07 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 4,9 \cdot 10^{11}}{11110^2} \right) \\ &= 6377,301 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{10600 \cdot 355}{6377,301 \cdot 10^3}} = 0,768$$

$$\theta_T = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,768 - 0,2) + 0,768^2] = 0,934$$

Křivka vzpěrné pevnosti c → α = 0,49

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_T = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,934 + \sqrt{0,934^2 - 0,768^2}} = 0,682$$

$$N_{b,T,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,682 \cdot 18100 \cdot 355}{1,0} = 2\,566,946 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{25,084}{2566,946} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ

Prut č. 1012, kombinace KZ14

$$M_{y,Ed} = 40,131 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,LT,Rd}} \leq 1,0$$

$$K_y = 1,0; k_w = 1,0$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 120}{1 \cdot 2000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,923 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,027 \cdot 10^6}} = 1,876$$

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 4,869 \cdot 10^8}{81000 \cdot 1,027 \cdot 10^6}} = 1,741$$

$$c_{1,0} = 1,13$$

$$c_{1,1} = 1,13$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) k_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,77) \cdot 1,741 = 1,13$$

$$c_2 = 0,46$$

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j)^2} - c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j \right]$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \left[\sqrt{1 + 1,741^2 + (0,46 \cdot 1,876 - 0)^2} - 0,46 \cdot 1,876 - 0 \right] = 1,495$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,495 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 3,923 \cdot 10^7 \cdot 81\,000 \cdot 1,027 \cdot 10^6}}{2000} = 1943,799 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,053 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1943,799 \cdot 10^3}} = 0,439 \geq 0,4$$

→ docházení ke klopení

$$\theta_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,439 - 0,2) + 0,439^2] = 0,655$$

$$h/b = 240/240 = 1,0 \leq 2$$

Křivka klopení c → α = 0,49

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,655 + \sqrt{0,655^2 - 0,439^2}} = 0,877$$

$$M_{LT,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,877 \cdot 1,053 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 327,710 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{LT,Rd}} = \frac{40,131}{327,710} = 0,12 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (12% využití)

POSOUZENÍ NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Prut č. 1012, kombinace KZ22

$$N_{c,Ed} = -8,535 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 40,128 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 3,825 \text{ kNm}$$

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

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

Charakteristické únosnosti v tlaku a v ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 10600 \cdot 355 = 3763,000 \text{ kN}$$

$$M_{Rk,y} = W_{ply} \cdot f_y = 1,053 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6 = 373,815 \text{ kNm}$$

$$M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y = 4,984 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6 = 176,932 \text{ kNm}$$

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

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

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \right) \right] \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{x_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

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

Součinitel C_{my} :

$$\psi_y = 0,839$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_y = 0,6 + 0,4 \cdot 0,839 = 0,936$$

Součinitel C_{mz} :

$$\psi_z = 0,547$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_z = 0,6 + 0,4 \cdot 0,547 = 0,819$$

Součinitel C_{mLT} :

$$\psi_{LT} = 0,839$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi_{LT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,839 = 0,936$$

$$k_{yy} = 0,936 \cdot \left[\left(1 + (1,411 - 0,2) \cdot \frac{8,535}{\frac{0,377 \cdot 3763,000}{1,0}} \right) \right] = 0,944$$

$$\leq 0,936 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{8,535}{\frac{0,377 \cdot 3763,000}{1,0}} \right) = 0,941 \rightarrow k_{yy} = 0,941$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,820 = 0,492$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,430}{(0,936 - 0,25)} \cdot \frac{8,535}{\frac{0,881 \cdot 3763,000}{1,0}} \right] = 1,000$$

$$\geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,936 - 0,25)} \cdot \frac{8,535}{\frac{0,881 \cdot 3763,000}{1,0}} \right] = 1,000 \rightarrow k_{zy} = 1,000$$

$$k_{zz} = 0,819 \cdot \left[\left(1 + (2 \cdot 0,430 - 0,6) \cdot \frac{8,535}{\frac{0,881 \cdot 3763,000}{1,0}} \right) \right] = 0,820$$

$$\leq 0,819 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{8,535}{\frac{0,881 \cdot 3763,000}{1,0}} \right) = 0,823 \rightarrow k_{zz} = 0,820$$

Rovnice 6.61

$$\frac{8,535}{\frac{0,377 \cdot 3763,000}{1,0}} + 0,941 \cdot \frac{40,128 + 0}{\frac{0,877 \cdot 373,815}{1,0}} + 0,492 \cdot \frac{3,825 + 0}{\frac{176,932}{1,0}} = 0,13 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

$$\frac{8,535}{\frac{0,881 \cdot 3763,000}{1,0}} + 0,492 \cdot \frac{40,128 + 0}{\frac{0,877 \cdot 373,815}{1,0}} + 0,820 \cdot \frac{3,825 + 0}{\frac{176,932}{1,0}} = 0,14 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (14% využití)

18.10 PAŽDÍKY

U 120

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Ocel:	S355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81 \text{ GPa}$

PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$A =$	1700	mm^2
$I_y =$	3 640 000	mm^4
$I_z =$	432 000	mm^4
$W_y =$	66 508,6	mm^3
$W_z =$	21 259	mm^3
$A_{v,y} =$	1102	mm^2
$A_{v,z} =$	854	mm^2
$I_t =$	41 500	mm^4
$I_w =$	900 000 000	mm^6

KLASIFIKACE PRŮŘEZU

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina:

$$c_w = 84 \text{ mm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{84}{7} = 12 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,86$$

→ stojina třídy 1

Pásnice:

$$c_f = 39 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{39}{9} = 4,33 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,323$$

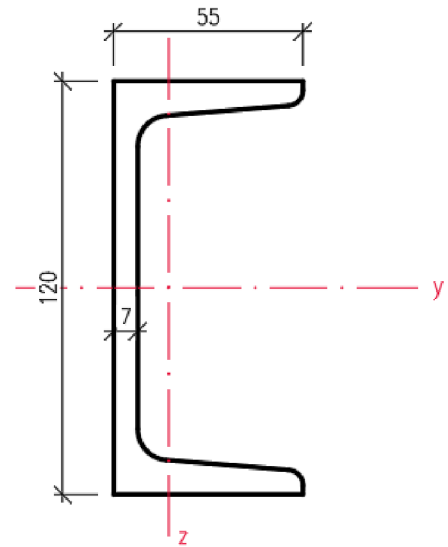
→ pásnice třídy 1

Celý průřez → průřez třídy 1

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TAH

Prut č. 1667, kombinace KZ22

$$N_{t,Ed} = 19,153 \text{ kN}$$



Obr. 24 - Průřez paždíku

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1700 \cdot 355}{1,0} = 603\,500 \text{ N} = 603,500 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{19,153}{603,500} = 0,03 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (3% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ TLAK

Prut č. 731, kombinace KZ71

$$N_{c,Ed} = -27,566 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1700 \cdot 355}{1,0} = 603\,500 \text{ N} = 603,500 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{27,566}{603,500} = 0,05 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (5% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Y

Prut č. 1678, kombinace KZ71

$$M_{y,Ed} = 5,710 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{6,6508 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 23,611 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{5,710}{23,611} = 0,24 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (24% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ OHYB KOLEM OSY Z

Prut č. 1666, kombinace KZ22

$$M_{z,Ed} = 1,576 \text{ kNm}$$

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

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{2,1259 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 17,547 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{1,576}{17,547} = 0,21 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (21% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Y

Prut č. 1666, kombinace KZ14

$$V_{y,Ed} = 1,260 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,y} = 1102 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1102 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 225\,865 \text{ N} = 225,865 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{1,260}{225,865} = 0,01 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (1% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTÝ SMYK VE SMĚRU Z

Prut č. 1678, kombinace KZ71

$$V_{z,Ed} = 4,568 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$A_{v,z} = 854 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,z,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\gamma_{Mo} \cdot \sqrt{3}} = \frac{854 \cdot 355}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 175\,035 \text{ N} = 175,035 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{4,568}{175,035} = 0,03 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (3% využití)

POSOUZENÍ NA PROSTOROVÝ VZPĚR

Prut č. 731, kombinace KZ71

$$N_{c,Ed} = -27,566 \text{ kN}, L_{cr} = 5000 \text{ mm}$$

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

Kritická síly:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 3,64 \cdot 10^6}{5000^2} = 301\,773 \text{ N} = 301,773 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 4,32 \cdot 10^5}{5000^2} = 32\,815 \text{ N} = 35,815 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} \cdot \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) \\ &= \frac{1}{3305,34} \cdot \left(81000 \cdot 4,15 \cdot 10^4 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 9,0 \cdot 10^8}{5000^2} \right) \\ &= 1309,565 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 46,2^2 + 15,9^2 + 30,3^2 + 0 = 3305,34 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 = 1 - \left(\frac{30,3}{57,5}\right)^2 = 0,722$$

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2 \cdot \beta} \cdot \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 \cdot \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}}\right]$$

... symetrie okolo osy y

$$N_{cr,TF} = \frac{301,773}{2 \cdot 0,722} \cdot \left[1 + \frac{1309,565}{301,773} - \sqrt{\left(1 - \frac{1309,565}{301,773}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{30,3}{57,5}\right)^2 \cdot \frac{1309,565}{301,773}} \right]$$

$$= 274,524 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_{TF} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,TF}}} = \sqrt{\frac{1700 \cdot 355}{274,524 \cdot 10^3}} = 1,483$$

$$\theta_{TF} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,483 - 0,2) + 1,483^2] =$$

$$= 1,913$$

Křivka vzpěrné pevnosti $c \rightarrow \alpha = 0,49$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\varnothing + \sqrt{\varnothing^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,913 + \sqrt{1,913^2 - 1,483^2}} = 0,320$$

$$N_{b,TF,Rd} = \frac{x \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,320 \cdot 1700 \cdot 355}{1,0} = 193\,248 \text{ N} = 193,248 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,TF,Rd}} = \frac{27,566}{193,248} = 0,14 \leq 1,0$$

\rightarrow Vyhovuje (14% využití)

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ

Prut č. 1678, kombinace KZ71

$$M_{y,Ed} = 5,710 \text{ kNm}$$

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

$$K_y = 1,0; k_w = 1,0$$

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 60}{1 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 4,32 \cdot 10^5}{81000 \cdot 4,15 \cdot 10^4}} = 0,196$$

$$k_{\omega t} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_{\omega}}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5000} \cdot \sqrt{\frac{210000 \cdot 9,0 \cdot 10^8}{81000 \cdot 4,15 \cdot 10^4}} = 0,14$$

$$c_{1,0} = 1,13$$

$$c_{1,1} = 1,13$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) \cdot k_{\omega t} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,149 = 1,13$$

$$c_2 = 0,46$$

$$\mu_{cr} = \left[\frac{c_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + k_{\omega t}^2 + (c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j)^2} - c_2 \cdot \xi_g - c_3 \cdot \xi_j \right]$$

$$\mu_{cr} = \left[\frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,149^2 + (0,46 \cdot 0,149)^2} - 0,46 \cdot 0,149 - 0 \right] = 1,057$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$= 1,057 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 4,32 \cdot 10^5 \cdot 81\,000 \cdot 4,15 \cdot 10^4}}{5000}$$

$$= 11,597 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,665086 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{11,597 \cdot 10^3}} = 1,427 \geq 0,4$$

→ docházení ke klopení

$$\theta_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,427 - 0,2) + 1,427^2] =$$

$$= 1,984$$

Křivka klopení d → $\alpha = 0,76$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\theta + \sqrt{\theta^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,984 + \sqrt{1,984^2 - 1,427^2}} = 0,297$$

$$M_{LT,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,297 \cdot 6,6508 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0} = 7,021 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{LT,Rd}} = \frac{5,710}{7,021} = 0,81 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (81% využití)

POSOUZENÍ NA KLOPENÍ A KROUCENÍ

Prut č. 1678, kombinace KZ71

$$M_{y,Ed} = 5,710 \text{ kNm}$$

$$e = 30,3 \text{ mm}$$

$$\omega = 1735,6 \text{ mm}^2$$

Podmínka:

$$\frac{\sigma_M}{\chi_{LT}} + \frac{N}{A} + \sigma_{\omega} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$K = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_{\omega}}} = 5000 \cdot \sqrt{\frac{81\,000 \cdot 4,15 \cdot 10^4}{210\,000 \cdot 9,0 \cdot 10^8}} = 21,087$$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K}\right)^2} = \frac{1}{1,0 + \left(\frac{3,1}{21,087}\right)^2} = 0,979$$

Prosté podepření, kroutící zatížení rovnoměrné – $\alpha = 3,10$; $\beta = 1,0$

$$B_{Ed} = M_{Ed} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 5,710 \cdot 10^3 \cdot 30,3 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,979) = 0,004 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma_M = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5,710 \cdot 10^3}{6,6508 \cdot 10^{-5}} = 85,854 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N = \frac{N_{c,Ed}}{A} = \frac{8,904 \cdot 10^3}{1700 \cdot 10^{-6}} = 5,238 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\omega = \frac{B_{Ed}}{I_\omega} \cdot \omega = \frac{4}{9,0 \cdot 10^{-10}} \cdot 1735,6 \cdot 10^{-6} = 7,058 \text{ MPa}$$

$$\frac{85,854}{0,297} + 5,238 + 7,058 = 301,068 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje (85% využití)

KOMBINACE OSOVÉ SÍLY A MOMENTU

Prut č. 1678, kombinace KZ71

$$N_{Ed} = 19,153 \text{ kN}$$

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

$$N_{Ed} = 19,153 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 603,5 = 150,875 \text{ kN}$$

→ není nutné uvažovat účinek osové síly na momentovou únosnost

19 POSOUZENÍ PRVKŮ KONSTRUKCE NA MSP

19.1 VAZNICE

Průhyb vaznice – KZ131

$$\delta_z = 84,8 - 68,8 = 16 \text{ mm}$$

Mezní hodnota svislého průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_z = 16 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

19.2 VAZNÍK

Průhyb vazníku – KZ131

$$\delta_z = 68,8 \text{ mm}$$

Mezní hodnota svislého průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{30000}{250} = 120 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_z = 68,8 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

19.3 PAŽDÍKY

Průhyb paždíku od zatížení větrem

$$\delta_z = 54,4 - 47,3 = 7,1 \text{ mm (ZS5 – vítr příčný pravý)}$$

Mezní hodnota vodorovného průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_z = 7,1 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

19.4 SLOUPY HLAVNÍ

Průhyb hlavního sloupu od zatížení větrem

$$\delta_z = 47,3 \text{ mm (ZS5 – vítr příčný pravý)}$$

Mezní hodnota vodorovného průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{11500}{150} = 76,6 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_z = 47,3 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 76,6 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

19.5 SLOUPY ČELNÍ

Průhyb čelního sloupu od zatížení větrem

$$\delta_{z2} = 71,9 \text{ mm (ZS6 - podélný vítr)}$$

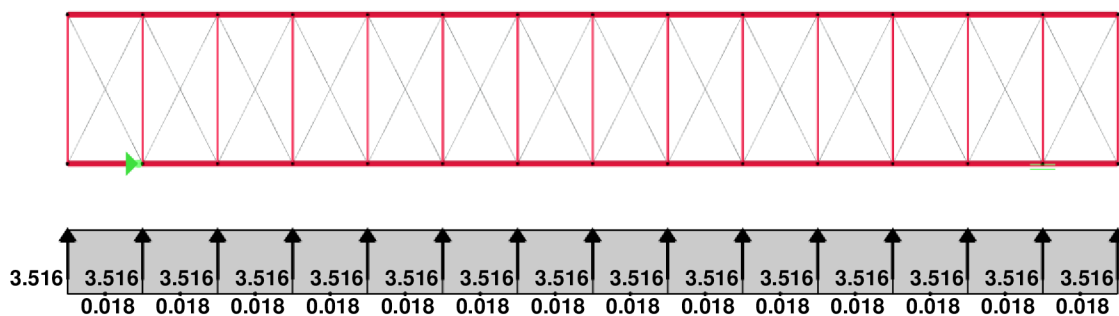
Mezní hodnota vodorovného průhybu:

$$\delta_{lim} = \frac{h}{150} = \frac{11110}{150} = 74 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\delta_z = 71,9 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 74 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

20 PŘEPOSOUZENÍ



Obr. 25 - Dodatečné zatížení příčného ztužidla

Tření větru o střešní část:

$$f_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot \frac{A_{fr}}{L^*} \cdot \gamma_Q = 0,01 \cdot 0,290 \cdot \frac{246}{61,5} \cdot 1,5 = 0,018 \text{ kN/m}$$

$$A_{fr} = x \cdot L^* = 4 \cdot 61,5 = 246 \text{ m}^2$$

$$x = d - \min\{2 \cdot L; 4 \cdot h\} = 60 - 56 = 4 \text{ m}$$

Stabilizační zatížení:

$$F_{stab} = \alpha_m \cdot \frac{N_{Ed}}{100} = 0,8086 \cdot \frac{434,809}{100} = 3,516 \text{ kN}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3,25}\right)} = 0,8086$$

$$m = \frac{\text{počet vazníků}}{\text{počet příčných ztužidel}} = \frac{13}{4} = 3,25$$

20.1 PŘEPOSOUZENÍ VAZNIC:

$$N_{Ed} = (-12,769) + (-18,498) = -31,267 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 14,753 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1,627 \text{ kNm}$$

Rovnice 6.61

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{x_y \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{x_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{31,267}{\frac{0,669 \cdot 713,195}{1,0}} + 0,999 \cdot \frac{14,753 + 0}{\frac{1,0 \cdot 43,985}{1,0}} + 0,555 \cdot \frac{1,627 + 0}{\frac{9,266}{1,0}} = 0,50 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{x_z \cdot N_{RK}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{x_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{31,267}{1,0 \cdot 713,195} + 0,600 \cdot \frac{14,753 + 0}{1,0 \cdot 43,985} + 0,925 \cdot \frac{1,627 + 0}{9,266} = 0,43 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (50% využití)

20.2 PŘEPOSOUZENÍ HORNÍHO PÁSU:

$$N_{Ed} = -552,963 + (-29,935) = -582,898 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,odp} = 1,701 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,odp} = 5,123 \text{ kNm}$$

Rovnice 6.61

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

$$\frac{582,898}{0,925 \cdot 1050,8} + 0,997 \cdot \frac{1,701 + 0}{1 \cdot 63,190} + 0,692 \cdot \frac{5,123 + 0}{63,190} = 0,68 \leq 1,0$$

Rovnice 6.62

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

$$\frac{582,898}{0,925 \cdot 1050,8} + 0,598 \cdot \frac{1,701 + 0}{1 \cdot 63,190} + 1,153 \cdot \frac{5,123 + 0}{63,190} = 0,71 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (71% využití)

20.3 PŘEPOSOUZENÍ DIAGONÁL PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA:

$$N_{t,Ed} = 63,663 + 19940 = 83,603 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

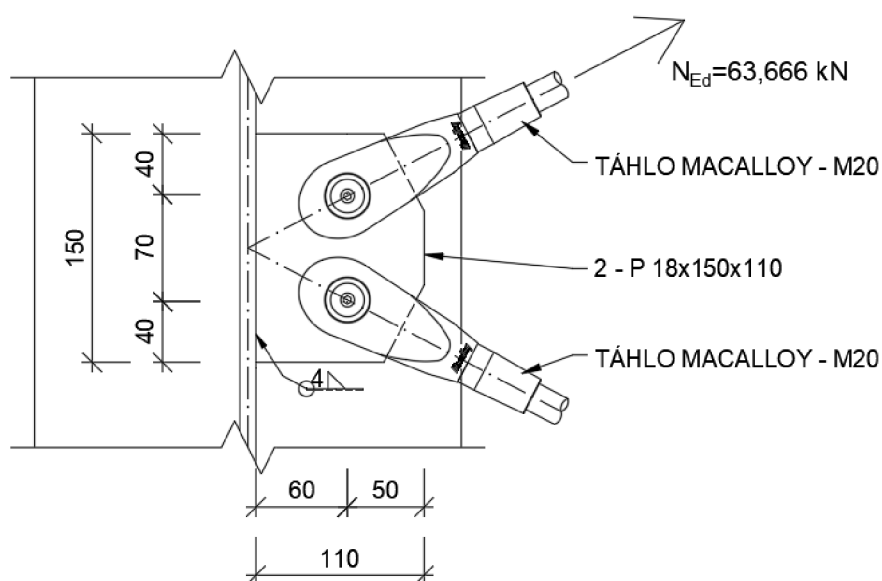
$$N_{t,M20,Rd} = 108,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{83,603}{108,00} = 0,77 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (77% využití)

21 POSOUZENÍ VYBRANÝCH SPOJŮ

21.1 PŘÍPOJ PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA NA HLAVNÍ NOSNÍK



Obr. 26 - Detail připoje příčného ztužidla na hlavní nosník

Prvky:

Hlavní sloup	HEB 280	S355
Příčné ztužidlo	Macalloy - M20	S460
Styčnickový plech	P 18x150x110	S355
Svar	$a = 4 \text{ mm}$	

Rozteče a vzdálenosti:

$$e_{1,min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_{2,min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

Účinná výška svaru:

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

$$a_{min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10,5 = 11,55 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 4 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq a_{max} = 11,55 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ STYČNÍKOVÉHO PLECHU NA OSLABENÍ

$$A_{net} = a \cdot t - d_0 \cdot t$$

$$A_{net} = 133 \cdot 18 - 22 \cdot 18 = 1998 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1998 \cdot 490}{1,25} = 704,894 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{63,666}{704,894} = 0,09 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (9% využití)

POSOUZENÍ SVARU STYČ. PLECH – SLOUP

Účinná výška svaru – a = 4 mm

Účinná délka svaru – l = 2 · a + 2 · b = 2 · 150 + 2 · 18 = 336 mm

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0$$

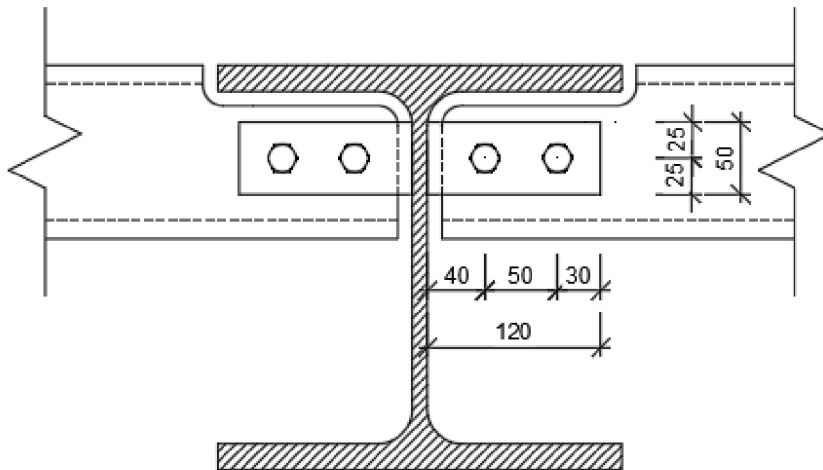
$$F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot A_w = 251,468 \cdot 336 \cdot 4 = 337,973 \text{ kN}$$

$$f_{w,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,90 \cdot 1,25} = 251,468 \text{ MPa}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{63,666}{337,793} = 0,19 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (19% využití)

21.2 POSOUZENÍ PŘÍPOJE PAŽDÍKU KE SLOUPU



Obr. 27 - Detail přípoje paždíku na hlavní sloup

ŠROUB: 2x M12, 4.6

PLECH: P 10x120x50

Prut č. 731, kombinace KZ71

$$N_{Ed} = \sqrt{N_{c,Ed}^2 + V_{z,Ed,odp}^2} = \sqrt{27,566^2 + 2,670^2} = 27,695 \text{ kN}$$

Rozteče a vzdálenosti:

$$e_1 = 2,0 \cdot d_0 = 2,0 \cdot 13 = 26 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

Účinná výška svaru:

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a = 3 \text{ mm} \leq a_{max} = 11 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ ŠROUBOVÉHO SPOJE NA NAMÁHÁNÍ SMYKEM**a) Posouzení na stříh**

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 84,3}{1,25} = 16,186 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{27,695}{2 \cdot 16,186} = 0,86 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (86% využití)

b) Posouzení na otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 490 \cdot 12 \cdot 7}{1,25} = 63,304 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 \cdot 13} = 0,769; \frac{50}{3 \cdot 13} = 1,282; \frac{400}{490} = 0,816; 1 \right\} = 0,769$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 2,8 \cdot \frac{p_1}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{30}{13} - 1,7 = 4,762; 2,8 \cdot \frac{50}{13} - 1,7 = 9,069; 2,5 \right\} = 2,5$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{27,695}{2 \cdot 63,304} = 0,22 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (22% využití)

POSOUZENÍ STYČNÍKOVÉHO PLECHU NA OSLABENÍ

$$A_{net} = a \cdot t - d_0 \cdot t$$

$$A_{net} = 50 \cdot 10 - 13 \cdot 10 = 370 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 370 \cdot 490}{1,25} = 130,536 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{27,695}{130,536} = 0,21 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (21% využití)

POSOUZENÍ SVARU STYČ. PLECH – SLOUP

Účinná výška svaru – $a = 3 \text{ mm}$

Účinná délka svaru – $l = 2 \cdot x + 2 \cdot y = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 10 = 120 \text{ mm}$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0$$

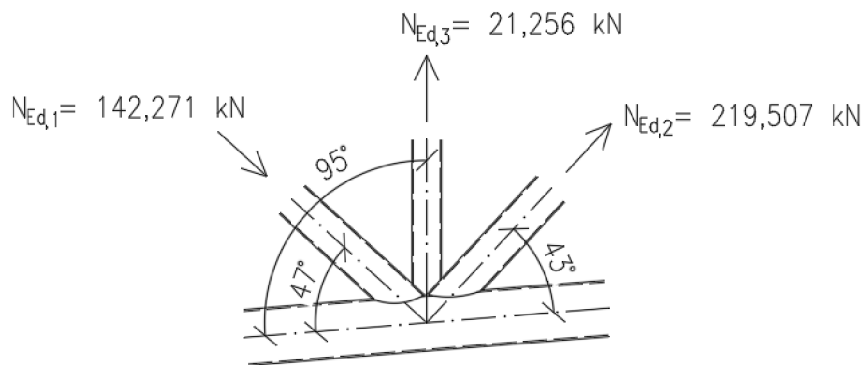
$$F_{w,Rd} = f_{w,d} \cdot A_w = 261,946 \cdot 120 \cdot 3 = 94,30 \text{ kN}$$

$$f_{w,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,90 \cdot 1,25} = 261,946 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} = \frac{27,695}{94,30} = 0,29 \leq 1,0$$

→ Vyhovuje (29% využití)

21.3 POSOUZENÍ SPOJŮ DUTÝCH PRŮŘEZŮ



Obr. 28 - Detail posuzovaného spoje dutých průřezů

Navržené průřezy nevyhovují na překrytí → zvýšení průřezu svislic vazníku z průřezu TR KR 60,3x4,0 na průřez TR KR 88,9x3,2

Rozsah platnosti:

$$0,2 \leq \frac{d_2}{d_0} = \frac{88,9}{168,3} = 0,528 \leq 1,0$$

$$0,2 \leq \frac{d_1}{d_0} = \frac{d_3}{d_0} = \frac{114,3}{168,3} = 0,679 \leq 1,0$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{168,3}{5,0} = 33,66 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_1}{t_1} = \frac{d_3}{t_3} = \frac{114,3}{4,0} = 28,575 \leq 50$$

$$10 \leq \frac{d_2}{t_2} = \frac{88,9}{3,2} = 27,813 \leq 50$$

$$\lambda_{ov} \geq 25\%$$

→ uvažují pouze porušení povrchu pásu (a) a prolomení smykem (c)

PORUŠENÍ POVRCHU PÁSU

$$N_{1,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\sin \theta_1} \cdot (1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_1 + d_2 + d_3}{d_0})$$
$$= \frac{1,766 \cdot 0,889 \cdot 355 \cdot 5^2}{\sin 47} \cdot (1,8 + 10,2 \cdot \frac{114,3 + 114,3 + 88,9}{168,3})$$
$$= 293,103 \text{ kN}$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,288 \cdot (1 + 0,288) = 0,889$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Rd}}{f_y}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{102,353}{355}}{1,0} = 0,288$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0 - 1,33}\right)}} \right) = 16,83^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 16,83^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot 37,5}{5 - 1,33}\right)}} \right) = 1,766$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{168,3}{2 \cdot 5} = 16,83$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin 47}{\sin 43} \cdot 293,103 = 314,061 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ dle tabulky 7.6

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

$$142,271 \cdot \sin 48 + 21,256 \cdot \sin 96 = 126,868 \text{ kN} < 293,103 \cdot \sin 48 = 217,818 \text{ kN}$$

→Vyhovuje (58% využití)

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

$$219,507 \cdot \sin 44 = 152,130 \text{ kN} < 293,103 \cdot \sin 48 = 217,818 \text{ kN}$$

→Vyhovuje (70% využití)

PROLOMENÍ SMYKEM

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

Diagonála (1):

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 5 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 47}{2 \cdot \sin^2 47}}{1,0} = 1191,145 \text{ kN}$$

$$\text{pro } 114,3 \leq 168,3 - 2 \cdot 5 = 158,3 \text{ mm}$$

Diagonála (2):

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 5 \cdot \pi \cdot 114,3 \cdot \frac{1 + \sin 43}{2 \cdot \sin^2 43}}{1,0} = 1330,739 \text{ kN}$$

$$\text{pro } 114,3 \leq 168,3 - 2 \cdot 5 = 158,3 \text{ mm}$$

Svislice (3):

$$N_{3,Rd} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 5 \cdot \pi \cdot 88,9 \cdot \frac{1 + \sin 95}{2 \cdot \sin^2 95}}{1,0} = 575,71 \text{ kN}$$

$$\text{pro } 88,9 \leq 168,3 - 2 \cdot 5 = 158,3 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ DLE TABULKY 7.2

$$N_{1,Ed} < N_{1,Rd}$$

$$142,271 \text{ kN} < 1\,191,145 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$N_{2,Ed} < N_{2,Rd}$$

$$219,507 \text{ kN} < 1\,330,739 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$N_{3,Ed} < N_{3,Rd}$$

$$21,256 \text{ kN} < 577,164 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

21.4 NÁVRH A POSOUZENÍ SVARU DIAGONÁLY K DOLNÍMU PÁSU

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

$$A = a \cdot \pi \cdot d = 3 \cdot \pi \cdot 114,3 = 10777 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{203,813}{\sqrt{2}} = 144,118 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,800 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{i,Ed}}{A_i} = \frac{219507}{1077} = 203,813 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{144,118^2 + 3 \cdot 144,118^2 + 3 \cdot 0} = 288,236 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,556 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje (66% využití)

21.5 NÁVRH A POSOUZENÍ SVARU SVISLICE K DOLNÍHO PÁSU

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

$$A = a \cdot \pi \cdot d = 3 \cdot \pi \cdot 60,3 = 568,31 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{2}} = \frac{66,629}{\sqrt{2}} = 47,114 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,800 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{i,Ed}}{A_i} = \frac{37,866}{568,31} = 66,629 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{47,114^2 + 3 \cdot 47,114^2 + 3 \cdot 0} = 94,228 \text{ MPa} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,556 \text{ MPa}$$

→ Vyhovuje (22% využití)

22 KOTVENÍ

22.1 KOTVENÍ HLAVNÍ SLOUPŮ

22.1.1 POSOUZENÍ KOMBINACE TLAKU A OHYBU

Návrhové vnitřní síly:

(prut č. 290, kombinace KZ22)

$$M_{y,Ed} = 128,477 \text{ kNm}; N_{Ed,odp} = 183,813 \text{ kN}$$

Ekvivalentní excentricita:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{128,477}{183,813} = 0,699 \text{ m}$$

$$\frac{e}{l} = \frac{0,699}{0,700} = 0,999 \text{ m} \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = \xi \cdot l = 0,333 \cdot 0,7 = 0,2664 \text{ m}$$

Patní plech: S355

P28x800x400

$t_p = 28 \text{ mm}$

Patka: C 30/37

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2/3 \cdot 1,5 \cdot 30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$\beta_j = \frac{2}{3}$$

$$k_j = 1,5$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 28 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 20 \cdot 1,0}} = 68,1 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 52\,314,98 \text{ mm}^2$$

$$S_{eff,n} = 4,475 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{eff,n} = 6,002 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

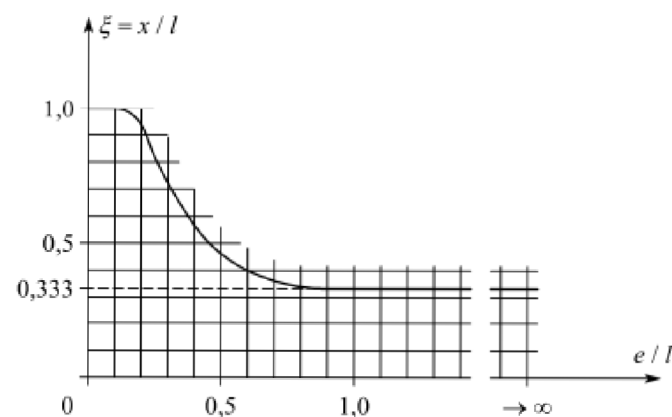
$$z_0 = 134,1 \text{ mm}$$

$$e_0 = e + 0,5 \cdot l - a = 0,699 + 0,5 \cdot 0,8 - 0,1 = 0,999 \text{ m}$$

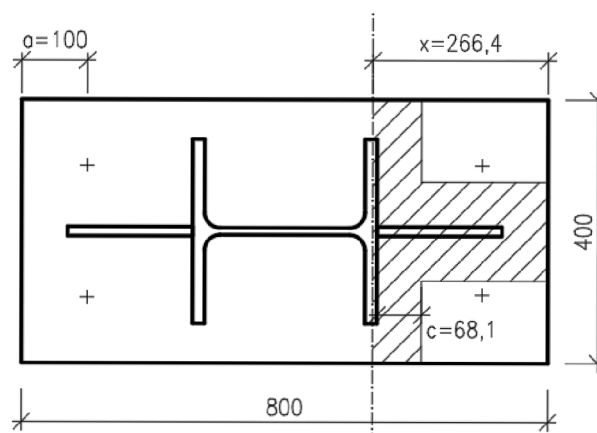
$$z = l - x + z_0 - a = 0,8 - 0,2664 + 0,1341 - 0,1 = 0,568 \text{ m}$$

$$C_{Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{e_0}{z} = 183,813 \cdot \frac{0,999}{0,568} = 323,436 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = C_{Ed} - N_{Ed} = 323,436 - 183,813 = 139,623 \text{ kN}$$



Obr. 29 - Graf pro určení délky tlačené části patního plechu [11]



POSOUZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

$$\sigma_{Ed} = C_{Ed} \cdot \frac{x}{s_{eff,n}} = 323,436 \cdot 10^3 \cdot \frac{266,4}{4,475 \cdot 10^6} = 19,255 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = 19,255 \text{ MPa} < f_{jd} = 20 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ NA PŘETRŽENÍ KOTEVNÍCH ŠROUBŮ

Navržené kotvy: HAS-U 5.8 M24

$$F_{t,Ed} = \frac{T_{Ed}}{n_{sr}} = \frac{139,623}{2} = 69,812 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} < 1,0$$

$$F_{t,Rd,HAS-U} = 72,9 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{62,335}{72,9} = 0,86 \leq 1,0$$

Vyhovuje (86% využití)

22.1.2 POSOUZENÍ NA PŘENOS SMYKU

Uzel č. 699, kombinace zatížení KZ84

$$V_{y,Ed} = 10,422 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 30,268 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{30,268^2 + 10,422^2} = 32,012 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = 52,007 \text{ kN}$$

$$F_{f,Rd} = c_{f,d} \cdot N_{c,Ed} = 0,2 \cdot 92,828 = 18,566 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 32,012 \text{ kN} > F_{f,Rd} = 18,566 \text{ kN}$$

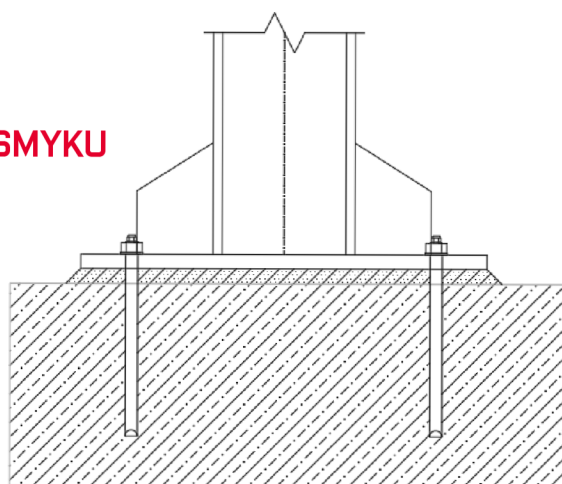
→ smyková síla se nepřenáší třením, nutno posoudit spojovací šrouby HAS-U na únosnost ve stříhu

Navržené kotvy 4x HAS-U 5.8 M24

$$V_{Rd,HAS-U} = 70,4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{30,268}{4 \cdot 70,4} = 0,11 \leq 1,0$$

Vyhovuje (11% využití)



Obr. 30 - Kotvení hlavního sloupu

22.2 KOTVENÍ ČELNÍCH SLOUPŮ

Návrhové vnitřní síly:

$$N_{c,Ed} = 25,084 \text{ kN}$$

Patní plech: S355

P16x350x350

$$t_p = 16 \text{ mm}$$

Betonová patka:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

Kotevní šrouby:

2x HAS-U 5.8 M16

Komolý jehlan:

$$b_2 = \min \{b_1 + 2 \cdot b_r; 3 \cdot b_1; b_1 + h\} = \{350 + 2 \cdot 320; 3 \cdot 350; 350 + 800\} = 990 \text{ mm}$$

$$d_2 = \min \{d_1 + 2 \cdot d_r; 3 \cdot d_1; d_1 + h\} = \{350 + 2 \cdot 320; 3 \cdot 350; 350 + 800\} = 990 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = b_1 \cdot d_1 = 350 \cdot 350 = 112\,500 \text{ mm}^2$$

$$A_{c2} = b_2 \cdot d_2 = 990 \cdot 990 = 980\,100 \text{ mm}^2$$

$$k_j = \sqrt{\frac{A_{c2}}{A_{c1}}} = \sqrt{\frac{980100}{112500}} = 2,952$$

22.2.1 POSOUZENÍ NA TLAK

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd}$$

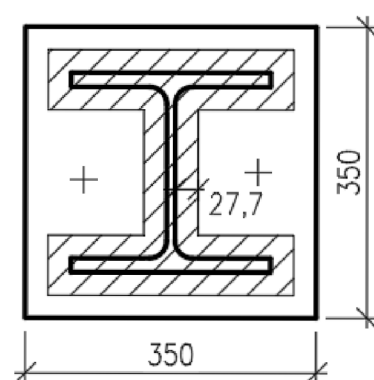
$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2/3 \cdot 2,952 \cdot 30}{1,5} = 39,360 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 16 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 39,360 \cdot 1,0}} = 27,7 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 52\,623,16 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 52623,16 \cdot 39,360 = 2\,071,248 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{25,084}{2071,248} = 0,01 \leq 1,0$$



22.2.2 POSOUZENÍ NA PŘENOS SMYKU

$$V_{y,Ed} = 0,92 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 11,107 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{y,Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \\ = \sqrt{0,92^2 + 11,107^2} = 11,145 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed,min} = 12,928 \text{ kN}$$

$$F_{f,Rd} = c_{f,d} \cdot N_{c,Ed} = 0,2 \cdot 16,917 = 3,384 \text{ kN}$$

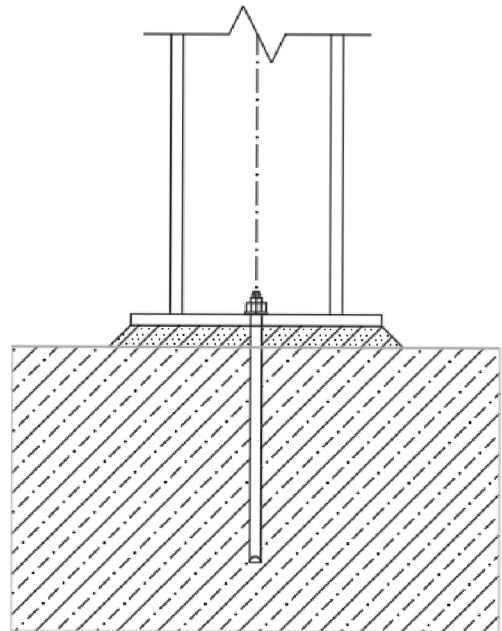
$$V_{z,Ed} = 11,145 \text{ kN} > F_{f,Rd} = 3,384 \text{ kN}$$

→ smyková síla se nepřenáší třením, nutno posoudit spojovací šrouby HAS-U na únosnost ve stříhu

Navržené kotvy: 2x HAS-U 5.8 M16

$$V_{Rd,HAS-U} = 31,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{11,145}{2 \cdot 31,2} = 0,18 \leq 1,0$$



Obr. 31 - Kotvení čelního sloupu

ZÁVĚR

Ocelová konstrukce kulturní haly byla navržena v souladu s platnými evropskými normami na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Dle norem platných k 05/2021.

SEZNAM POUŽITÉ ZDROJŮ

NORMY:

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- [7] ČSN EN ISO 5845-1 Technické výkresy – Zjednodušené zobrazení spojení na výkresech sestavení – Část 1: Základní ustanovení
- [8] ČSN EN ISO 2553 Svařování a příbuzné procesy – Zobrazování na výkresech – Svarové spoje
- [9] ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí - Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce

LITERATURA:

- [10] MAREK, Pavel a kol. *Kovové konstrukce pozemních staveb*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury; Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985
- [11] PILGR, M. *Kovové konstrukce. Podklady pro navrhování prvků ocelových konstrukcí*. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2019, ISBN: 978-80-7623-018-7

INTERNETOVÉ ZDROJE:

- [12] *Kingspan* [online]. Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz>
- [13] *Hilti* [online]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/>
- [14] *Hilti katalog pro projektanty 2020-2021* [online] Dostupné z: <https://katalog.mojehilti.cz/cz-katalog-pro-projektanty/>
- [15] *Tension system* [online]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>
- [16] *Dlubal* [online]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs>

SEZNAM PŘÍLOH

C – Programový výstup

D – Výkresová dokumentace

01 – Dispozice	M 1:100
02 – Kotevní plán	M 1:50/M 1:10
03 – Montážní výkres	M 1:50
44 – Výrobní výkres dílce 3	M 1:15/M 1:5
05 – Výkres vybraných detailů	M 1:5